



**TUGAS AKHIR – VM 180629**

**PENGARUH TEMPERATUR TEMPERING BAJA SS400  
PADA PENGELASAN SMAW TERHADAP NILAI  
KEKUATAN TARIK, KEKERASAN DAN STRUKTUR  
MIKRO**

**REZA HERDIANSAH  
NRP. 102116 00000 076**

**Dosen Pembimbing  
Ir. Subowo, M.Sc.  
NIP. 19581004 198701 1 001**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI FAKULTAS  
VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA**



**TUGAS AKHIR – VM 180629**

**PENGARUH TEMPERATUR TEMPERING BAJA SS400  
PADA PENGELASAN SMAW TERHADAP NILAI  
KEKUATAN TARIK, KEKERASAN DAN STRUKTUR  
MIKRO.**

**REZA HERDIANSAH  
NRP. 1021160000076**

**Dosen Pembimbing :  
Ir. Subowo, M.Sc.  
NIP. 19581004 198701 1 001**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI FAKULTAS  
VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019**



**FINAL PROJECT - VM 180629**

**THE EFFECT OF TEMPERATURE TEMPERING SS400  
STEEL ON SMAW WELDING HARDNESS, TENSILE  
STRENGTH ,AND MICRO STRUCTURE**

**REZA HERDIANSAH  
NRP. 1021160000076**

**Supervisor:  
Ir. Subowo, M.Sc.  
NIP. 19581004 198701 1 001**

**INDUSTRIAL MECHANICAL ENGINEERING  
DEPARTMENT  
Vocation Faculty  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2019**

PERNYATAAN TIDAK MELAKUKAN PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Reza Herdiansah  
NRP : 10211600000076  
Program Studi : Diploma III Teknik Mesin  
Departemen : Teknik Mesin Industri  
Fakultas : Vokasi

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir (TA) yang saya tulis ini benar-benar tulisan saya dan bukan merupakan hasil plagiasi. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan TA ini hasil plagiasi, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Departemen Teknik Mesin Industri, Fakultas Vokasi – ITS

Surabaya, Januari 2020  
Yang Membuat Pernyataan

Reza Herdiansah  
10211600000076

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PENGARUH TEMPERATUR TEMPERING BAJA  
SS400 PADA PENGELASAN SMAW TERHADAP  
NILAI KEKUATAN TARIK, KEKERASAN DAN  
STRUKTUR MIKRO**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Mernenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh  
Gelar

Ahli Madya

Pada

Program Studi Diploma III

Jurusan Departemen Teknik Mesin Industri

Fakultas Vokasi

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**REZA HERDIANSAH**

**NRP. 1021160000076**

Mengetahui & Menyetujui

Dosen pembimbing



**ABSTRAK**  
**PENGARUH TEMPERATUR TEMPERING BAJA SS400**  
**PADA PENGELASAN SMAW TERHADAP NILAI**  
**TARIK, KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO**

Reza Herdiansah

Departemen Teknik Mesin Industri, Fakultas Vokasi, Institut  
Teknologi Sepuluh Nopember

Keputih, Sukolilo, Kota Surabaya, Jawa Timur 60111

Email : [rezaherdi28@gmail.com](mailto:rezaherdi28@gmail.com)

---

*Abstrak – Baja merupakan bahan dasar yang sering digunakan untuk berbagai rekayasa Teknik. Kualitas dari suatu produk dengan bahan baja tergantung pada proses perlakuan panas yang dilakukan dengan tujuan merubah sifat mekanis dari baja tersebut, perlakuan panas ini dilakukan pada baja pegas daun bekas yang biasa digunakan sebagai bahan baku pembuatan pisau dapur*

*Penelitian ini diawali dengan pemasaan baja SS 400 dengan suhu 200°C dan 300°C dengan holding time 2 jam. Kemudian dilakukan pendinginan dengan udara, lalu setelah itu dilas menggunakan elektroda E7018 dengan las SMAW. Setelah itu dibentuk sesuai standart yang ditentukan lalu dilakukan pengujian kekerasan, taruk, dan struktur mikro.*

*Pada hasil pengujian didapatkan bahwa suhu 300°C memiliki kekuatan tarik terbesar yaitu 435 MPa karena perubahan fasa austenite halus menjadi ferrit+pearlit halus. Sedangkan nilai kekerasan 200°C Nilai kekerasaan HRB : 88, HRC : 9 lebih tinggi dibandingkan suhu 300°C HRB : 87, HRC : 7. Struktur mikro yang terdapat adalah ferrit dan pearlit. Suhu 200°C memiliki ukuran butir kasar sedangkan suhu 300°C ukuran butirnya halus*

## KATA PENGANTAR

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

### **“PENGARUH TEMPERATUR TEMPERING BAJA SS400 PADA PENGELASAN SMAW TERHADAP NILAI TARIK, KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO ”**

Dapat diselesaikan dengan baik. Laporan ini disusun sebagai salah satu persyaratan yang harus ditempuh oleh setiap mahasiswa Program Studi Departemen Teknik Mesin Industri untuk bisa dinyatakan lulus dengan mendapatkan gelar Ahli Madya. Kiranya penulis tidak akan mampu menyelesaikan Penelitian 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. Subowo, M.Sc selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan ide, arahan, bimbingan dan motivasi selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr.Ir. Heru Mirmanto, M.T selaku ketua Program Studi Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.
3. Bapak Ir. Suhariyanto, M.T selaku koordinator Tugas Akhir.
4. Tim Dosen Penguji yang telah banyak memberikan saran dan masukan guna kesempurnaan Tugas Akhir ini.
5. Orang tua tercinta Bapak dan Ibu serta kakak yang selalu memberikan semangat, doa, serta dukungan dalam bentuk apapun.
6. Segenap Bapak/Ibu Dosen Pengajar dan Karyawan di Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS, yang telah memberikan banyak ilmu dan pengetahuan selama penulis menuntut ilmu di kampus ITS.

7. Teman – teman angkatan 2016, terima kasih atas kebersamaan dan kerjasamanya selama ini, yang telah memberi bantuan, dukungan, motivasi, dan doa kepada penulis selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
8. Farras Nisa Afiffah yang telah memberi semangat dan menemani dalam pencarian
9. Partner Tugas Akhir yaitu Andi, Danny, Hamzah, Hangga, Adit, Tomas, Guntara, dan Gigih terima kasih atas telah memberi semangat dan bantuan dari awal mengerjakan sampai Tugas Akhir ini selesai.
10. Teman-teman Rego Kost yang telah memberi bantuan, dukungan dan motivasinya
11. Serta berbagai pihak yang belum tertulis, terima kasih atas kerjasamanya dan bantuan yang telah diberikan sehingga Tugas Akhir ini bisa terselesaikan dengan baik.

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

Surabaya, Juli 2019

Penulis



## DAFTAR ISI

JUDUL BAHASA INDONESIA .....	i
JUDUL BAHASA INGGRIS .....	ii
ABSTRAK .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL .....	xii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
BAB II DASAR TEORI .	
2.1 Tinjauan Pustaka .....	7
2.2 Baja Karbon .....	7
2.2.1 Kandungan Karbon .....	8
2.3 Material SS400 Mild Steel .....	10
2.4 Definisi Pengelasan .....	12
2.4.1 Shieled Metal Arc Welding Smaw .....	12
2.4.2 Heat Treatment .....	13
2.4.3 Siklus Thermal .....	17
2.4.4 Diagram CCT dan TTT .....	20
2.4.4.1 Diagaram TTT .....	20
2.4.4.2 Diagram CCT .....	23
2.4.5 Heat Input .....	25
2.4.6 Multi Layer .....	27
2.5 Posisi Pengelasan .....	29
2.6 Kodefikasi Elektroda .....	31
2.7 Sifat Mekanik Material .....	34
2.8 Tensile Test .....	37
2.8.1 Detail Profil Uji Tarik dan Sifat Mekanik Logam .....	39
2.9 Uji Metalografi .....	40
2.9.1 Uji Mikro .....	40
2.10 Uji Kekerasan .....	44

## **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1 Studi Literatur .....	45
3.2 Persiapan Bahan dan Peralatan .....	45
3.2.1 Persiapan Bahan.....	46
3.2.2 Persiapan Alat.....	47
3.2.3 Pembuatan Benda Kerja Pengelasan.....	48
3.4 Pengelasan.....	48
3.5 Pembuatan Benda Kerja Untuk Pengujian.....	49
3.5.1 Benda Uji Tarik .....	50
3.5.2 Benda Uji Kekerasan .....	50
3.5.3 Benda Uji Mikro Etsa .....	51
3.6 Pengujian .....	51
3.6.1 Pengujian Tarik.....	52
3.6.2 Pengujian Kekerasan .....	53
3.6.3 Pengujian Mikrostruktur .....	54

## **BAB IV PEMBAHASAN**

4.1 Parameter Pengelasan .....	57
4.2 Data Hasil Pengujian .....	58
4.2.1 Pengujian Tarik.....	58
4.2.2 Pengujian Kekerasaan.....	60
4.2.3 Struktur Mikro .....	68

## **BAB V KESIMPULAN**

### **LAMPIRAN**

### **DAFTAR PUSTAKA**

### **BIODATA PENULIS**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Hubungan antara kandungan karbon dan sifat mekanis .....	8
Gambar 2.2 Proses Pengelasan .....	13
Gambar 2.3 Daerah Lasan.....	18
Gambar 2.4 Siklus thermal dari beberapa tempat dalam daerah HAZ.....	19
Gambar 2.5 Siklus thermal disekitar lasan dengan kondisi pengelasan yang berberda.....	20
Gambar 2.6 Diagram TTT.....	22
Gambar 2.7 Diagram CCT Baja Karbon 0,2%.....	24
Gambar 2.8 Karakteristik hasil sambungan las pada single layer	27
Gambar 2.9 Grafik kekuatan multilayer dan hasil pengelasan multilayer.....	28
Gambar 2.10 Posisi Pengelasan 1G .....	29
Gambar 2.11 Posisi Pengelasan 2G .....	30
Gambar 2.12 Posisi Pengelasan 3G .....	30
Gambar 2.13 Posisi Pengelasan 4G .....	31
Gambar 2.14 Uji tarik dan kurvanya.....	35
Gambar 2.15 Bentuk Patahan.....	37
Gambar 2.16 Contoh Uji Tarik .....	37
Gambar 3.1 <i>Flow Chart Diagram</i> .....	44
Gambar 3.2 Dimensi material .....	45
Gambar 3.3 Mesin Las SMAW .....	46
Gambar 3.4 Tang <i>Ampere</i> .....	46
Gambar 3.5 Gerinda Tangan .....	46
Gambar 3.6 Helm Welder .....	47
Gambar 3.7 Material Pengelasan .....	47
Gambar 3.8 Material Pengelasan dengan Model V <i>Groove</i> ....	48
Gambar 3.9 Proses Pengelasan .....	48
Gambar 3.10 Kawat las E-7018 .....	49
Gambar 3.11 <i>ASME standart for tensile</i> .....	50
Gambar 3.12 Material Uji Kekerasan .....	52
Gambar 3.13 Alat Uji Kekerasan <i>Rockwel</i> .....	54
Gambar 3.14 Spesimen setelah dietsa .....	60
Gambar 4.1 Grafik <i>Ultimate Tensile Test</i> .....	61

Gambar 4.2 Daerah indentasi untuk suhu 300°C .....	63
Gambar 4.3 Grafik Uji Kekerasan Spesimen Suhu 300°C.....	63
Gambar 4.4 Rata-rata nilai kekerasan suhu 300°C .....	64
Gambar 4.5 Daerah indentasi untuk suhu 200°C .....	66
Gambar 4.6 Grafik Uji Kekerasan Spesimen Suhu 200°C.....	66
Gambar 4.7 Rata-rata nilai kekerasan suhu 200°C .....	67
Gambar 4.8 Grafik hasil rata-rata suhu 300°C dan 200°C.....	68
Gambar 4.9 Struktur mikro daerah base metal suhu 300°C .....	68
Gambar 4.10 Struktur mikro daerah HAZ suhu 300°C.....	69
Gambar 4.11 Struktur mikro daerah weld metal suhu 300°C .	69
Gambar 4.12 Struktur mikro daerah base metal suhu 200°C .	69
Gambar 4.13 Struktur mikro daerah HAZ suhu 200°C.....	70
Gambar 4.14 Struktur mikro daerah weld metal suhu 200°C .	70

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi Baja Karbon .....	7
Tabel 2.2 Karakteristik Dari Lima Elemen Pada Baja .....	9
Tabel 2.3 <i>ASTM MS plates Mechanical Physical Properties</i> .	11
Tabel 2.4 Nilai <i>Chemical Composition</i> .....	12
Tabel 2.5 Efisiensi Perpindahan Panas .....	27
Tabel 2.6 Beban Indentor dan Skala Pada Metode Uji kekerasan <i>Rockwell</i> .....	41
Tabel 2.7 Keterangan .....	42
Tabel 3.1 <i>Etching Reagent</i> Untuk Melihat <i>Microstructure</i> ....	54
Tabel 4.1 Parameter Pengelasan .....	57
Tabel 4.2 <i>Travel Speed</i> .....	58
Tabel 4.3 <i>Heat Input</i> .....	58
Tabel 4.4 Data Hasil Uji Tarik.....	59
Tabel 4.5 Data hasil Uji Kekerasan Suhu 300°C .....	61
Tabel 4.6 Data hasil Uji Kekerasan Suhu 300°C Dikonversikan ke HRC.....	62
Tabel 4.7 Data hasil Uji Kekerasan Suhu 200°C .....	64
Tabel 4.8 Data hasil Uji Kekerasan Suhu 200°C Dikonversikan ke HRC.....	65



# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Pada era globalisasi ini yang penuh dengan pembangunan di sector industri serta bidang-bidang lainnya, tentunya pembangunan itu membutuhkan suatu bahan logam yang cukup baik , entah itu sifat fisik maupun mekanisnya.

Namun sifat fisik maupun mekanik dari logam tidaklah dengan mudah ditemukan . Oleh karena itu, perlu diberika terlebih dahulu suatu perlakuan khusus, sehingga dapat menghasilkan suatu logam yang sesuai dengan yang diinginkan

Perlakuan yang diberikan logam antara lain adalah perlakuan panas atau Heatreatment, yang merupakan suatu proses perlakuan terhadap logam yang diinginkan dengan cara memberikan pemanasan dan kemudian dilakukan pendinginan dengan media pendingin tertentu, sehingga sifat fisiknya dapat diubah sesuai dengan yang diinginkan.

Logam yang baik dan sesuai adalah baja yang merupakan logam paduan FE dan C. pada kadar karbon tertentu atau paduan lain yang sesuai. Baja banyak digunakan sebagai bahan konstruksi dan sebagai perkakas.pengujian dalam penelitian ini meliputi pengujian tarik, kekerasan dan struktur mikro.

### **1.2 Rumusan Masalah**

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

1. Bagaimana pengaruh temperatur tempering suhu 200°c dan 300°c terhadap nilai kekerasan pada baja ss400?

2. Bagaimana pengaruh temperatur tempering suhu 200°C dan 300°C terhadap struktur mikro pada baja ss400?
3. Bagaimana pengaruh temperatur tempering suhu 200°C dan 300°C terhadap nilai uji tarik pada baja ss400?

### **1.3 Batasan Masalah**

Agar dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini lebih mengarah ke tujuan penelitian dengan membatasi pokok permasalahan sebagai berikut:

1. Variasi yang dilakukan adalah tempering pada material ss400 sebelum pengelasan dengan variasi suhu 200°C dan 300°C dengan kampuh yang digunakan adalah V groove 60°
2. Pengelasan yang dilakukan adalah las SMAW elektroda tipe E7018 berdiameter 3.2 mm dengan posisi pengelasan 1G
3. Hanya membahas parameter sambungan las dari material ss400 yang sebelumnya dilakukan preheat
4. Arus yang digunakan 140A
5. Voltase yang digunakan 24V
6. Jumlah layer yang digunakan adalah 3 layer
7. Polaritas DCRP
8. Sudut pengelasan 70°
9. Pengujian sifat mekanik :
  - a. Uji Tarik
  - b. Uji Kekerasan
  - c. Uji mikro

### **1.4 Tujuan**

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut ;



1. Mengetahui pengaruh tempering suhu 200°C dan 300°C terhadap nilai kekuatan tarik dengan pengelasan SMAW menggunakan baja ss400 dengan elektroda E 7018.
2. Mengetahui pengaruh tempering suhu 200°C dan 300°C terhadap nilai kekerasan metode pengelasan SMAW menggunakan baja ss400 dengan elektroda E 7018
3. Mengetahui struktur mikro dari tempering 200°C dan 300°C metode pengelasan SMAW menggunakan baja ss400 dengan elektroda E-7018 dengan suhu

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan kontribusi pada dunia akademis dan praktisi tentang pengaruh diberikannya variasi suhu tempering pada material ss400 dengan suhu 200°C dan 300°C terhadap proses pengelasan
2. Sebagai literature pada penelitian yang sejenisnya dalam rangka pengembangan teknologi khususnya dalam bidang pengelasan.

### **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 atau karya ilmiah yang berhubungan dengan masalah yang dihadapi.
2. Konsultasi dengan Dosen Pembimbing

Dalam penulisan Penelitian ini perlu mengadakan konsultasi atau respon dengan dosen pembimbing.

3. Observasi Data

Melakukan observasi data-data terkait pengelasan dan benda kerja melalui internet dan dari hasil pengamatan langsung dengan masalah yang dihadapi di lapangan.

4. Analisa Data

Menganalisa hasil pengujian tarik, kekerasan, dan struktur mikro 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

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

- **BAB I PENDAHULUAN**

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

- **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

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

- **BAB III METODOLOGI**

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

- **BAB IV HASIL DAN ANALISA**

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

- **BAB V KESIMPULAN**

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

- **DAFTAR PUSTAKA**

- **LAMPIRAN**

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

## BAB II DASAR TEORI

### 2.1 Tinjauan Pustaka

Beberapa penelitian yang pernah dilakukan tentang pengelasan, atau lebih dikenal dengan pengelasan busur listrik diantaranya: Menurut Alip (1989), menyatakan bahwa salah satu faktor yang mempengaruhi hasil pengelasan yaitu pemilihan jenis kampuh las yang akan digunakan. Pemilihan jenis kampuh yang sesuai dengan pembebanannya dapat memperpanjang usia konstruksi yang di kerjakan.

### 2.2 Baja Karbon

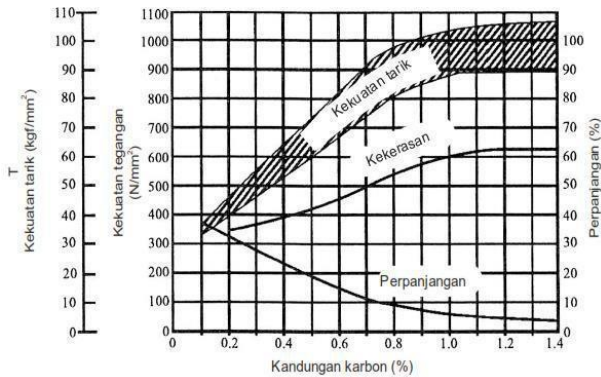
Baja karbon merupakan paduan antara besi dan karbon sedikit Si, Mn, P, S, dan Cu. Sifat baja karbon sangat tergantung pada jumlah kadar karbon yang dimilikinya, jika kadar karbon naik maka kekuatan dan kekerasannya juga akan bertambah tinggi tetapi nilai perpanjangannya akan menurun. Baja karbon rendah adalah baja dengan kadar karbon kurang dari 0,3%, baja karbon sedang mengandung 0,3 – 0,45% karbon, dan baja karbon tinggi berisi karbon 0,45 – 1,70% karbon. Oleh karena itu baja karbon diklasifikasikan berdasarkan banyaknya jumlah kadar karbon yang terkandung pada masing – masing baja tersebut.

**Tabel 2.1** Klasifikasi baja karbon

Jenis	Kadar Karbon (%)	Kek. Luluh (kg/mm <sup>2</sup> )	Kek. Tarik (kg/mm <sup>2</sup> )	Kek. Brinel	Penggunaan
Baja Karbon rendah:					
Baja Lunak Khusus	0,08	18-28	32-36	95-100	Pelat Tipis
Baja Sangat Lunak	0,08-0,12	20-29	36-42	80-120	Batang, Kawat
Baja Lunak	0,12-0,2	22-30	38-48	100-130	Konstruksi
Baja Setengah Lunak	0,2-0,3	24-36	44-45	112-145	Umum
Baja Karbon Sedang	0,3-0,5	30-40	50-60	140-170	Alat-Alat Mesin
Baja Karbon Tinggi:					
Baja Keras	0,5-0,6	34-46	58-70	160-200	Perkakas
Baja Sangat Keras	0,6-0,8	36-47	36-47	180-235	Rel, Pegas, Kawat Piano

### 2.2.1 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 2.1** Hubungan Antara Kandungan Karbon dan Sifat Mekanis

Selain karbon, terdapat beberapa kandungan kimia pada baja. Kandungan-kandungan yang ada pada baja tersebut memiliki fungsi atau manfaat yang berbeda. Hal tersebut dapat mempengaruhi kemampuan baja untuk dilas. Berikut kandungan-kandungannya.

**Tabel 2.2** Karakteristik dari Lima 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% silikon menaikkan sedikit kekuatan dan kekerasan.	Penambahan silikon 0,6% atau lebih rendah tidak mengganggu sifat mampu las.
Mangan	Mn	Menaikkan kekuatan dan kekerasan baja. Normalnya, baja mengandung 0,2% - 0,8% mangan.	Penambahan mangan menjamin sifat mampu las yang baik bila kandungannya tidak lebih dari 1,5%.
Fosfor	P	Untuk baja, fosfor adalah pengotor,	Karena penambahan

		membuat baja	fosfor
--	--	--------------	--------

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

### 2.3 Material SS400 Mild Steel

Material yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah jenis material baja karbon rendah (Mild Steel) SS400. Untuk komposisi kimia dan sifat mekanik nya dapat dilihat pada data dibawah ini :



<b>Specifications</b>	:	ASTM / ASME
<b>Standard</b>	:	AISI, ASTM, BS, DIN, GB, JIS
<b>Thickness</b>	:	6MM to 300MM,
<b>Specialize</b>	:	Shim Sheet, Perforated Sheet, B. Q. Profile.
<b>Length</b>	:	3000mm to 15000mm
<b>Form</b>	:	Coils, Foils, Rolls, Plain Sheet, Shim Sheet, Perforated Sheet, Chequered Plate, Strip, Flats, Blank (Circle), Ring (Flange)
<b>Finish</b>	:	Hot rolled plate (HR), Cold rolled sheet (CR), 2B, 2D, BA NO(8), SATIN (Met with Plastic Coated)
<b>Hardness</b>	:	Soft, Hard, Half Hard, Quarter Hard, Spring Hard etc.
<b>Grade</b>	:	MS SS400

**Tabel 2.3** *ASTM MS Plates Mechanical Physical properties:*

Standard	Grade	Mechanical Properties		
		Tensile Test		
		Yield Strength MPa	Tensile Strength MPa	Elongation %
GB/T 700	Q235B	≥ 235	370-500	≥ 26
ASTM A36	A36	≥ 250	400-550	≥ 23
JIS G3101	SS400	≥ 235	400-510	≥ 21
ASTM A283	Gr.C	≥ 205	380-515	≥ 22
EN10025	S235JR	≥ 235	350-510	≥ 26

**Tabel 2.4** *Nilai Chemical Composition*

Grade		Mn	Si	C	S	P	Cu
SS400	min.	-	-	-	-	-	
	max.	0,7	0.30	0.20	0.45	0.045	0,25

## 2.4 Definisi Pengelasan

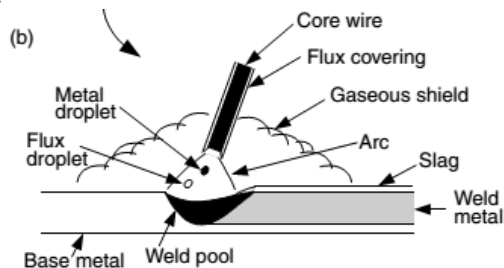
Menurut Deutsche Industry Normen (DIN), pengelasan adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang terjadi dalam keadaan lumer atau cair, dengan kata lain pengelasan adalah penyambungan setempat dari dua logam dengan menggunakan energi panas. Pengelasan (Welding) merupakan salah satu teknik penyambungan logam dengan cara sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam penambah dan menghasilkan sambungan yang terus menerus. Dari definisi tersebut terdapat 3 kata kunci untuk menjelaskan definisi pengelasan yaitu mencairkan logam, logam pengisi, dan tekanan

Dalam setiap proses pengerjaan pengelasan harus memenuhi standar tertentu yaitu: ASME (American Society of Mechanical Engineers), API (American Petroleum Institute) dan lain sebagainya. Dalam hal ini proses las, pemilihan logam pengisi (filler metal), perencanaan prosedur las, kualifikasi prosedur pengelasan, perencanaan dan prosedur pabrikasi, serta sistem pengendalian mutu harus dilakukan mengikuti peraturan yang berlaku dalam standar.

### 2.4.1 Shielded Metal Arc Welding ( SMAW )

SMAW adalah proses las busur manual dimana panas dari pengelasan dihasilkan oleh busur listrik antara elektroda terumpan berpelindung *flux* dengan benda kerja. Bagian ujung elektroda, busur, cairan logam las

dan daerah daerah yang berdekatan dengan benda kerja, dilindungi dari pengaruh atmosfer oleh gas pelindung yang terbentuk dari hasil pembakaran lapisan pembungkus elektroda. Perlindungan tambahan untuk cairan logam las diberikan oleh cairan logam *flux* atau *slag* yang terbentuk. *Filler* metal atau logam tambahan disuplai oleh inti kawat elektroda terumpun 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 2.2** Proses Pengelasan SMAW

#### 2.4.2 Heat Treatment

Proses perlakuan panas (Heat Treatment) adalah suatu proses mengubah sifat logam dengan cara mengubah struktur mikro melalui proses pemanasan dan pengaturan kecepatan pendinginan dengan atau tanpa merubah komposisi kimia logam yang bersangkutan. Tujuan proses perlakuan panas untuk menghasilkan sifat-sifat logam yang diinginkan. Perubahan sifat logam akibat proses perlakuan panas dapat mencakup keseluruhan bagian dari logam atau sebagian dari logam.

Adanya sifat alotropik dari besi menyebabkan timbulnya variasi struktur mikro dari berbagai jenis logam. Alotropik itu sendiri adalah merupakan transformasi dari satu bentuk susunan atom (sel satuan) ke bentuk susunan atom yang

lain. Pada temperatur dibawah  $910^{\circ}\text{C}$  sel satuannya Body Center Cubic (BCC), temperatur antara  $910^{\circ}\text{C}$  dan  $1392^{\circ}\text{C}$  sel satuannya Face Center Cubic (FCC) sedangkan temperatur diatas  $1392^{\circ}\text{C}$  sel satuannya kembali menjadi BCC.

Proses perlakuan panas ada dua kategori, yaitu :

1. Softening (Pelunakan) : Adalah usaha untuk menurunkan sifat mekanik agar menjadi lunak dengan cara mendinginkan material yang sudah dipanaskan didalam tungku (annealing) atau mendinginkan dalam udara terbuka (normalizing).
2. Hardening (Pengerasan) : Adalah usaha untuk meningkatkan sifat material terutama kekerasan dengan cara selup cepat (quenching) material yang sudah dipanaskan ke dalam suatu media quenching berupa air, air garam, maupun oli.

Berikut adalah macam-macam proses Heat Treatment yang biasanya dilakukan

### **1. Hardening**

Hardening adalah perlakuan panas terhadap logam dengan sasaran meningkatkan kekerasan alami logam. Perlakuan panas menuntut pemanasan benda kerja menuju suhu pengerasan, jangka waktu penghentian yang memadai pada suhu pengerasan dan pendinginan (pengejukan) berikutnya secara cepat dengan kecepatan pendinginan kritis. Akibat pengejukan dingin dari daerah suhu pengerasan ini, dicapailah suatu keadaan paksaan bagi struktur baja yang merangsang kekerasan, oleh karena itu maka proses pengerasan ini disebut pengerasan kejut. Karena logam menjadi keras melalui peralihan wujud struktur, maka perlakuan panas ini disebut juga pengerasan alih wujud. Kekerasan yang dicapai pada kecepatan pendinginan kritis (martensit) ini diringi kerapuhan yang besar dan tegangan pengejukan, karena itu pada umumnya dilakukan pemanasan kembali menuju suhu tertentu dengan 8 pendinginan lambat. Kekerasan tertinggi (66-68 HRC) yang dapat dicapai dengan pengerasan kejut suatu baja, pertama bergantung pada kandungan zat arang, kedua tebal benda kerja mempunyai pengaruh terhadap kekerasan karena dampak kejutan membutuhkan beberapa waktu untuk menembus ke sebelah dalam, dengan demikian maka kekerasan menurun

kearah inti.

## 2. Tempering

Perlakuan untuk menghilangkan tegangan dalam dan menguatkan baja dari kerapuhan disebut dengan memudakan (tempering). Tempering didefinisikan sebagai proses pemanasan logam setelah dikeraskan pada temperatur tempering (di bawah suhu kritis), yang dilanjutkan dengan proses pendinginan. Baja yang telah dikeraskan bersifat rapuh dan tidak cocok untuk digunakan, melalui proses tempering kekerasan dan kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi persyaratan penggunaan. Kekerasan turun, kekuatan tarik akan turun pula sedang keuletan dan ketangguhan baja akan meningkat. Meskipun proses ini menghasilkan baja yang lebih lunak, proses ini berbeda dengan proses anil (annealing) karena sifat-sifat fisis dapat dikendalikan dengan cermat.

Pada suhu 200°C sampai 300°C laju difusi lambat hanya sebagian kecil karbon dibebaskan, hasilnya sebagian struktur tetap keras tetapi mulai kehilangan kerapuhannya. Di antara suhu 500°C dan 600°C difusi berlangsung lebih cepat, dan atom karbon yang berdifusi di antara atom besi dapat membentuk cementit.

a) Menurut tujuannya proses tempering dibedakan sebagai berikut : Tempering pada suhu rendah ( 150° – 300°C ) Tempering ini hanya untuk mengurangi tegangan-tegangan kerut dan kerapuhan dari baja, biasanya untuk alat-alat potong, mata bor dan sebagainya.

b) Tempering pada suhu menengah ( 300° - 550°C ) Tempering pada suhu sedang bertujuan untuk menambah keuletan dan kekerasannya sedikit berkurang. Proses ini digunakan pada alat-alat kerja yang mengalami beban berat, misalnya palu, pahat, pegas. Suhu yang digunakan dalam penelitian ini adalah 500C pada proses tempering. c) Tempering pada suhu tinggi ( 550° - 650°C ) Tempering suhu tinggi bertujuan memberikan daya keuletan yang besar dan sekaligus kekerasannya menjadi agak rendah misalnya pada roda gigi, poros batang penggerak dan sebagainya.

### 3. **Annealing**

Annealing adalah perlakuan panas logam dengan pendinginan yang lambat berfungsi untuk memindahkan tekanan internal atau untuk mengurangi dan menyuling struktur kristal (melibatkan pemanasan di atas temperatur kritis bagian atas). logam dipanaskan sekitar 250°C di atas temperatur kritis bagian atas, ditahan dalam beberapa waktu, kemudian didinginkan pelan-pelan di tungku perapian. Proses ini digunakan untuk memindahkan tekanan internal penuh sebagai hasil proses pendinginan. Berikutnya pendinginan logam diatur kembali di dalam sama benar untuk menurunkan energi bentuk wujud, tegangan yang baru dibebaskan dibentuk dan pertumbuhan butir dukung. Tujuannya untuk menghilangkan internal stress pada logam dan untuk menghaluskan grain (batas butir) dari atom logam, serta mengurangi kekerasan, sehingga menjadi lebih ulet.

Annealing terdiri dari 3 proses yaitu :

- a) Fase recovery Fase recovery adalah hasil dari pelunakan logam melalui pelepasan cacat kristal (tipe utama dimana cacat linear disebut dislokasi) dan tegangan dalam.
- b) Fase rekristalisasi Fase rekristalisasi adalah fase dimana butir nucleate baru dan tumbuh untuk menggantikan cacat-cacat oleh tegangan dalam
- c) Fase grain growth (tumbuhnya butir) Fase grain growth (tumbuhnya butir) adalah fase dimana mikrostruktur mulai menjadi kasar dan menyebabkan logam tidak terlalu memuaskannya untuk proses pemesinan.

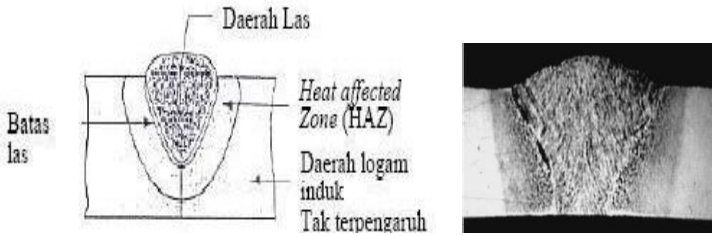
### 4. **Normalizing**

Normalizing adalah perlakuan panas logam di sekitar 400°C di atas batas kritis logam, kemudian di tahan pada temperatur tersebut untuk masa waktu yang cukup dan dilanjutkan dengan pendinginan pada udara terbuka. Pada proses pendinginan ini temperatur logam terjaga untuk sementara waktu sekitar 2 menit per mm dari ketebalannya hingga temperatur spesimen sama dengan temperatur ruangan, dan struktur yang diperoleh dalam proses ini diantaranya perlit (eutectoid), perlit brown ferrite (hypoeutectoid) atau perlit

brown cementite (hypereutectoid). Normalizing digunakan untuk menyuling struktur butir dan menciptakan suatu austenite yang lebih homogen ketika baja dipanaskan kembali. (www.steelindonesia.com) 12 Gambar 1. Diagram fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C (Sumber : www.steelindonesia.com) Dari gambar diatas dapat diterangkan atau dibaca diantaranya 1. Pada kandungan karbon mencapai 6.67% terbentuk struktur mikro dinamakan Cementit Fe<sub>3</sub>C (dapat dilihat pada garis vertikal paling kanan). Sifat – sifat cementitite diantaranya sangat keras dan sangat getas 2. Pada sisi kiri diagram dimana pada kandungan karbon yang sangat rendah, pada suhu kamar terbentuk struktur mikro ferit. 3. Pada baja dengan kadar karbon 0.83%, struktur mikro yang terbentuk adalah Perlit, kondisi suhu dan kadar karbon ini dinamakan titik Eutectoid. 4. Pada baja dengan kandungan karbon rendah sampai dengan titik eutectoid, struktur mikro yang terbentuk adalah campuran antara ferit dan perlit.

#### 2.4.3 Siklus Termal

Siklus termal dalam pengelasan adalah proses pemanasan dan pendinginan pada daerah logam las dan daerah yang dipengaruhi panas atau HAZ (*Heat Affected Zone*). Karena dengan mengetahui, memungkinkan meramalkan sifat- sifat dari logam las. Aspek-aspek yang timbul selama dan sesudah pengelasan harus benar-benar diperhitungkan sebelumnya, karena perencanaan yang kurang tepat dapat mengakibatkan kualitas hasil las yang kurang baik. Pada proses pengelasan terdapat tiga daerah seperti ditunjukkan Sambungan las dalam konstruksi baja pada dasarnya terbagi dalam sambungan tumpul, sambungan T, sambungan sudut, dan sambungan tumpang. Sebagai perkembangan sambungan dasar tersebut diatas terjadi sambungan silang, sambungan dengan penguat dan sambungan sis



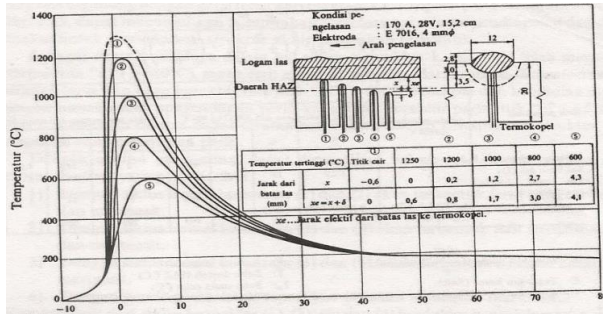
**Gambar 2.3** Daerah lasan

- (a) Logam induk (*basemetal*), merupakan bagian logam dasar dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat.
- (b) Daerah las / logam las, merupakan bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan membeku.
- (c) Daerah pengaruh panas atau *heat effected zone* (HAZ), merupakan logam dasar yang bersebelahan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat .
- (d) Selain ketiga daerah tersebut, masih ada satu daerah khusus yang membatasi antara logam las dengan daerah pengaruh panas yang disebut batas las atau daerah fusi (*fusion line*).

Siklus termal las sebagai contoh dapat dilihat pada gambar 2.8 dan gambar 2.9, menunjukkan siklus termal daerah lasan pada gambar 2.8 dapat dilihat siklus termal dari beberapa tempat dalam daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) dengan kondisi pengelasan tetap, sedangkan pada gambar 2.9 menunjukkan siklus termal disekitar lasan dengan kondisi pengelasan yang berbeda. Lamanya pendinginan dalam suatu daerah temperatur tertentu dari suatu siklus termal las sangat mempengaruhi kualitas sambungan, karena itu banyak sekali

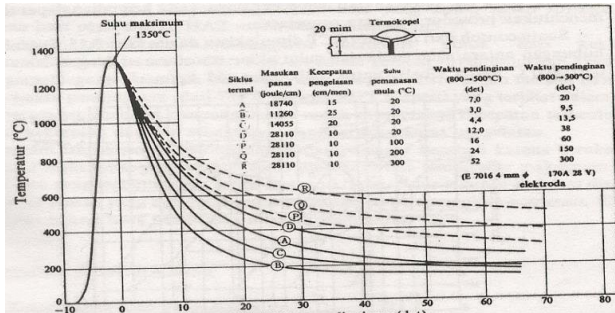


usaha-usaha pendekatan untuk menentukan lamanya waktu pendinginan. Siklus termal dari beberapa tempat dalam daerah HAZ dapat dilihat pada gambar 2.4.



**Gambar 2.4** Siklus termal dari beberapa tempat dalam daerah HAZ (Heat Affected Zone)

Sifat mekanik dari daerah HAZ sebagian besar tergantung pada lamanya pendinginan dari temperatur 800°C sampai 500°C, sedangkan retak dingin dimana hidrogen memegang peranan penting terjadinya sangat tergantung oleh lamanya pendinginan dari temperatur 800°C sampai 300°C atau 100°C. Sedangkan untuk Siklus termal disekitar lasan dengan kondisi pengelasan yang berbeda dapat dilihat pada gambar 2.9.



**Gambar 2.5** Silkus termal disekitar lasan dengan kondisi pengelasan yang berbeda

## 2.4.4 DIAGRAM TTT DAN CCT

### 2.4.4.1 Diagram TTT

Maksud utama dari proses perlakuan panas terhadap baja adalah agar diperoleh struktur yang diinginkan supaya cocok dengan penggunaan yang direncanakan. Struktur tersebut dapat diperkirakan dengan cara menerapkan proses perlakuan panas yang spesifik. Struktur yang diperoleh merupakan hasil dari proses transformasi dari kondisi sebelumnya (awal). Beberapa proses transformasi dapat dibaca melalui diagram fasa. Diagram fasa Fe-C dapat digunakan untuk memperkirakan beberapa kondisi transformasi tetapi untuk kondisi tidak setimbang tidak dapat menggunakan diagram fasa. Dengan demikian, untuk setiap kondisi transformasi lebih baik menggunakan diagram TTT (Time - Temperature - Transformation). Diagram ini menghubungkan transformasi austenit terhadap waktu dan temperatur. Nama lain dari diagram ini adalah diagram S atau diagram C.

Melalui diagram ini dapat dipelajari kelakuan baja pada setiap tahap perlakuan panas. Diagram ini dapat juga digunakan untuk memperkirakan struktur dan sifat mekanik dari baja yang diquench (disepuh) dari temperatur austenitisasinya ke suatu temperatur dibawah A1. Pengaruh laju pendinginan pada transformasi austenit dapat diuraikan melalui penggunaan

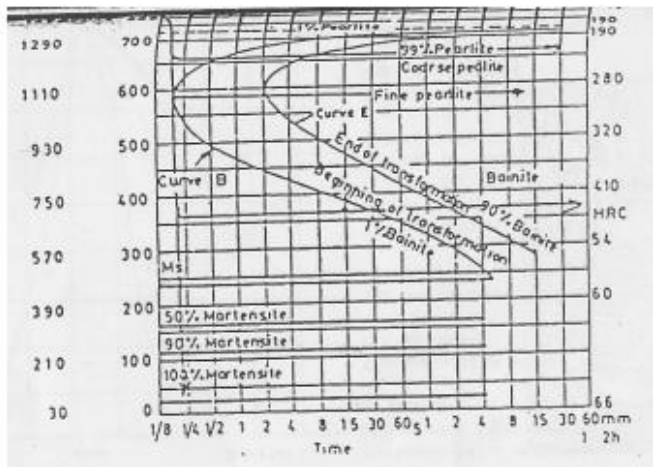
diagram TTT untuk jenis baja tertentu. Pada diagram ini sumbu tegak menyatakan temperatur sedangkan sumbu datar menyatakan waktu yang diplot dalam skala logaritmik. Diagram ini merupakan ringkasan dari beberapa jenis struktur mikro yang diperoleh dari rangkaian percobaan yang dilakukan pada spesimen yang kecil yang dipanaskan pada temperatur austenitisasinya, kemudian diquench pada temperatur tertentu dibawah titik eutektoid A1, untuk jangka waktu yang tertentu pula sampai seluruh austenit bertransformasi.

Proses transformasi 2 dari austenit pada baja yang bersangkutan diamati dan dipelajari dengan menggunakan mikroskop. Produk yang diperoleh dari transformasi austenit dapat dikelompokkan kedalam tiga kelompok. Pada rentang temperatur antara A1 sampai kira-kira akan terbentuk perlit. Tetapi perlit yang terbentuk pada temperatur sekitar 7000C akan lebih kasar; sedangkan perlit yang terbentuk pada temperatur sekitar 5500C akan lebih halus. Dibawah temperatur ini, yaitu 4500C akan terbentuk upper bainite dan pada temperatur sekitar 2500C yaitu sedikit di atas Ms akan terbentuk lower bainite. Harga kekerasan dari struktur tersebut di atas dapat dibaca pada skala yang terdapat disebelah kanan kurva.

Pada diagram TTT; kurva B menyatakan awal dari transformasi austenit, sedangkan kurva E menyatakan waktu yang diperlukan untuk mentransformasikan seluruh austenit. Daerah disebelah kiri kurva B menyatakan perioda Inkubasi dimana transformasi dari austenit belum dimulai. Terlihat bahwa proses transformasi yang paling cepat terjadi pada temperatur sekitar 5500C, dimana awal transformasi dapat berlangsung kurang dari satu detik. Dan dalam waktu 5 detik seluruh fasa austenit sudah bertransformasi. Hal ini menunjukkan bahwa laju pendinginan untuk memperoleh Martensit atau Bainit harus cepat, dan ini hanya terjadi dengan Jalan dicelup ke dalam air (diquench). Perlit yang terbentuk pada temperatur yang lebih tinggi memiliki kekerasan yang lebih rendah dibanding Perlit yang halus.

Hal ini erat kaitannya dengan kelakuan presipitasi sementit dari austenit, Bainit yang terbentuk pada temperatur

yang lebih tinggi memiliki kekerasan yang lebih rendah dibanding dengan Bainit yang terbentuk pada temperatur yang lebih rendah. Struktur Bainit yang terbentuk pada temperatur yang lebih tinggi relatif berbeda dengan struktur bainit yang terbentuk pada temperatur yang lebih rendah. 3 Pembentukan Martensit sangat berbeda dibandingkan dengan Pembentukan perlit atau bainit. Pembentukan martensit hampir tidak tergantung pada waktu. Sebagai contoh: Martensit mula terbentuk sekitar 2000C (Ms) dan terus berlanjut sampai temperatur mencapai 290C yaitu pada saat Martensit mencapai 100% (Mf). Pembentukan martensit dikaitkan dengan waktu pada diagram dinyatakan dengan garis horizontal. Pada 990C hampir 90 % martensit telah terbentuk. Perbandingan ini tidak berubah terhadap waktu sepanjang temperturnya dijaga konstan. Pengaruh laju pendinginan pada transformasi austenit dapat diuraikan melalui penggunaan diagram TTT untuk jenis baja tertentu. Seperti gambar di bawah menggambarkan diagram TTT untuk baja dengan kadar karbon 1%.



**Gambar 2.6** Diagram TTT

Pada diagram ini, sumbu tegak menyatakan temperatur sedangkan sumbu mendatar menyatakan waktu yang diplot dalam skala logaritmik. Diagram ini merupakan ringkasan dari

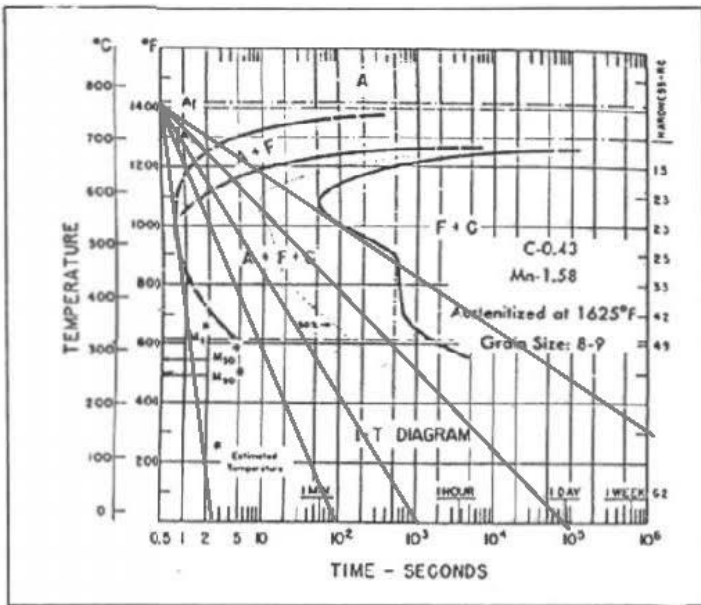
beberapa jenis struktur mikro yang diperoleh dari rangkaian percobaan yang dilakukan pada spesimen yang kecil yang Gambar. Diagram TTT untuk baja Karbon 1% C 4 dipanaskan pada temperatur austenisasinya, kemudian diquench pada temperatur tertentu di bawah titik eutektoid A1 untuk jangka waktu yang tertentu pula sampai seluruh transformasi austenit. Produk yang diperoleh dari transformasi austenit dapat dikelompokkan ke dalam tiga kelompok.

Pada rentang temperatur antara A1 sampai kira – kira 5500C akan terbentuk perlit. Tetapi perlit yang terbentuk sekitar 7000C akan lebih kasar, sedangkan perlit yang terbentuk pada temperatur 5500C akan lebih halus. Pada temperatur sekitar 4500C akan terbentuk upper bainit dan pada temperatur 2500C yaitu sekitar sedikit di atas Ms akan terbentuk lower bainit. Harga kekerasan dari struktur – struktur tersebut dapat dibaca pada skala yang terdapat disebelah kanan kurva. Perlit yang terbentuk pada temperatur yang lebih tinggi memiliki kekerasan yang lebih rendah dibanding perlit yang halus. Hal ini erat kaitannya dengan kelakuan persipitasi sementit dari austenit. Bainit yang terbentuk pada temperatur yang lebih tinggi memiliki kekerasan yang lebih rendah dibanding dengan bainit yang terbentuk pada temperatur yang lebih rendah. Struktur bainit terbentuk pada temperatur yang lebih tinggi relatif berbeda dengan struktur bainit yang terbentuk pada temperatur yang lebih rendah.

#### **2.4.4.2 Diagram CCT**

Saat kondisi perlakuan panas sebenarnya, transformasi umumnya tidak terjadi saat kondisi isothermal tetapi terjadi saat kondisi pendinginan yang terus menerus (Continuous Cooling). Proses ini dapat kita lihat pada diagram CCT (Continuous

Cooling Transformation) berikut:



**Gambar 2.6** Diagram CCT Baja Karbon 0,2%

Beberapa spemen baja eutektoid dipanaskan pada temperatur di atas titik A1. Temperatur ini ditunjukkan oleh diagram CCT di atas sebaga titik t. kemudian baja didinginkan dengan berbagai macam variasi pendinginan. Proses pendinginan diperlihatkan oleh garis miring dimana semakin miring garis yang terbentuk semakin cepat pendinginannya. Pendinginan yang paling lambat (untuk annealing) diperlihatkan oleh garis lurus v1, pendinginan yang sedikit lebih cepat diperlihatkan oleh garis v2, yang lebih cepat (untuk quenching dengan oli) diperlihatkan oleh garis v3 dan v4 dan yang paling cepat (pendinginan dengan air) ditunjukkan oleh garis v5 dan v6. Saat pendinginan paling lambat pada garis v1 yang berpotongan dengan dua buah kurva transformasi berikut sewaktu awal transformasi berpotongan pada titik a1 dan dan kurva akhir transformasi berpotongan dengan titik b1.

Ini berarti bahwa pendinginan yang lambat, austenit

seluruhnya bertransformasi menjadi agregat ferit – sementit . Diagram CCT pada baja Karbon. 6 Karena transformasi terjadi sewaktu temperatur tertinggi (range temperatur A1 – M), butiran ferit – sementit bergumpal dan sedikit menyebar dengan bentuk yang lain yang disebut dengan perlit. Pendinginan yang lebih cepat (seperti sewaktu normalizing) garis v2 juga berpotongan dengan dua kurva transformasi. Ini berarti bahwa meskipun austenit telah seluruhnya berubah menjadi gumpalan ferit sementit, namun pada range a2 – b2, melalui temperatur yang lebih merata yang disebut dengan sorbit. Pendinginan yang tidak melewati v3, kurva memperlihatkan proses pendinginan memotong kedua kurva transformasi, yang menghasilkan dekomposisi austenit menjadi butiran ferit sementit. Pendinginan yang lebih cepat dari v3, seperti v4, garis v4 hanya memotong kurva pada saat awal transformasi (titik a4), dan tidak melewati kurva akhir transformasi. Ini berarti, ferit sementit mulai terbentuk namun tidak seluruhnya.

Dengan kata lain sebagian volume butir austenit berubah jadi ferit dan sementit, namun bagian lainnya menjadi martensit sewaktu mencapai temperatur M (di titik M4). Dengan demikian, struktur baja dingin pada v4 sebagian terdiri dari troostie dan yang lainnya martensit. Struktur yang aneh ini pada seluruh baja didinginkan lebih cepat dari v3, namun lebih lambat dari v5. Untuk baja karbon pendinginan ini sama dengan quenching dalam oli.

#### 2.4.5 Heat Input

*Heat Input* adalah besarnya energi panas setiap satuan panjang las ketika sumber panas (yang berupa nyala api, busur listrik, plasma atau cahaya energi tinggi bergerak). 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 (voltage) 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.

$$\text{Masukan panas : } \dots\dots\dots \frac{HI}{s} = \frac{V \times I \times \eta}{s} \quad (2.1)$$

Dimana:  $HI =$  Masukan panas atau energi (  $J/mm$  )  
 $I =$  Arus ( Ampere )  
 $V =$  Voltase ( Volt )

$\eta =$  Efisiensi perpindahan  
panas  $s =$  Kecepatan  
pengelasan ( mm/s )

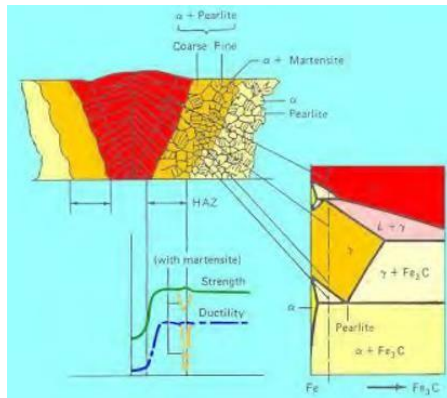


Nilai  $\eta$  besarnya antara  $0 \div 1$  yang tergantung proses pengelasannya.

**Tabel 2.5** Efisiensi perpindahan panas

Welding process	Arc efficiency factor $\eta$
SA welding (steel)	$0.90 \div 0.99$
SMA welding (steel)	$0.66 \div 0.85$
GMA welding (steel)	$0.75 \div 0.93$
GMA welding (Co <sub>2</sub> _steel)	$0.66 \div 0.70$
GTA weldng (Ar_steel)	$0.25 \div 0.75$
GTA welding (He_Al)	$0.55 \div 0.80$
GTA welding (Ar_Al)	$0.22 \div 0.46$

#### 2.4.6 Multi Layer

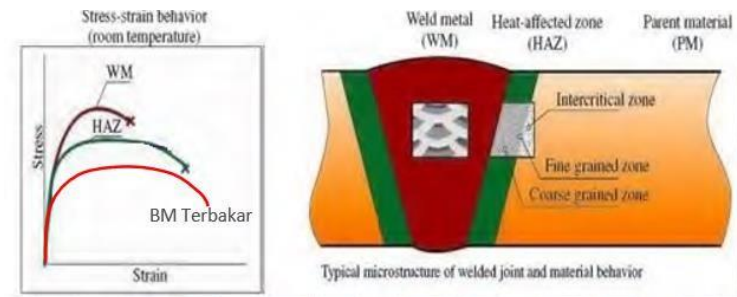


**Gambar 2.7** Karakteristik Hasil Sambungan Las Pada Single Layer

Pengelasan bertumpuk (Multilayer) yaitu proses dimana layer kedua memberikan efek postheat pada layer sebelumnya dan preheat bagi layer sesudahnya. Pengelasan multilayer memberikan efek tempering pada daerah HAZ.

Efek preheat dan tempering dapat mempengaruhi struktur mikro dan kekerasan pada hasil las. Sedangkan untuk daerah Weld Metal sendiri memiliki kekuatan tarik lebih besar daripada Base Metal karena parameter pengelasan yang benar sehingga dari WPS (Welding Procedure System) sudah terpenuhi dan hasil dari pengelasan tidak mengalami cacat las pada sambungan di logam induk.

Perlakuan pengelasan multilayer memberikan sifat mekanis yang berbeda. Pemanasan awal memberikan efek menurunkan kekerasan tetapi menambah keuletan material. Karakteristik HAZ yang terbentuk dari pengelasan multilayer ini sangat berbeda, dimana luas HAZ yang terbentuk ketika pengelasan fill cover lebih luas daripada ketika pengelasan root sebagai tembusan. Hal ini jugalah yang mempengaruhi sifat mekanis material pengelasan



**Gambar 2.8** Grafik Kekuatan Multi Layer dan Hasil Pengelasan Multi Layer

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

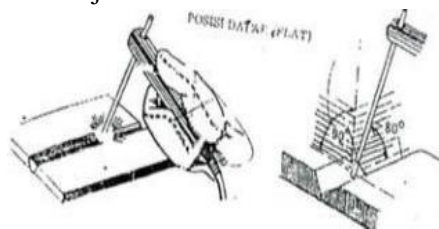
layer ini weld metal daerah terkuat sehingga patahan akan berada pada daerah HAZ , dan bisa memungkinkan akan patah pada daerah base metal. Apabila dilakukan pengelasan dengan penggunaan filler yang nilainya sama nilai kekuatan base metal, maka patahan berada pada daerah HAZ. Tetapi jika penggunaan filler yang nilainya diatas base metal maka patah akan bergeser ke daerah base metal

## 2.5 Posisi Pengelasan

Posisi Pengelasan adalah jenis atau posisi sambungan yang akan dilakukan pengelasan, posisi pengelasan ini dilakukan berdasarkan material atau produk yang akan dilas. Dalam teknologi pengelasan, semua itu ada pengkodeannya berdasarkan jenis sambungan. Untuk sambungan groove atau bevel disimbolkan dengan 1G, 2G, 3G dan 4G.

- Posisi 1G

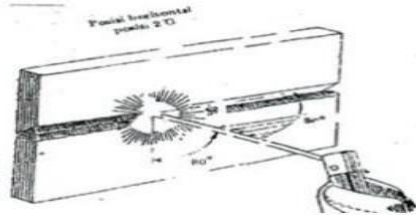
Posisi pengelasan di bawah tangan (*down hand position*) Posisi pengelasan ini adalah posisi yang paling mudah dilakukan. Posisi ini dilakukan untuk pengelasan pada permukaan datar atau permukaan agak miring, yaitu letak elektrod berada di atas benda kerja.



**Gambar 2.9** Posisi pengelasan 1G

- Posisi 2G

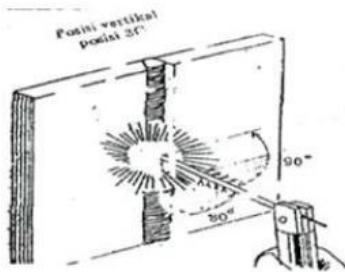
merupakan pengelasan yang arahnya mengikuti arah garis mendatar/horizontal. Posisi benda kerja biasanya berdiri tegak atau agak miring sedikit dari arah elektroda las. Pengelasan posisi mendatar sering digunakan untuk pengelasan benda-benda yang berdiri tegak .



**Gambar 2.10** Posisi pengelasan 2G

- Posisi 3G

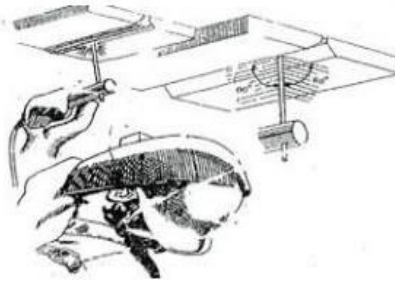
Posisi pengelasan tegak (*vertical position*) Mengelas dengan posisi tegak merupakan pengelasan yang arahnya mengikuti arah garis tegak/vertikal. Seperti pada horizontal position pada vertical position, posisi benda kerja biasanya berdiri tegak atau agak miring sedikit searah dengan gerak elektroda las yaitu naik atau turun.



**Gambar 2.11** Posisi pengelasan 3G

- Posisi 4G

Posisi pengelasan di atas kepala (*over head position*) Benda kerja terletak di atas kepala welder, sehingga pengelasan dilakukan di atas kepala operator atau welder. Posisi ini lebih sulit dibandingkan dengan posisi-posisi pengelasan yang lain. Posisi pengelasan ini dilakukan untuk pengelasan pada permukaan datar atau agak miring tetapi posisinya berada di atas kepala, yaitu letak elektroda berada di bawah benda kerja.



**Gambar 2.12** Posisi pengelasan 4G

## 2.6 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 A B C D**

- E** : Menyatakan elektroda busur listrik.
- AB** : sesudah E menyatakan kekuatan tarik deposit las dalam ( X1000Psi)
- C** : menyatakan posisi pengelasan.
- D** : menyatakan jenis selaput atau gas pelindung dan jenis arus yang cocok dipakai untuk pengelasan.

## 2.7 Sifat Mekanik Material

Sifat mekanik adalah kemampuan suatu bahan untuk menerima beban, gaya, dan energi tanpa menimbulkan kerusakan pada bahan tersebut. Beberapa sifat mekanik antara lain :

### A. Kekuatan (Strength)

Merupakan kemampuan untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan bahan menjadi patah. Kekuatan terbagi kebeberapa macam tergantung jenis beban yang bekerja, yaitu kekuatan tarik, kekuatan geser, kekuatan torsi dan kekuatan lengkung

### B. Kekerasan (Hardness)

Merupakan kemampuan bahan untuk tahan terhadap goresan, pengikisan, indentasi dan penetrasi. Kekerasan juga mempunyai korelasi dengan kekuatan.

### C. Kekenyalan(Elasticity)

Merupakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan terjadinya perubahan bentuk yang permanen setelah tegangan dihilangkan. Bila suatu benda mengalami tegangan maka akan terjadi perubahan bentuk.

### D. Kekakuan (Stiffness)

Merupakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan/beban tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk deformasi atau defleksi

#### E. Plastisitas (Plasticity)

Merupakan kemampuan bahan untuk mengalami sejumlah deformasi plastis yang permanen tanpa mengakibatkan terjadi kerusakan.

#### F. Ketangguhan (Toughness)

Merupakan kemampuan bahan untuk menyerap energi tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan. Juga dapat dikatakan sebagai ukuran banyaknya energi yang diperlukan untuk mematahkan suatu benda pada kondisi tertentu.

#### G. Kelelahan (Fatigue)

Merupakan kecenderungan dari bahan untuk patah bila menerima tegangan berulang-ulang yang besarnya masih jauh di bawah batas kekuatan elastiknya.

#### H. Melar (Creep)

Merupakan kemampuan kecenderungan bahan untuk mengalami perubahan bentuk secara permanen bila pembebanan yang besarnya relatif tetap dilakukan dalam waktu yang lama pada suhu yang tinggi.

#### I. Kegetasan (Brittleness)

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

#### J. Keuletan (Ductility)

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

## 2.8 Tensile Test

Uji tarik adalah suatu metode yang digunakan untuk mengetahui tingkat kekuatan suatu material dan mengenali karakteristik pada material tersebut dengan cara memberikan beban gaya yang berlawanan arah dalam suatu garis lurus. Pemberian beban pada kedua arah sumbunya diberi beban yang sama besarnya. Beban yang diberikan pada bahan yang diuji ditransmisikan pada pegangan bahan yang diuji. Dimensi dan ukuran beban uji disesuaikan dengan standard baku pengujian. Pengujian kali ini menggunakan standard ASME

Pengujian untuk mengetahui kekuatan yang terjadi pada sambungan logam hasil pengelasan dapat dilakukan dengan pengujian merusak dan pengujian tidak merusak. Pengujian merusak dapat dilakukan dengan uji mekanik untuk mengetahui kekuatan sambungan logam hasil pengelasan, yang salah satunya dapat dilakukan suatu uji tarik yang telah distandarisasi. Kekuatan tarik sambungan las sangat dipengaruhi oleh sifat logam induk, daerah HAZ, sifat logam las, dan geometri serta distribusi tegangan dalam sambungan. Untuk melaksanakan pengujian tarik dibutuhkan batang tarik. Batang tarik, dengan ukuran-ukuran yang dinormalisasikan, dibubut dari spesimen yang akan diuji. Uji tarik merupakan salah satu dari beberapa pengujian yang umum digunakan untuk mengetahui sifat mekanik dari satu material

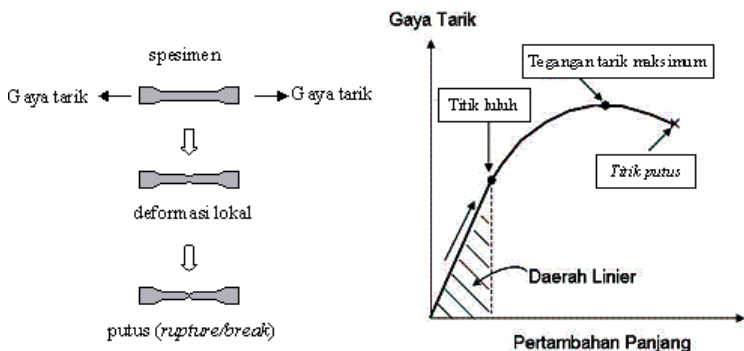


Ada banyak hal yang bisa didapatkan dari uji tarik, dengan memberikan gaya tarik pada material sampai putus maka semua susunan struktur material bisa diketahui dengan jelas sehingga dapat menentukan kualitas dari material tersebut.

Pengujian dilakukan untuk mengetahui sifat mekanis suatu material, khususnya logam diantara sifat mekanis yang dapat diketahui dari hasil pengujian tarik adalah sebagai berikut :

1. Kekuatan tarik
2. Keuletan
3. Ketangguhan
4. Kuat luluh
5. Modulus elastis

Banyak hal yang dapat kita pelajari dari hasil uji tarik. Bila kita terus menarik suatu bahan (dalam hal ini suatu logam) sampai putus, kita akan mendapatkan profil tarikan yang lengkap yang berupa kurva seperti gambar 2.6. Kurva ini menunjukkan hubungan antara gaya tarikan dengan perubahan panjang. Profil ini sangat diperlukan dalam desain yang memakai bahan tersebut.



**Gambar 2.13** Uji Tarik dan Kurvanya

Biasanya yang menjadi fokus perhatian adalah kemampuan maksimum bahan tersebut dalam menahan beban.

Kemampuan ini umumnya disebut *Ultimate Tensile Strength (UTS)*, atau dalam bahasa Indonesia disebut dengan tegangan tarik maksimum. Hubungan antara beban atau gaya yang diberikan berbanding lurus dengan perubahan panjang bahan tersebut. Ini disebut daerah linier atau *linier zone*. Di daerah ini kurva penambahan 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 penambahan panjang dibagi panjang awal bahan.

Untuk hasil dari *elongation* dapat dilihat dari rumus dibawah

- Tegangan

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

Dimana :

$\sigma$  = Tegangan ( N/mm<sup>2</sup> )

F = Gaya

A = Luas

- Regangan

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

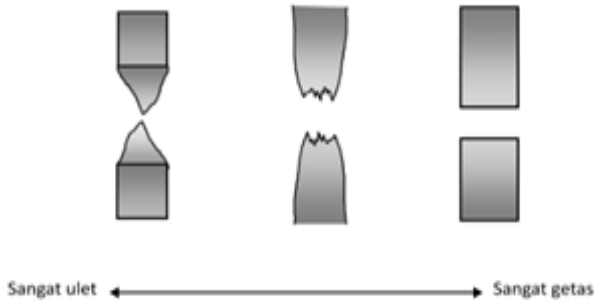
Dimana

$\varepsilon$  = Regangan ( % )

$\Delta L$  = Perpanjangan ( mm )

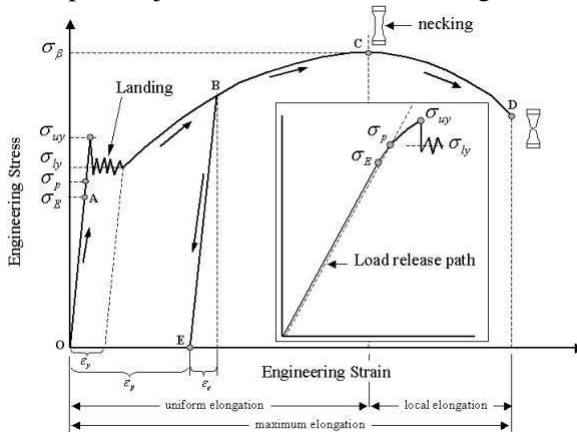
$L_0$  = Panjang awal ( mm )

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



**Gambar 2.14** Bentuk Patahan

### 2.8.1 Detail profil uji tarik dan sifat mekanik logam



**Gambar 2.15** Contoh uji tarik

#### a. Batas elastis $\sigma_e$ (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 yaitu regangan “nol” pada titik O. Tetapi bila beban ditarik sampai melewati titik A, hukum Hooke tidak lagi berlaku dan terdapat perubahan permanen dari bahan.

**b. Batas proporsional  $\sigma_p$  (*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 bila bahan ditarik sampai melewati batas proporsional dan mencapai daerah *landing*.

**d. Tegangan luluh atas  $\sigma_{uy}$  (*upper yield stress*)**

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

**e. Tegangan luluh bawah  $\sigma_{ly}$  (*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  $\epsilon_y$  (*yield strain*)**

Regangan permanen saat bahan akan memasuki fase deformasi plastis.

**g. Regangan elastis  $\epsilon_e$  (*elastic strain*)**

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

**h. Regangan plastis  $\epsilon_p$  (*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** (*UTS, ultimate tensile strength*)

Ditunjukkan dengan titik C ( $\sigma_B$ ), 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.

## 2.9 Uji Metalografi

Ilmu logam dibagi menjadi dua bagian khusus, yaitu metalurgi dan metalografi. Metalurgi adalah menguraikan tentang cara pemisahan logam dari ikatan unsur lain atau cara pengolahan logam secara teknis, sehingga diperoleh jenis logam atau logam paduan yang memenuhi kebutuhan tertentu. Sedangkan metalografi adalah mempelajari tentang pemeriksaan logam untuk mengetahui sifat, struktur, temperatur dan persentase campuran dari logam tersebut.

Metalografi meliputi tahap-tahap sebagai berikut :

1. Cutting, yaitu mengetahui prosedur proses pemotongan sampel dan menentukan teknik pemotongan yang tepat dalam pengambilan sampel metalografi sehingga didapat benda uji yang representatif.
2. Mounting, yaitu menempatkan sampel pada suatu media, untuk memudahkan penanganan sampel yang berukuran kecil dan tidak beraturan tanpa merusak sampel.
3. Grinding, yaitu meratakan dan menghaluskan permukaan sampel dengan cara menggosokkan sampel pada kain abrasif atau ampelas.
4. Pemolesan (Polishing), yaitu mendapatkan permukaan sampel yang halus dan mengkilat seperti kaca tanpa

menggores, sehingga diperoleh permukaan sampel yang halus bebas goresan dan mengkilap seperti cermin, menghilangkan ketidakteraturan sampel hingga orde 0,01  $\mu\text{m}$ .

5. Etsa, yaitu mengamati dan mengidentifikasi detail struktur logam dengan bantuan mikroskop optik setelah terlebih dahulu dilakukan proses etsa pada sampel, mengetahui perbedaan antara etsa kimia dengan elektro etsa serat aplikasinya.

### **2.9.5 Uji Mikro (*Microscopic Examination*)**

Yang dimaksud dengan pemeriksaan mikro ialah pemeriksaan bahan logam di mana bentuk kristal logam tergolong halus sehingga diperlukan angka pembesaran lensa mikroskop antara 50 kali sampai 3000 kali atau lebih dengan menggunakan mikroskop industri.

## **2.10 Kekerasan**

Kekerasan dapat diidentifikasi sebagai ketahanan logam terhadap beban penekanan kedalam yang disebabkan oleh benda tekan yang berbentuk tertentu karena pengaruh gaya tertentu, semakin kecil penekanan (tidak dalam) menunjukkan kekerasan yang semakin besar.

Ada beberapa macam alat pengujian kekerasan yang dipergunakan sesuai dengan bahan, kekerasan ukuran, dan lain-lain suatu produk. Pengujian kekerasan yang digunakan pada penelitian ini adalah pengujian kekerasan *Rockwell*. Identor yang berfungsi sebagai penekan memiliki berbagai macam bentuk dan bahan pembuatannya. Cara kerja alat ini adalah dengan menekankan identor kepermukaan yang diukur. Hasil dari penekanan tersebut terdapat pada indikator ukuran yang ada. Untuk bahan-bahan yang memiliki daerah nilai kekerasan yang luas biasanya digunakan penumbuk berupa

kerucut intan  $120^\circ$  dengan puncak yang hampir bulat dan dinamakan

penumbuk *Brale*, serta bola baja berdiameter — in dan — in, dengan beban yang digunakan sebesar 60, 100, 150 kg. Skala B (bola baja 1,588 mm 1/16") merupakan skala *Rockwell* yang paling banyak digunakan untuk baja karbon rendah.

**Tabel 2.6** Beban Indentor dan Skala pada Metode Uji Kekerasan Rockwell

Skala	Penekan	Beban			Skala Kekerasan	Warna Angka
		Awal	Utama	Jumlah		
A	Kerucut intan $120^\circ$	10	50	60	100	Hitam
B	Bola baja 1,588 mm (1/16")	10	90	100	130	Merah
C	Kerucut intan $120^\circ$	10	140	150	100	Hitam
D	Kerucut intan $120^\circ$	10	90	100	100	Hitam
E	Bola baja 3,175 mm (1/8")	10	90	100	130	Merah
F	Bola baja 1,588 mm	10	50	60	130	Merah
G	Bola baja 1,588 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

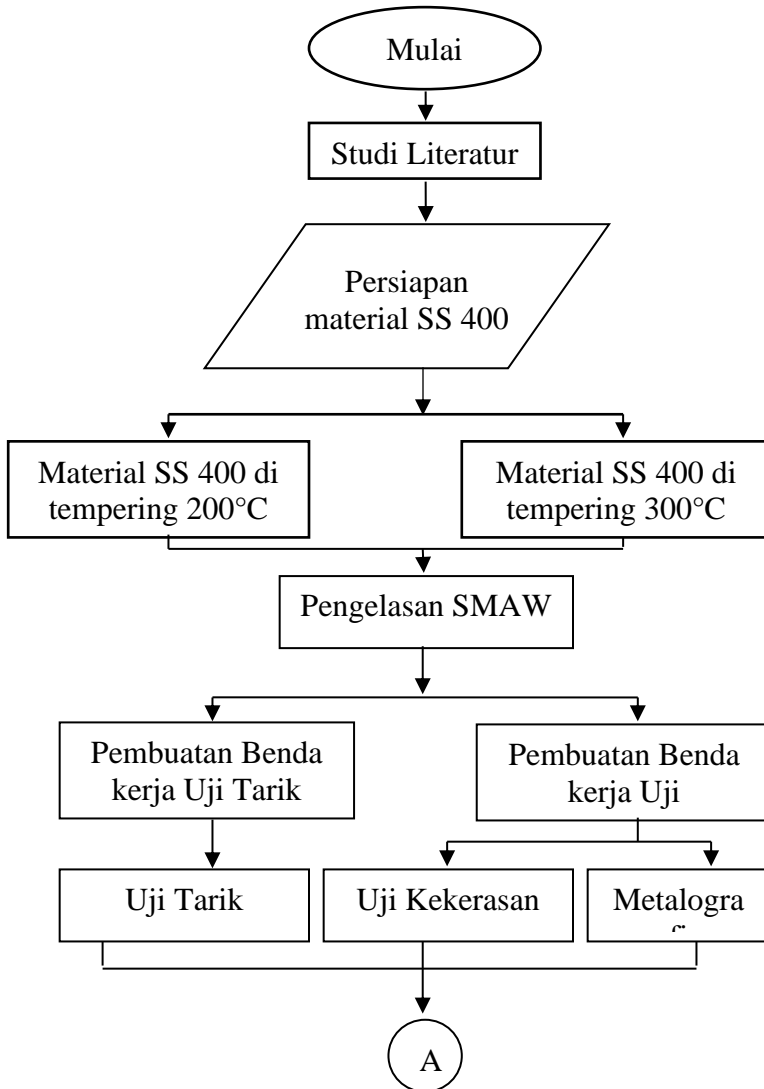
**Tabel 2.7** Keterangan

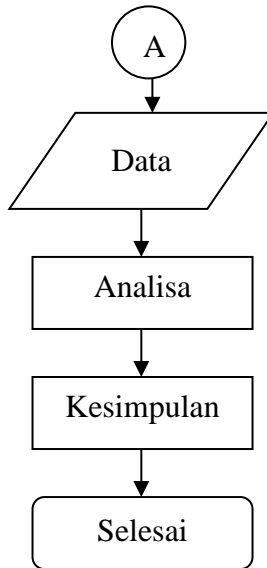
Skala	Pemakaiannya
A	Untuk <i>carbide cementite</i> , baja tipis, dan baja dengan lapisan keras yang tipis
B	Untuk paduan tembaga, baja lunak, paduan aluminium, dan besi tempa
C	Untuk baja, besi tuang keras, besi tempa peritik, titanium, baja dengan lapisan keras yang dalam, dan bahan-bahan lain yang lebih keras daripada skala B-100
D	Untuk baja tipis, baja dengan lapisan keras yang sedang, dan besi tempa peritik
E	Untuk besi tuang, paduan aluminium, magnesium, dan logam-logam bantalan
F	Untuk paduan tembaga yang dilunakkan dan pelat lunak yang tipis
G	Untuk besi tempa, paduan tembaga, nikel-seng, dan tembaga-nikel
H	Untuk aluminium, seng, dan timbal
K	Untuk logam, bantalan, dan logam yang sangat lunak lainnya, atau bahan-bahan tipis
L	Untuk logam, bantalan, dan logam yang sangat lunak lainnya, atau bahan-bahan tipis
M	Untuk logam, bantalan, dan logam yang sangat lunak lainnya, atau bahan-bahan tipis
P	Untuk logam, bantalan, dan logam yang sangat lunak lainnya, atau bahan-bahan tipis
R	Untuk logam, bantalan, dan logam yang sangat lunak lainnya, atau bahan-bahan tipis
S	Untuk logam, bantalan, dan logam yang sangat lunak lainnya, atau bahan-bahan tipis
V	Untuk logam, bantalan, dan logam yang sangat lunak lainnya, atau bahan-bahan tipis



# BAB III METODOLOGI PENELITIAN

## 3.1 Flow Chart Penelitian





**Gambar 3.1** *Flow Chart Diagram*

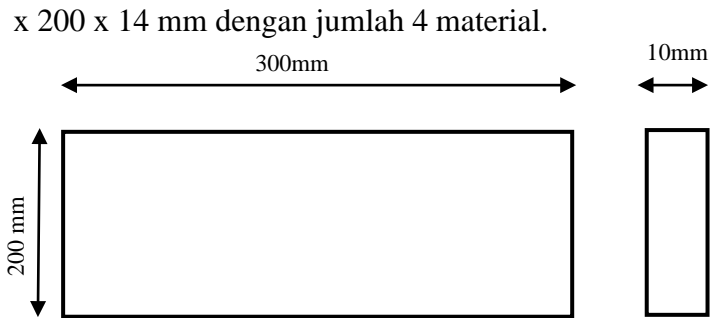
### **3.1 Studi Literatur**

Pada tahapan studi literatur adalah untuk mempelajari dan membahas teori – teori yang dibutuhkan untuk membantu dalam proses pengerjaan tugas akhir ini. Selain itu juga melakukan pengambilan data melalui buku dan internet.

### **3.2 Persiapan Bahan dan Peralatan**

#### **3.2.1 Persiapan Bahan**

Dalam penelitian ini material yang digunakan adalah plat baja SS400 dengan ukuran 300



**Gambar 3.2** Dimensi Material

### 3.2.2 Persiapan Peralatan

Alat yang perlu dipersiapkan dalam pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut :



**Gambar 3.3** Mesin Las SMAW



**Gambar 3.4** Tang Ampere



**Gambar 3.5** Gerinda Tangan

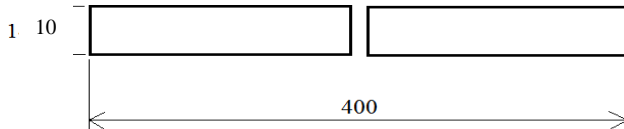


**Gambar 3.6** helm welder

### 3.2.3 Pembuatan Benda Kerja Pengelasan

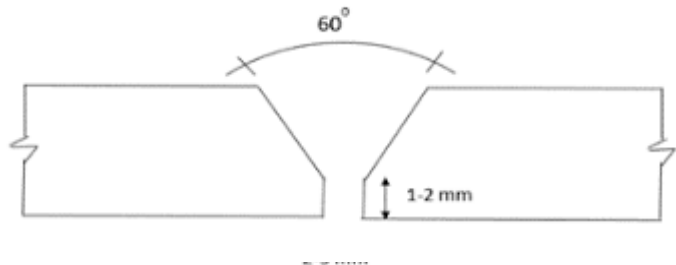
Dalam penelitian ini harus dipersiapkan spesimen awal dengan rincian adalah sebagai berikut :

1. Siapkan benda kerja sebanyak 4 pelat baja SS 400. Kemudian pilih pasangan baja pelat SS400. Sehingga nantinya diperoleh dua benda kerja dengan dimensi 300 x 200 x 10 mm.



**Gambar 3.7** Material Pengelasan

2. Setiap benda kerja dibentuk model groovenya sesuai dengan penelitian yaitu : V Groove.



**Gambar 3.8** Material Pengelasan dengan Model V Groove

### 3. Benda kerja siap untuk dilas

#### 3.4. Pengelasan

Pengelasan dilakukan menggunakan SMAW posisi 1G. Pengelasan pada benda kerja ini menggunakan jenis kawat las E 7018 dengan diameter 3,2 mm. Arus yang digunakan adalah 140A. Polaritas DCRP



**Gambar 3.9** Proses Pengelasan



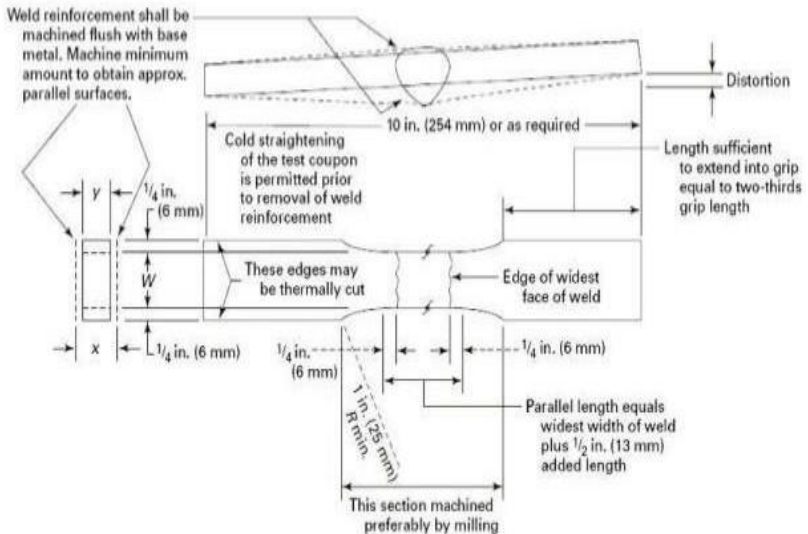
**Gambar 3.10** Kawat Las E 7018

### 3.5 Pembuatan Benda Kerja untuk Pengujian

Setelah dilakukan pengelasan dan hasilnya secara visual

terjadi cacat las seperti *Incomplete Penetration* dan pada bagian *root* tidak tembus, benda kerja dipotong menjadi beberapa bagian untuk pengujian tarik, pengujian kekerasan, dan metalografi

### 3.5.1 Benda Uji Tarik

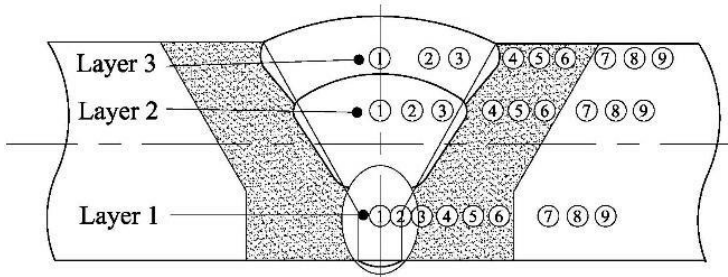


**Gambar 3.11** ASME standart for Tensile

Benda pengujian tarik dibentuk sesuai dengan standar ASME. Daerah lasannya digerinda sampai rata dengan logam induk. Benda kerja untuk uji tarik permukaan yang akan dicekam nantinya harus rata dan halus.

### 3.5.2 Benda Uji Kekerasan

Benda kerja untuk pengujian kekerasan dipersiapkan terlebih dahulu dengan cara pemotongan yang simetris dan tidak bergelombang agar mendapat kerataan yang sama sehingga ketika



dilakukan uji kekerasan tidak terjadi kemiringan.

**Gambar 3.12** Material Uji Kekerasan

Setelah benda kerja dipotong kemudian dilakukan proses finishing permukaan dengan menggunakan kertas gosok. Langkah selanjutnya adalah pengetsaan pada permukaan benda kerja untuk mengetahui batas antara *weld metal*, HAZ, dan *base metal*.

### 3.5.3 Benda Uji Mikro Etsa

Benda kerja untuk pengujian struktur makro etsa memiliki ukuran yang sama dan pada benda kerja yang sama juga dengan benda kerja pengujian kekerasan. Hal itu dikarenakan agar nilai kekerasan yang didapat sesuai dengan daerah yang penting dalam menentukan kekerasan yang dimiliki benda kerja.



### **3.6 Pengujian**

Pada tahap ini spesimen yang telah dipotong sesuai dengan ukuran akan dilakukan pengujian sebagai berikut:

#### **3.6.1 Pengujian Tarik**

Pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik dari logam induk setelah mengalami proses pengelasan. Pengujian tarik dilakukan dengan jalan memberikan beban tarik pada batang uji secara perlahan-lahan sampai benda uji terputus atau patah. Peralatan yang digunakan untuk pengujian tarik adalah alat uji tarik dan jangka sorong. Mesin yang digunakan dalam pengujian ini adalah mesin uji tarik merk. Berikut langkah-langkah pengujian tarik :

1. Menandai bahan kerja las SMAW dalam hal ini untuk mengetahui dimensi yang akan di inputkan ke mesin
2. Dilakukan pengetsaan agar batas daerah las terlihat sehingga memudahkan untuk pengambilan data
3. Menentukan beban yang digunakan yaitu 10000 N, kemudian menentukan panjang total dan lebar benda
4. Nyalakan saklar power utama sehingga lampu indicator menyala
5. Pastikan handle load kontrol pada posisi stop
6. Letakkan alat bantu pada permukaan alat uji dan pelat penahan
7. Pastikan pencekam pada lower crosshead dan naikkan lower crosshead dengan menekan tombol up crosshead sehingga

dapat mencekam benda uji tarik dengan baik

8. Atur kecepatan pembebanan
9. Jarum indikator beban akan bergerak terus hingga mencapai titik max load dari benda uji yang diuji kemudian mengalami penurunan dan putusnya benda kerja
10. Cacat pembebanan dan penambahan panjang
11. Kemudian lepaskan benda uji dari tempat pencekam

### **3.6.2 Pengujian Kekerasan**

Pengujian kekerasan bertujuan untuk mengetahui kekerasan pada benda uji masing-masing daerah yaitu daerah lasan, HAZ, dan logam induk. Pengujian kekerasan ini diuji dengan menggunakan alat uji kekerasan Rockwell seperti gambar 3.16



**Gambar 3.13** Alat Uji Kekerasan *Rockwell*

Berikut langkah-langkah pengujian kekerasan :

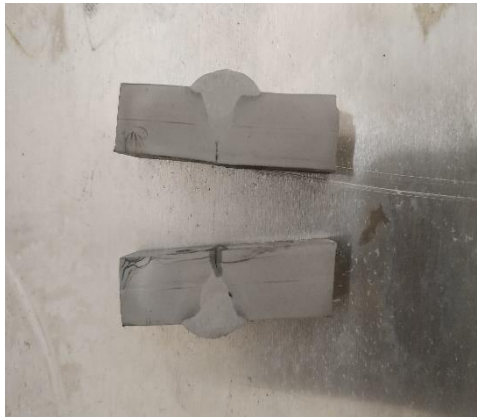
- 1 Hasil dari proses makro etsa, tarik garis sumbu (x,y) pada benda kerja pada salah satu layer.
- 2 Memasang indentor pada penjepit Rockwell hardness tester.
- 3 Beban penekanan pada mulanya sebesar 150 kgf memakai skala C yang bertujuan melindungi indentor agar tidak rusak.
- 4 Beban penekanan yang dipakai adalah 100 memakai skala B (HRB) karena menggunakan indentor skala C tidak menunjukkan nilai kekerasan yang ada.
- 5 Kemudian menghidupkan power dengan menekan tuas ON
- 6 Menempatkan benda kerja diatas anvrl dan tegak lurus dengan indentornya.
- 7 Menaikkan anvrl dengan memutar handle searah jarum jam sampai menyentuh indentor, kemudian dinaikkan terus indentor, kemudian dinaikkan terus sampai jarum kecil pada dial indikator menyentuh titik merah dan tekan tombol pengujian, tunggu hingga beberapa saat (5 detik) sampai jarum panjang akan menunjuk pada angka kekerasan
- 8 Mencatat hasil pengujian (angka kekerasan)
- 9 Menurunkan anvrl dengan jalan memutar handle berlawanan dengan arah jarum jam
- 10 Pengujian ini dilakukan sebanyak titik yang sudah ditentukan sebelumnya.

### **3.6.3 Pengamatan Mikrostruktur**

Pengamatan mikrostruktur mengacu pada standar ASTM E 340-001 dilakukan dengan mengetahui titik pasti

daerah hasil pengujian kekerasan. Setelah daerah yang ditentukan, maka pada titik yang sama tersebut di etsa menggunakan campuran cairan.

Cairan yang digunakan antara lain adalah:



**Gambar 3.14** Spesimen setelah di etsa terlihat cacat las IP

**Tabel 3.1** Etching Reagent Untuk Melihat Microstructure

Nam a	Komposisi	Durasi	Material
Nital	HNO <sub>3</sub> 20 ml Alkohol 95% 98 ml	1-3 menit	Carbon Steel

Prosedur pengujian metallography adalah sebagai berikut:

1. Pemotongan spesimen uji

Benda kerja dibelah menjadi dua. Dalam penelitian tugas akhir ini, pengujian metallography dilakukan pada permukaan dalam spesimen atau bagian yang dibelah.

2. Grinding

Penggosokan dilakukan pada permukaan spesimen uji secara bertahap, penggosokan

menggunakan mesin grinding dengan tingkat kekeasaran gosok mulai dari 200, 500, 1000, 1200 disertai dengan aliran air pendingin. Fungsinya adalah untuk melarutkan geram dan permukaan spesimen tidak panas sehingga mengubah struktur mikronya.

3. Polishin

Penggosokan diatas piringan kain wool yang berputar, disertai taburan bubuk polishing, sampai goresan-goresan akibat proses grinding hilang sehingga permukaan spesimen uji mengkilat.

4. Etching

Etching atau proses etsa dilakukan dengan menggunakan larutan etsa (*etsa reagent*) natal dengan  $\text{HNO}_3$  20 ml. dengan waktu perendaman selama 1 menit, setelah itu benda dibilas dengan alcohol 98% dan di keringkan menggunakan hair dryer.

5. Pemotretan

Pemotretan dilakukan dibawah mikroskop dengan menggunakan lensa objektif 10x, sedangkan lensa okuler 10x, 20x, 50x, dan 100x sehingga dapat menghasilkan pembesaran 100x, 200x, 500x dan 1000x

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

## **BAB IV**

### **ANALISA DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini akan dijelaskan bagaimana perbedaan pengaruh tempering suhu 200°C dan 300°C dengan metode multilayer yaitu pada pengelasan SMAW menggunakan elektroda E-7018 pada material SS 400 terhadap kekuatan tarik, kekerasan dan struktur mikro

#### **4.1 Parameter Pengelasan**

Pada penelitian ini, hasil pengelasan dipengaruhi oleh beberapa parameter pengelasan. Penentuan parameter ini sesuai dengan standar yang ada. Berikut parameter pengelasan pada penelitian ini :

Tabel 4.1 Parameter Pengelasan

NAMA	KETERANGAN
Material	SS 400
Spesification	
Tebal	10mm
AWS Classification	E-7018
Elektroda Metal	
Diameter	3,2
Posisi Pengelasan	1G
Sudut Pengelasan	70°
Polaritas	DCRP
Ampere	140A
Layer	3

Tabel 4.2 Travel Speed

SUHU	LAYER	WAKTU (s)	PANJANG LAS (mm)	TRAVEL SPEED (mm/s)
200	1	177	130	1,19
	2	150	130	
	3	140	130	
300	1	207	130	1,21
	2	130	130	
	3	170	130	

Tabel 4.3 Heat Input

Suhu	Arus (A)	Voltase (V)	Travel Speed (mm/s)	Heat Input (j/mm)
300	140	24	1,21	2271
200	140	24	1,19	2258

## 4.2 Data Hasil Pengujian

### 4.2.1 Pengujian Tarik

Pengujian tarik digunakan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara lambat. Pengujian ini dilakukan dengan standart ASME IX.

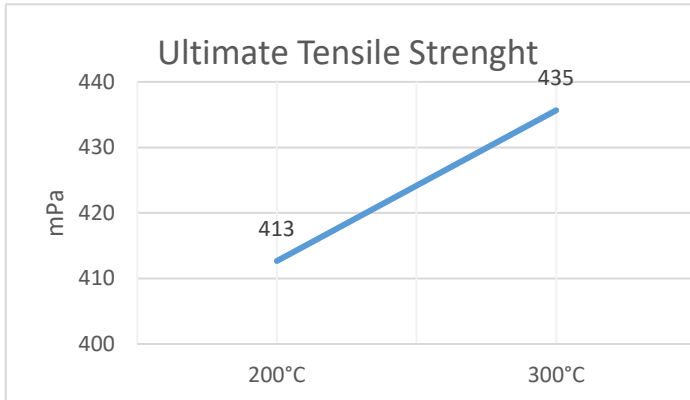


Tabel 4.4 Data Hasil Uji Tarik

Dari tabel diatas dapat dibedakan menjadi grafik

Suhu	No	Width (mm)	Thickness (mm)	A <sub>o</sub> (mm <sup>2</sup> )	Max Load (kN)	UTS (mPa)	Patahan
200	1	18,77	9,87	190	72,62	382	HAZ
	2	18,79	9,89	190	83,01	437	HAZ
	3	18,93	9,73	190	79,53	419	HAZ
Rata- rata		18,83	9,83	190	78,38	413	
300	1	19	9,83	190	84,92	419	HAZ
	2	18,67	9,94	190	83,74	441	HAZ
	3	18,88	9,71	190	79,56	447	HAZ
Rata- rata		18,85	9,82	190	82,74	435	

Uji Tarik untuk material suhu 200°C dan 300°C. Dilihat dari grafik uji tarik letak patahan berada di daerah HAZ.



Gambar 4.1 Grafik *Ultimate Tensile Strenght*

Dari daerah patahnya, material SS 400 dengan variasi suhu 200°C dan 300°C daerah patahnya terletak pada daerah HAZ, Walaupun terdapat IP (incomplete penetration) tetap patah diHAZ karena kekuatan tarik elektroda lebih kuat dibandingkan kekuatan tarik spesimen.

Kekuatan tarik pada suhu 300 lebih kuat dibanding dengan suhu 200 dikarenakan jika merujuk pada diagram cct suhu 300 berubah dari austenite kasar menjadi ferrit+pearlit halus maka membuat kekuatan tarik lebih tinggi. Sedangkan untuk suhu 200 dari austenite halus berubah menjadi ferrit+pearlit kasar sehingga nilai kekerasannya lebih rendah dibandingkan dengan suhu 300.

#### 4.2.2 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan pada specimen sebanyak 3x pengujian di garis yang sama dengan menggunakan 3 bidang specimen yang berguna untuk mencari kepastian nilai

kekerasan. Selain itu hasil patahan dari uji tarik akan diamati juga.

Bentuk spesimen patahan hasil uji tarik pada garis yang telah digambar sebagai acuan untuk uji kekerasan., bentuk pengujian kekerasan pada spesimen menggunakan letak indentasi seperti gambar di bawah ini.

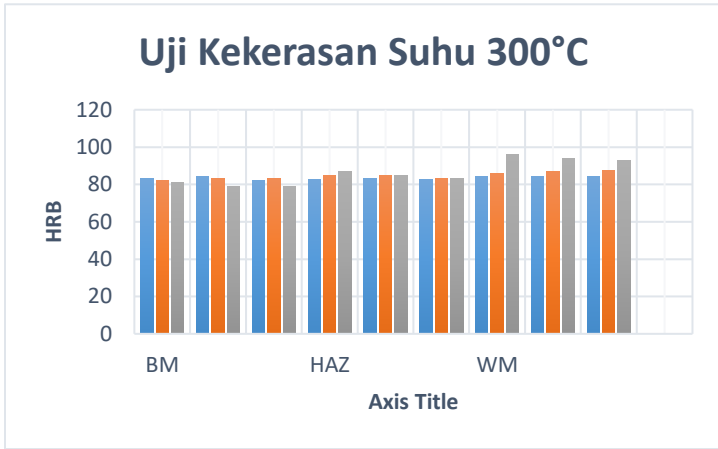


Gambar 4.2 Daerah Indentasi untuk suhu 300°C  
Tabel 4.5 Data Hasil Uji Kekerasan Suhu 300°C

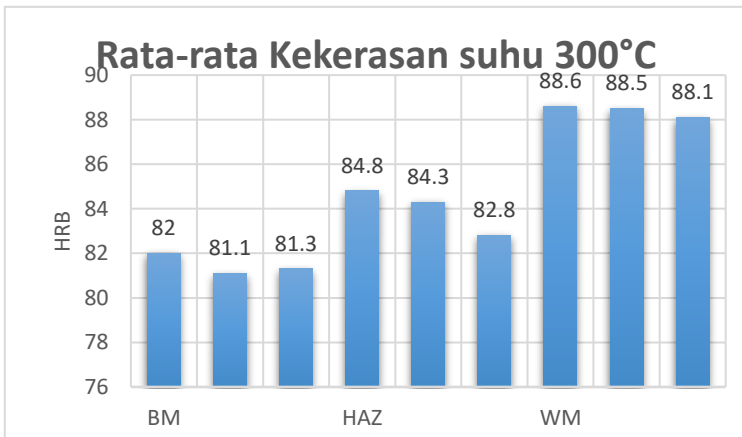
Titik Indentasi	Layer			Rata-rata	
	1	2	3		
BM	1	83	82	81	82
	2	84,5	83	79	81,1
	3	82	83	79	81,3
HAZ	1	82,5	83	83	84,8
	2	83	85	85	84,3
	3	82,5	85	87	82,8
WM	1	84	87,5	96	88,6
	2	84,5	87	94	88,5
	3	84	86	93	88,1

Tabel.4.6 Data hasil uji kekerasan suhu 300°C  
dikonversikan ke HRC

Titik Indentasi	Layer			Rata-rata
	1	2	3	
BM	1	2	1	1,3
	2	4	2	2,3
	3	1	2	1,3
HAZ	1	2	2	3
	2	2	4	3,3
	3	2	4	4,3
WM	1	3	9	10,3
	2	4	7	9
	3	3	6	7,6



Gambar 4.3 Grafik Uji Kekerasan Spesimen Suhu 300°C



Gambar 4.4 Rata-rata nilai kekerasan suhu 300°C



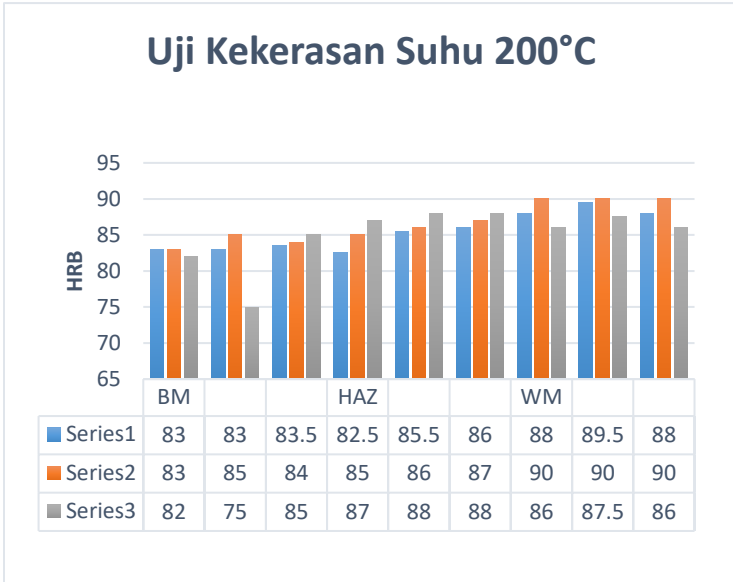
Gambar 4.5 Daerah Indentasi untuk suhu 200°C

Tabel 4.7 Data Hasil Uji Kekerasan Suhu 200°C

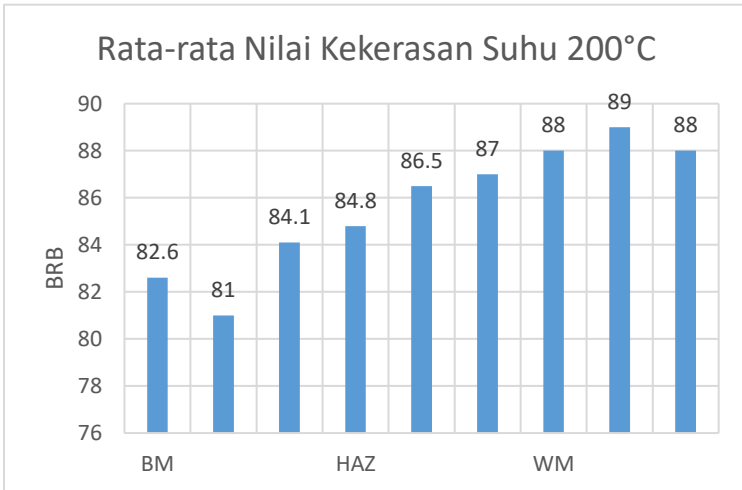
Titik Indentasi		Layer			Rata-rata
		1	2	3	
BM	1	83	83	82	82,6
	2	83	85	75	81
	3	83,5	84	85	84,1
HAZ	1	85	86	86,5	84,8
	2	85,5	86	88	86,5
	3	86	87	88	87
WM	1	88	90	86	88
	2	89,5	90	87,5	89
	3	88	90	86	88

Tabel.4.8 Data hasil uji kekerasan suhu 200°C  
dikonversikan ke HRC

Titik Indentasi	Layer			Rata-rata
	1	2	3	
BM	1	2	1	1,6
	2	2	4	2,3
	3	3	4	3,3
HAZ	1	4	7	5,3
	2	6	9	7
	3	6	9	7,3
WM	1	9	6	8,6
	2	11	9	10,3
	3	9	6	8,6

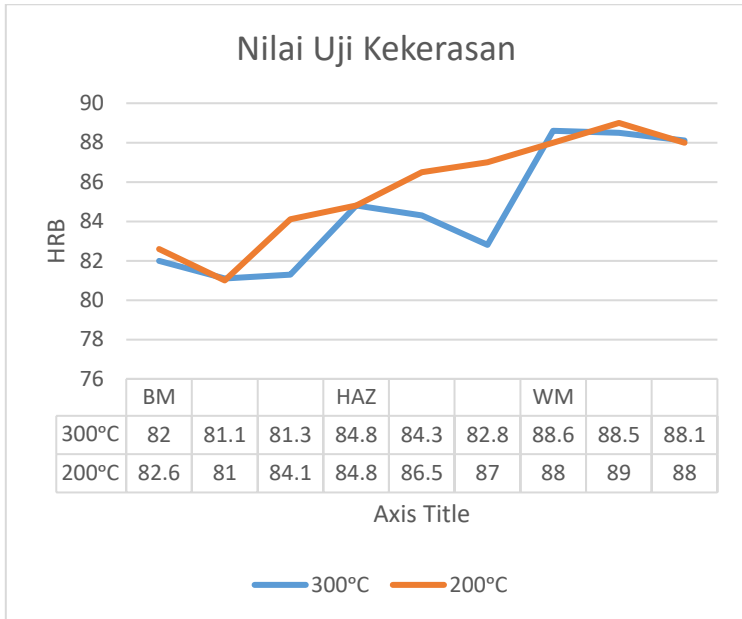


Gambar 4.6 Grafik uji kekerasan spesimen suhu 200°C



Gambar 4.7 Rata-rata nilai kekerasan suhu 200°C





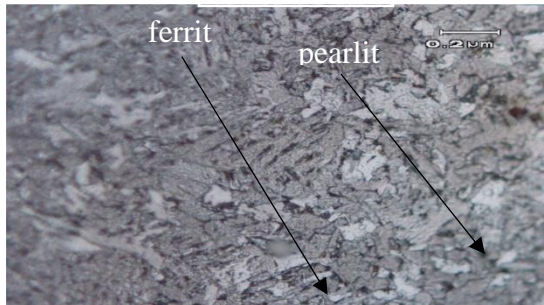
Gambar 4.8 Grafik hasil rata-rata suhu 300°C dan 200°C

Dari data hasil pengujian kekerasan di atas dapat disimpulkan bahwa pada spesimen 200° lebih keras dibandingkan spesimen 300°C. Dikarenakan semakin tinggi suhu tempering maka nilai kekerasannya semakin berkurang. menurut teori jika pearlit yang terbentuk pada temperatur yang lebih tinggi memiliki kekerasan yang lebih rendah dibanding dengan pearlit yang terbentuk pada temperatur yang lebih rendah Dan kekurangan dari pengujian kekerasan ini adalah titik indentasinya tidak presisi sehingga siklus thermal yang ada di tiap titik tidak sama.

### 4.2.3 Struktur Mikro

Pada pengujian metalografi ini yang akan dilihat struktur mikronya yaitu daerah base metal, HAZ, weld metal.

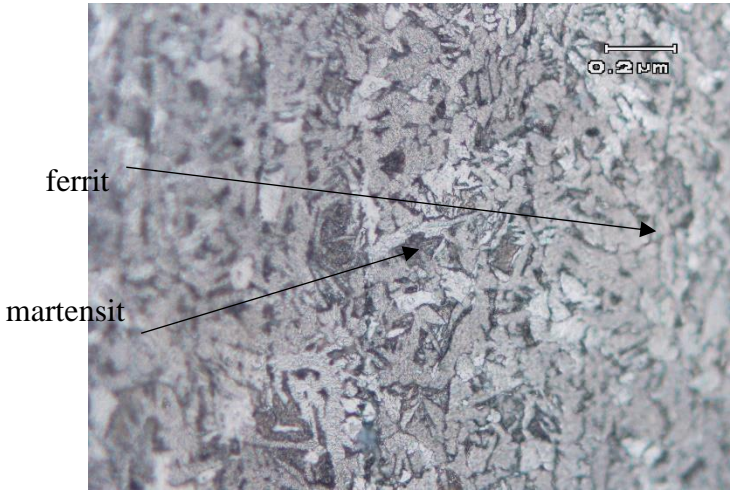
Untuk hasil pengujian mikroskop akan dibandingkan antara suhu 200°C dengan 300°C seperti gambar di bawah :



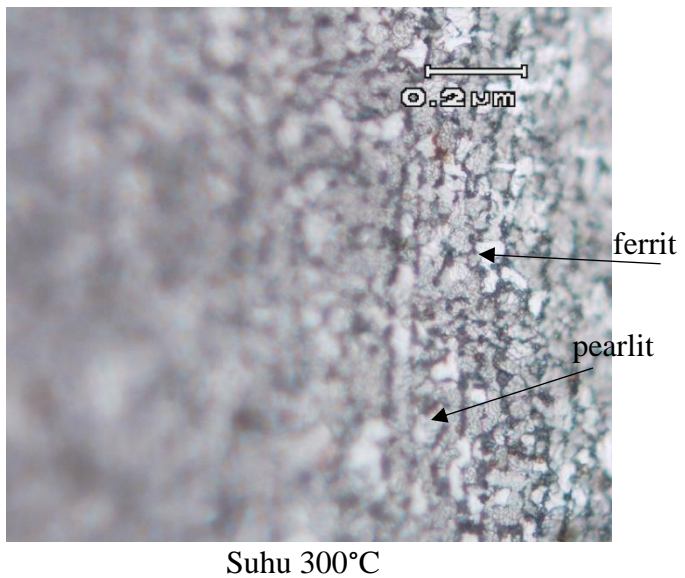
Gambar 4.9 Struktur Mikro Daerah Base Metal Suhu 300°C



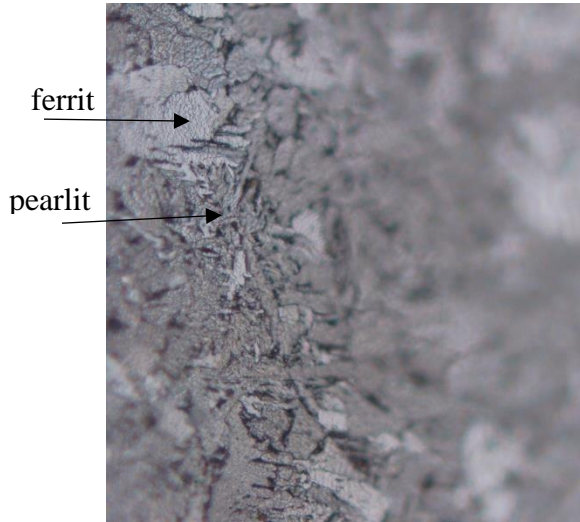
Gambar 4.10 Struktur Mikro Daerah HAZ Suhu 300°C



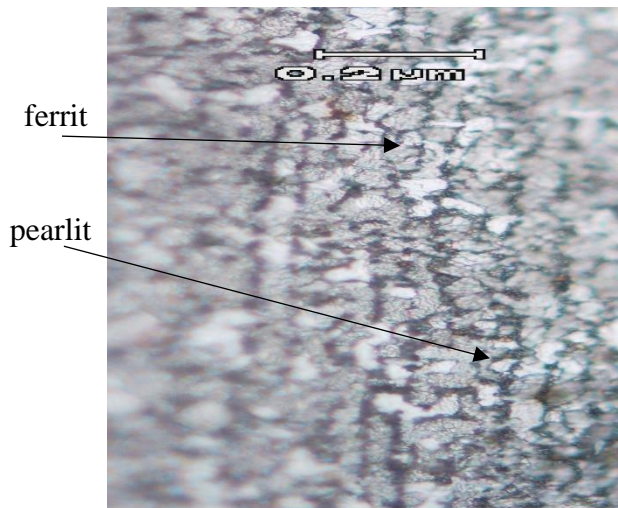
Gambar 4.11 Struktur Mikro Daerah Weld Metal



Gambar 4.12 Struktur Mikro Daerah Base Metal Suhu  
200°C



Gambar 4.13 Struktur Mikro Daerah HAZ Suhu 200°C



Gambar 4.14 Struktur Mikro Daerah Weld Metal Suhu 200°C

Berdasarkan data hasil pengujian struktur mikro pada *base metal* didominasi butir-butir *ferrite* (berwarna putih terang) dan *pearlite* (berwarna kehitaman). Butir *ferrite* cenderung lebih halus dan lunak, sedangkan butir *pearlite* lebih kasar sedikit lebih keras dari pada *ferrite* karena mengandung karbon, Adanya *ferrite* dan *pearlite* pada base metal ini menandakan bahwa baja bersifat tidak keras namun ulet.

Pada spesimen 200°C dan 300°C terdapat *pearlite* dan *ferrite* yang membedakan antara suhu 200°C dan 300°C adalah ukuran butirnya. Pada spesimen 200°C ukuran butiran *pearlite* dan *ferrite* lebih kasar. Sedangkan suhu 300°C ukuran butir *ferrit* dan *pearlit* lebih halus,

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil analisa data perbedaan pengaruh tempering suhu 200°C dan 300°C dengan metode multilayer pada pengelasan SMAW menggunakan elektroda E7018 pada material SS400 terhadap kekuatan tarik, kekerasan dan struktur mikro, maka dapat disimpulkan antara lain :

1. Hasil pengujian tarik pada suhu 200°C kekuatan tariknya adalah 413mPa dan pada suhu 300°C nilai kekuatan tariknya adalah 435mPa. Kekuatan tarik pada suhu 300°C lebih kuat dibanding dengan suhu 200°C
2. Hasil Pengujian kekerasan pada suhu 200°C Nilai kekerasaan HRB : 88, HRC : 9 dan pada suhu 300°C Nilai kekerasan HRB : 87, HRC : 7. Sehingga suhu 200°C lebih keras dibandingkan dengan suhu 300°C
3. Pada hasil pengujian struktur mikro struktur dapat dilihat suhu 200°C ferrit+pearlit kasar dan suhu 300°C Ferrit+Pearlit halus.

#### **5.2 Saran**

1. Sebaiknya untuk penelitian kedepannya dilakukan dengan melakukan pengujian DT (Destructive Test) atau NDT (Non Destructive Test) yang lain supaya data pengujian pengelasan lebih akurat.
2. Menentukan titik indentasi uji kekerasan harus presisi supaya siklus thermal yang didapat sama

## Lampiran

### Tabel Konversi Rockwell

**Reference Table: Steel hardness conversion chart  
– all values approximate.**

<b>Brinell Hardness HB</b>	<b>Rockwell HRC</b>	<b>Rockwell HRB</b>	<b>Vickers HV</b>	<b>N/mm<sup>2</sup></b>
800	72			
780	71			
760	70			
752	69			
745	68			
746	67			
735	66			
711	65			
695	64			
681	63			
658	62			
642	61			
627	60			



613	59			
601	58		746	
592	57		727	
572	56		694	
552	55		649	
534	54	120	589	
513	53	119	567	
504	52	118	549	
486	51	118	531	
469	50	117	505	
468	49	117	497	
456	48	116	490	1569
445	47	115	474	1520
430	46	115	458	1471
419	45	114	448	1447
415	44	114	438	1422
402	43	114	424	1390
388	42	113	406	1363

375	41	112	393	1314
373	40	111	388	1265
360	39	111	376	1236
348	38	110	361	1187
341	37	109	351	1157
331	36	109	342	1118
322	35	108	332	1089
314	34	108	320	1049
308	33	107	311	1035
300	32	107	303	1020
290	31	106	292	990
277	30	105	285	971
271	29	104	277	941
264	28	103	271	892
262	27	103	262	880
255	26	102	258	870
250	25	101	255	853
245	24	100	252	838

240	23	100	247	824
233	22	99	241	794
229	21	98	235	775
223	20	97	227	755
216	19	96	222	716
212	18	95	218	706
208	17	95	210	696
203	16	94	201	680
199	15	93	199	667
191	14	92	197	657
190	13	92	186	648
186	12	91	184	637
183	11	90	183	617
180	10	89	180	608
175	9	88	178	685
170	7	87	175	559
167	6	86	172	555
166	5	86	168	549

163	4	85	162	539
160	3	84	160	535
156	2	83	158	530
154	1	82	152	515
149		81	149	500
147		80	147	490
143		79	146	482
141		78	144	481
139		77	142	480
137		76	140	475
135		75	137	467
131		74	134	461
127		72	129	451
121		70	127	431
116		68	124	422
114		67	121	412
111		66	118	402
107		64	115	382

105		62	112	378
103		61	108	373
95		56	104	
90		52	95	
81		41	85	
76		37	80	
<b>Brinell HB</b>	<b>Rockwell HRC</b>	<b>Rockwell HRB</b>	<b>Vickers HV</b>	<b>N/mm<sup>2</sup></b>

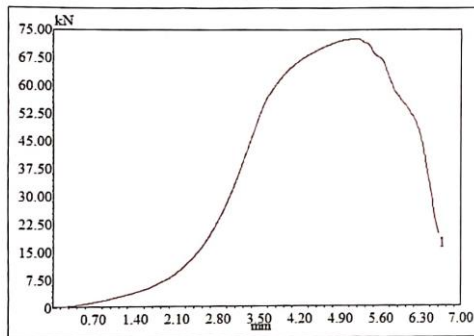
## Lampiran 1

Grafik Uji Tarik Spesimen Tempering 200°C 1



Test Date : 07-01-2020

**Test Result**



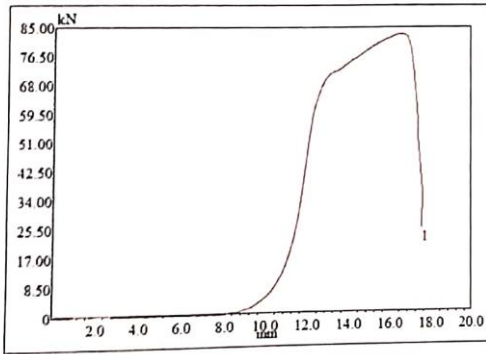
Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm <sup>2</sup>	Yield Point kN	Yield str. MPa	Max. Load kN	UTS MPa	Breaking
P-1	19.00	10.00	190.00	63.24	333	72.62	382	HAZ
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---

**Lampiran 2**

Grafik Uji Tarik Spesimen Tempering 200°C 2

Test Date : 07-01-2020

Test Result



Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm <sup>2</sup>	Yield Point kN	Yield str. MPa	Max. Load kN	UTS MPa	Breaking
P.2	19.00	10.00	190.00	64.13	338	83.01	437	HAZ
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---

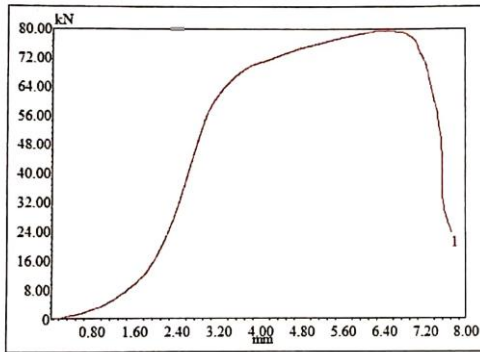
Lampiran 3

Grafik Uji Tarik Spesimen Tempering 200°C 3



Test Date : 07-01-2020

**Test Result**



Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm <sup>2</sup>	Yield Point kN	Yield str. MPa	Max. Load kN	UTS MPa	Breaking
P-3	19.00	10.00	190.00	62.01	326	79.53	419	HAZ
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---

**Lampiran 4**

Grafik Uji Tarik Spesimen Tempering 300°C 1

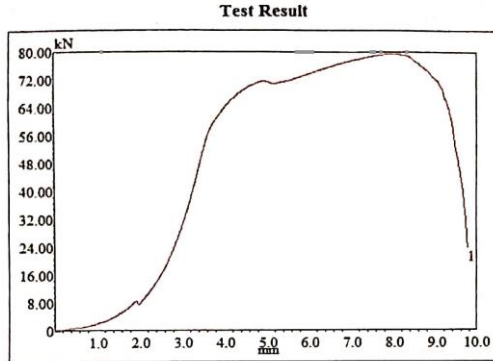






## Grafik Uji Tarik Spesimen Tempering 300°C 3

Test Date : 07-01-2020



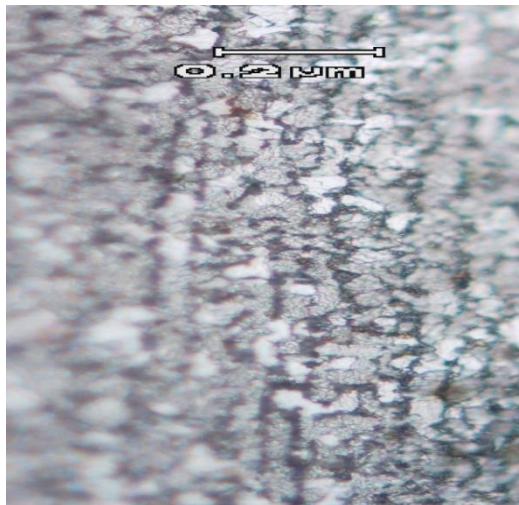
Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm <sup>2</sup>	Yield Point kN	Yield str. MPa	Max. Load kN	UTS MPa	Breaking
P-6	19.00	10.00	190.00	62.42	329	79.56	419	HAZ
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---

## Lampiran 7

### Struktur Mikro Daerah Weld Metal



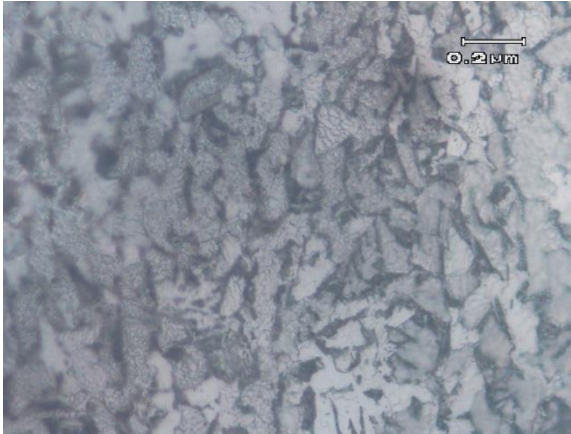
Gambar Struktur Mikro Daerah Weld Metal 300°C



Gambar Struktur Mikro Daerah Weld Metal 200°C

## Lampiran 8

## Struktur Mikro Daerah HAZ



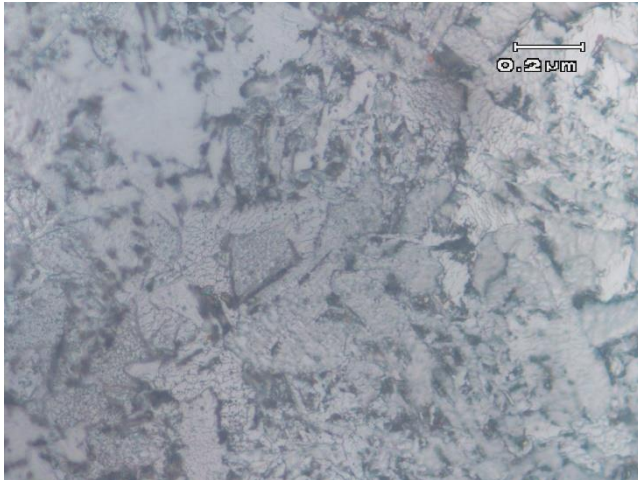
Gambar Struktur Mikro Daerah HAZ 300°C



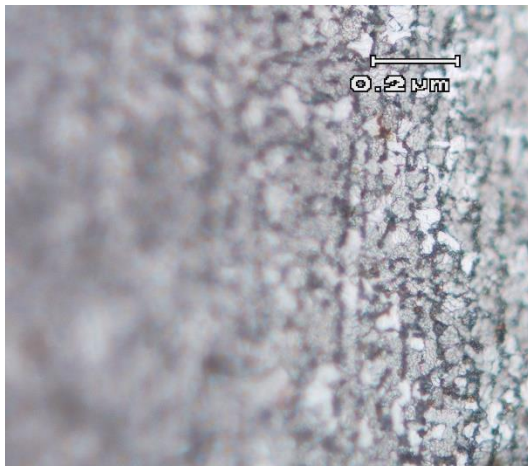
Gambar Struktur Mikro Daerah 200°C

## Lampiran 9

## Struktur Mikro Daerah Base Metal



Gambar Struktur Mikro Daerah Base Metal 300°C



Gambar Struktur Mikro Daerah Base Metal 200°C

## Lampiran 10

## Perhitungan Heat Input

Pada spesimen 300°C

Diketahui :

Arus Listrik = 140A

Tegangan = 24V

$\eta$  = 0,8

Travel speed (s) = 1,73 mm/s

Jawab :

$$\begin{aligned} \text{HI} &= \frac{V \times I \times \eta}{s} \\ &= \frac{24 \times 140 \times 0.8}{1,73} \\ &= 1942,1 \text{ J/mm} \end{aligned}$$

Pada spesimen 200°C

Diketahui :

Arus Listrik = 140A

Tegangan = 24V

$\eta$  = 0,8

Travel speed (s) = 2 mm/s

Jawab :

$$\begin{aligned} \text{HI} &= \frac{V \times I \times \eta}{s} \\ &= \frac{24 \times 115 \times 0.8}{2} \\ &= 1680 \text{ J/mm} \end{aligned}$$

## Lampiran 12

Perhitungan Deviasi Rata-Rata Kekerasan

Rumus :

$$MD = \frac{\sum |X - \bar{X}|}{N}$$

Keterangan :

MD = Deviasi rata-rata

X = Nilai setiap data pengamatan

$\bar{X}$  = Nilai rata-rata hitung dari seluruh nilai pengamatan

N = Jumlah data atau pengamatan dalam sampel/populasi

| | = Lambang nilai mutlak

$\Sigma$  = Lambang penjumlahan

Perhitungan pada Spesimen 300°C

Pada titik 1 (daerah base metal)

$$MD = \frac{|83 - 82| + |82 - 82| + |81 - 82|}{3}$$

$$MD = 0 \text{ HRB}$$

$$\begin{aligned} \text{Persentase deviasi rata - rata} &= \frac{0}{82} \times 100\% \\ &= 0\% \end{aligned}$$

Pada titik 2 (daerah base metal)

$$MD = \frac{|84,5 - 82,1| + |83 - 82,1| + |79 - 82,1|}{3}$$

$$MD = 0,2 \text{ HRB}$$



$$\begin{aligned} \text{Persentase deviasi rata - rata} &= \frac{0,2}{82,1} \times 100\% \\ &= 2,43\% \end{aligned}$$

Pada titik 3 (daerah base metal)

$$\text{MD} = \frac{|82 - 81,3| + |83 - 81,3| + |79 - 81,3|}{3}$$

$$\text{MD} = 0,1 \text{ HRB}$$

$$\begin{aligned} \text{Persentase deviasi rata - rata} &= \frac{0,1}{81,3} \times 100\% \\ &= 1,23\% \end{aligned}$$

Pada titik 4 (daerah HAZ)

$$\text{MD} = \frac{|82,5 - 84,8| + |83 - 84,8| + |83 - 84,8|}{3}$$

$$\text{MD} = -1,9 \text{ HRB}$$

$$\begin{aligned} \text{Persentase deviasi rata - rata} &= \frac{-1,9}{84,8} \times 100\% \\ &= 0,02\% \end{aligned}$$

Pada titik 5 (daerah HAZ)

$$\text{MD} = \frac{|83 - 84,3| + |85 - 84,3| + |85 - 84,3|}{3}$$

$$\text{MD} = 0,03 \text{ HRB}$$

$$\begin{aligned} \text{Persentase deviasi rata - rata} &= \frac{0,03}{84,8} \times 100\% \\ &= 0,03\% \end{aligned}$$

Pada titik 6 (daerah HAZ)

$$\text{MD} = \frac{|82,5 - 82,8| + |85 - 82,8| + |87 - 82,8|}{3}$$

$$\text{MD} = 2,03 \text{ HRB}$$

$$\begin{aligned} \text{Persentase deviasi rata - rata} &= \frac{2,03}{82,8} \times 100\% \\ &= 2,4\% \end{aligned}$$

Pada titik 7 (daerah Weld Metal)

$$\text{MD} = \frac{|84 - 88,6| + |87,5 - 88,6| + |96 - 88,6|}{3}$$

$$\text{MD} = 0,56 \text{ HRB}$$

$$\begin{aligned} \text{Persentase deviasi rata - rata} &= \frac{0,56}{88,6} \times 100\% \\ &= 0,6\% \end{aligned}$$

Pada titik 8 (daerah Weld Metal)

MD

$$= \frac{|84,5 - 88,5| + |87,5 - 88,5| + |94 - 88,5|}{3}$$

$$\text{MD} = 0,5 \text{ HRB}$$

$$\begin{aligned} \text{Persentase deviasi rata - rata} &= \frac{0,5}{88,5} \times 100\% \\ &= 0,56\% \end{aligned}$$

Pada titik 9 (daerah Weld Metal)

MD

$$= \frac{|79 - 79,17| + |78 - 79,17| + |80,5 - 79,17|}{3}$$

$$\text{MD} = -1,3 \text{ HRB}$$

$$\begin{aligned} \text{Persentase deviasi rata - rata} &= \frac{-1,3}{88,1} \times 100\% \\ &= -0,14\% \end{aligned}$$

### **Perhitungan pada Spesimen 200°C**

Pada titik 1 (daerah base metal)

$$MD = \frac{|83 - 82,6| + |83 - 82,6| + |82 - 82,6|}{3}$$

$$MD = 0,06 \text{ HRB}$$

$$\begin{aligned} \text{Persentase deviasi rata - rata} &= \frac{0,06}{82,6} \times 100\% \\ &= 0,08\% \end{aligned}$$

Pada titik 2 (daerah base metal)

$$MD = \frac{|83 - 81| + |85 - 81| + |75 - 81|}{3}$$

$$MD = 0 \text{ HRB}$$

$$\begin{aligned} \text{Persentase deviasi rata - rata} &= \frac{0}{81} \times 100\% \\ &= 0\% \end{aligned}$$

Pada titik 3 (daerah base metal)

$$MD = \frac{|83,5 - 84,1| + |84 - 84,1| + |85 - 84,1|}{3}$$

$$MD = 0,2 \text{ HRB}$$

$$\begin{aligned} \text{Persentase deviasi rata - rata} &= \frac{0,2}{84,1} \times 100\% \\ &= 0,23\% \end{aligned}$$

Pada titik 4 (daerah HAZ)

$$MD = \frac{|85 - 84,8| + |86 - 84,8| + |86,5 - 84,8|}{3}$$

$$MD = 3,1 \text{ HRB}$$

$$\begin{aligned} \text{Persentase deviasi rata - rata} &= \frac{3,1}{84,8} \times 100\% \\ &= 3,65\% \end{aligned}$$

Pada titik 5 (daerah HAZ)

$$MD = \frac{|85,5 - 86,5| + |86 - 86,5| + |88 - 86,5|}{3}$$

$$MD = 0 \text{ HRB}$$

$$\begin{aligned} \text{Persentase deviasi rata - rata} &= \frac{0}{86,5} \times 100\% \\ &= 0\% \end{aligned}$$

Pada titik 6 (daerah HAZ)

$$MD = \frac{|86 - 87| + |87 - 87| + |88 - 87|}{3}$$

$$MD = 0 \text{ HRB}$$

$$\begin{aligned} \text{Persentase deviasi rata - rata} &= \frac{0}{87} \times 100\% \\ &= 0\% \end{aligned}$$

Pada titik 7 (daerah weld metal)

$$MD = \frac{|88 - 88| + |90 - 88| + |86 - 88|}{3}$$

$$MD = 0 \text{ HRB}$$

$$\begin{aligned} \text{Persentase deviasi rata - rata} &= \frac{0}{88} \times 100\% \\ &= 0\% \end{aligned}$$

Pada titik 8 (daerah Base Metal)

$$MD = \frac{|89,5 - 89| + |90 - 89,5| + |87,5 - 89,5|}{3}$$

$$MD = 0,5 \text{ HRB}$$

$$\begin{aligned} \text{Persentase deviasi rata - rata} &= \frac{0,5}{89,5} \times 100\% \\ &= 0,55\% \end{aligned}$$

Pada titik 9 (daerah Base Metal)

$$MD = \frac{|88 - 88| + |90 - 88| + |86 - 88|}{3}$$

$$MD = 0 \text{ HRB}$$

$$\begin{aligned} \text{Persentase deviasi rata - rata} &= \frac{0}{88} \times 100\% \\ &= 0\% \end{aligned}$$