

**PENGARUH *PREHEAT* PADA PIPA BAJA KARBON AISI 1018
TERHADAP NILAI UJI TARIK, UJI KEKERASAN DAN STRUKTUR
MIKRO DENGAN PENGELASAN SMAW (*SHIELDED METAL ARC
WELDING*)**

Tugas Akhir

Diajukan untuk memenuhi sebagai syarat
Memperoleh gelar Sarjana Strata-1 Teknik Mesin



Diajukan oleh :

NAMA : MUAMAR KHAQIQI

NIM : 14 3010 032

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS WAHID HASYIM SEMARANG**

2019



FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS WAHID HASYIM

HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN

**PENGARUH *PREHEAT* PADA PIPA BAJA KARBON AISI 1018 TERHADAP
NILAI UJI TARIK, UJI KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO DENGAN
PENGELASAN SMAW (*SHIELDED METAL ARC WELDING*)**

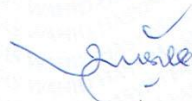
Telah diperiksa dan disetujui untuk dipertahankan dihadapan Dewan Penguji Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang.

Pada :
Hari : Selasa
Tanggal : 12 Februari 2019

Pembimbing I


Dr. S.M. Bondan Respati, S.T., M.T
NIDN. 0613017702

Pembimbing II


Imam Syafa'at, S.T., M.T
NIDN. 0026077501

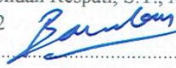
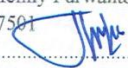
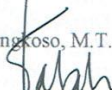


FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS WAHID HASYIM

HALAMAN PENGESAHAN UJIAN

Nama Mahasiswa : Muamar Khaqiqi
NIM : 143010032
Judul TA : Pengaruh *preheat* pada pipa baja karbon AISI
1018 terhadap nilai uji tarik, uji kekerasan dan
struktur mikro dengan pengelasan SMAW
(Shielded Metal Arc Welding)
Tanggal Ujian : 12 Februari 2019

Telah dipertahankan dan direvisi didepan Dewan Penguji Tugas Akhir Program Studi
Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas wahid Hasyim Semarang.

1. Penguji 1
Nama : Dr. S.M. Bondan Respati, S.T., M.T.
NIDN : 0613017702
Tanda Tangan : 
2. Penguji 2
Nama : Dr. H. Helmy Purwanto, S.T., M.T.
NIDN : 0610047501
Tanda Tangan : 
3. Penguji 3
Nama : Ir. Tabah Priangkoso, M.T.
NIDN : 0607116302
Tanda Tangan : 

Semarang, Februari 2019

Mengetahui
Ketua Program Studi Teknik Mesin


Dr. S.M. Bondan Respati, S.T., M.T)
NPP. 05.06.1.0153


HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Muamar Khaqiqi
NIM : 14.301.0032
Program Studi : Teknik Mesin

Menyatakan bahwa tugas akhir tidak merupakan jiplakan dan bukan dari karya orang lain.

Semarang, 16 Februari 2019
Yang menyatakan



(Muamar Khaqiqi)

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

إِنَّمَا الْعُسْرُ يُسْرًا , إِنَّمَا الْعُسْرُ يُسْرًا

Artinya: Karena sesungguhnya sesudah kesulitan pasti ada kemudahan, dan sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.

PERSEMBAHAN

Puji syukurku kusembahkan kepadamu Alloh SWT yang Maha Agung nan Maha Tinggi nan Maha Adil nan Maha Penyayang, atas takdirmu telah kau jadikan aku manusia yang senantiasa berpikir, berilmu, beriman dan bersabar dalam menjalani kehidupan ini. Semoga keberhasilan ini menjadi satu langkah awal bagiku untuk meraih cita-cita besarku, maka dengan selesainya karya kecilku ini ingin mengucapkan rasa terima kasihku.

- 1. Bapak, Ibu, dan adek yang telah memberikan kasih sayang serta doa dan mengajarkan arti kukuhnya tekat dalam mengarungi kehidupan yang sebenarnya.*
- 2. Terima kasih Dosen pembimbing 1 dan pembimbing 2 yang telah memberikan bimbingan dan ilmu yang tidak bisa kuhitung berapa banyaknya barokah dan do'anya.*
- 3. Semua teman-teman Teknik Mesin Universitas Wahid Hasyim Semarang angkatan 2014 yang telah mendukung dan memberikan motivasi dalam pembuatan Tugas Akhir ini.*
- 4. Almamaterku.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga pada akhirnya penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir yang berjudul. **“Pengaruh preheat pada pipa baja karbon AISI 1018 terhadap nilai uji tarik, uji kekerasan dan struktur mikro dengan pengelasan SMAW (Shielded Metal Arc Welding)”**.

Dalam penulisan Tugas Akhir ini banyak pihak yang telah membantu baik sebelum penyusunan, selama penyusunan maupun setelah penyusunan. Oleh karena itu penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. H. Helmy Purwanto, ST.,MT., Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang dan Dosen Wali Teknik Mesin Angkatan 2014.
2. Bapak Dr. S.M. Bondan Respati, ST.,MT., Selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang dan Dosen pembimbing I.
3. Bapak Imam Syafa'at, ST.,MT., Selaku dosen pembimbing 2.
4. Bapak Darmanto, ST., M.Eng., Selaku Koordinator Tugas Akhir.
5. Semua teman-teman Teknik Mesin Universitas Wahid Hasyim Semarang yang telah menyeperti dalam menyelesaikan laporan.

Penulis menyadari bahwa penulisan Tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, untuk itu penulis mohon kritik, saran dan masukan yang bersifat membangun demi kesempurnaan penulisan dimasa yang akan datang.

Semarang, 16 Februari 2019

Penulis



Muamar Khaqiqi

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
MOTTO PERSEMBAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL	xii
ASTRAK	xiii

BAB I PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	3
I.3 Batasan Masalah.....	3
I.4 Tujuan Penelitian.....	3
I.5 Manfaat Penelitian.....	4

BAB II KAJIAN PUSTAKA

II.1 Tinjauan Pustaka	5
II.2 Landasan Teori.....	12
II.2.1 Pipa	12
II.2.2 Baja Karbon	12
II.2.3 Pengertian Las.....	15
II.2.4 Diagram Fe ₃ C	24
II.2.5 Diagram CCT(<i>continuous cooling transformation</i>)	25
II.2.6 Pemanasan Awal (<i>Preheat</i>)	26
II.2.7 Uji Struktur Mikro	28

II.2.8 Uji Kekerasan	30
II.2.9 Uji Tarik	31
BAB III METODOLOGI	
III.1 Alat dan bahan yang digunakan.....	34
III.1.1 Alat	34
III.1.2 Bahan	40
III.2 Prosedur penelitian	41
III.3 Variabel dalam penelitian	47
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
IV.1 Hasil pengujian komposisi	50
IV.2 Hasil pengujian tarik	51
IV.3 Hasil pengujian kekerasan	55
IV.4 Hasil foto makro sambungan las	57
IV.5 Hasil foto struktur mikro	58
BAB V PENUTUP	
V.1 Kesimpulan	69
V.2 Saran	70
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN	72

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Distribusi nilai kekerasan (VHN) pada karbon <i>stell</i> dan <i>stainless stell</i> (Saifudin dan Ilman, M.N., 2013)	6
Gambar II.2 Las SMAW (Wiryosumarto dan Okumura 2000).....	8
Gambar II.3 Bentuk kampuh samungan las (Munir, 2011)	19
Gambar II.4 Arah pembekuan dari logam las (Wiryosumarto, 2000)	20
Gambar II.5 Struktur mikro <i>acicular ferrite</i> (AF), <i>grain boundary ferrite</i> (GF) atau ferit batas butir (Setiawan dan Wardana, 2006).....	21
Gambar II.6 Struktur mikro <i>grain boundary ferrite</i> (GF) dan ferit <i>Widmanstätten</i> (Setiawan dan Wardana, 2006)	22
Gambar II.7 Perubahan struktur mikro pada logam yang mengalami pengelasan (Anonimus, 2002)	22
Gambar II. 8 Perubahan sifat fisis pada sambungan las cair (Malau, 2003)	23
Gambar II. 9 Transformasi fasa pada logam hasil pengelasan (Sonawan dan Suratman, 2004).....	24
Gambar II.10 Diagram Fe ₃ C (ASM Handbook, 1991)	25
Gambar II.11 Pengaruh laju pendinginan terhadap pembentukan struktur mikro baja karbon (Callister, 2001).....	26
Gambar II.12 Mekanisme uji kekerasan rockwell (Wahyuni, 2013).....	31
Gambar II.13 Kurva tegangan–regangan (Wiryosumarto, 2000)	32
Gambar II.14 Spesimen uji tarik mengacu pada standar (ASME IX, 1998).....	33
Gambar III.1 Mesin las General MMA 200.....	34
Gambar III.2 Gas LPG (<i>Liquefied Petroleum Gas</i>)	35
Gambar III.3 Mesin Bubut	36
Gambar III.4 Thermometer Infrared Digital	36
Gambar III.5 Alat Uji Tarik	37
Gambar III 6 Alat Poles	37
Gambar III 7 Mikroskop Tipe XSZ-107 BN.....	38
Gambar III.8 (a) Alat uji kekerasan (b) Indentor	39

Gambar III.9 Pipa baja karbon AISI 1018	40
Gambar III.10 Elektroda LB52/ E7016.....	40
Gambar III.11 Diagram alur penelitian	41
Gambar III.12 Kampuh V tunggal	43
Gambar III.13 Ukuran spesimen uji tarik	45
Gambar III.14 Spesimen uji tarik.....	45
Gambar III.15 Ukuran spesimen struktur mikro	45
Gambar III.16 Spesimen struktur mikro	46
Gambar IV.1 Grafik tegangan tarik dan tegangan luluh	52
Gambar IV.2 Grafik regangan	54
Gambar IV.3 Grafik nilai kekerasan	57
Gambar IV.4 (A) Foto hasil sambungan las penampang atas (B) Foto hasil sambungan las penampang samping	57
Gambar IV.5 Hasil foto makro <i>raw</i> material pipa baja karbon perbesaran 200x	58
Gambar IV.6 Daerah HAZ spesimen (A) HAZ tanpa preheat (B) HAZ preheat 300°C (C) HAZ preheat 350°C (D) HAZ preheat 400°C (E) HAZ preheat 450°C (F) HAZ preheat 500°C	60
Gambar IV.7 Logam las spesimen (A) Las tanpa preheat (B) Las preheat 300°C (C) Las preheat 350°C (D) Las preheat 400°C (E) Las preheat 450°C (F) Las preheat 500°C	63
Gambar IV.8 Logam induk spesimen (A) induk tanpa preheat (B) induk preheat 300°C (C) induk preheat 350°C (D) induk preheat 400°C (E) induk preheat 450°C (F) induk preheat 500°C	66

DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Hasil uji tarik tanpa <i>preheat</i> dan <i>preheat</i> (Haniv dan Yunus, 2016).....	7
Tabel II.2 Hasil uji kekerasan tanpa <i>preheat</i> dan <i>preheat</i> daerah <i>base metal</i> (Haniv dan Yunus, 2016)	7
Tabel II.3 Hasil analisa uji kekerasan tanpa <i>preheat</i> dan <i>preheat</i> daerah <i>basemetal</i> (Haniv dan Yunus, 2016)	8
Tabel II.4 Hasil analisa uji kekerasan tanpa <i>preheat</i> dan <i>preheat</i> daerah <i>weld metal</i> (Haniv dan Yunus, 2016)	8
Tabel II.5 Resume beberapa penelitian tentang pengelasan dan pengaruh <i>preheat</i>	9
Tabel II.6 Klasifikasi dari baja karbon.....	13
Tabel II.7 Spesifikasi elektroda terungkus dari baja lunak (AWS A5.1-64T)(Wiryo Sumarto, 2000)	18
Tabel III.1 Spesifikasi mesin las General MMA 200	34
Tabel IV.1 Kandungan komposisi kimia material pipa baja karbon	50
Tabel IV.2 Rata-rata hasil pengujian tarik	51
Tabel IV.3 Hasil pengujian kekerasan	55
Tabel IV.4 Struktur mikro masing masing daerah pengelasan	59

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A (Hasil pengujian komposisi pipa baja karbon)	74
Lampiran B (Hasil data pengujian tarik).....	75

DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL

Simbol	Satuan
A_0 : Luas mula penampang	(mm ²)
E : Modulus elastisitas bahan	(kg/mm)
ϵ : Regangan	(%)
σ : Tegangan	(kg/mm ² , N/mm ²)
σ_u : Tegangan <i>ultimate</i>	(kg/mm ² , N/mm ²)
F : Beban, gaya	(kg, N)
L_0 : Panjang awal	(mm)
L : Panjang akhir	(mm)

ABSTRAK

Las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) adalah proses pengelasan yang menggunakan panas untuk mencairkan material dasar atau logam induk dan elektroda (kawat las), *flux* pada elektroda SMAW berfungsi untuk melindungi logam las yang mencair saat proses pengelasan berlangsung. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan menganalisis *preheat* pada uji tarik, uji kekerasan dan struktur mikro. Bahan yang digunakan adalah pipa baja karbon AISI 1018 dengan diameter 2 inch. Proses *preheat* dilakukan dengan variasi suhu 300°C, 350°C, 400°C, 450°C, 500°C menggunakan kecepatan las dan arus dianggap konstan. Hasil *preheat* 350°C dengan nilai tegangan paling tertinggi 371,57 MPa dan nilai hasil kekerasan rata-rata paling tertinggi *preheat* 500°C. Sedangkan nilai terendah pada hasil uji tarik spesimen *preheat* 450°C dengan nilai tegangan sebesar 295,37 MPa dan hasil uji kekerasan paling rendah yaitu pada *preheat* 300°C. Pada struktur mikro tampak fasa ferit, perlit, martensit, dan ferit batas butir pada daerah HAZ dikarenakan perlakuan panas terlalu tinggi ditambah lagi pengaruh panas lasan. Pada daerah las tampak terlihat fasa ferit dan ferit batas butir terlalu mendominasi dikarenakan perubahan suhu pada saat proses pengelasan terlalu lama. Pada struktur mikro daerah logam induk tampak fasa martensit dan tampak *columnar*, kemungkinan besar dalam pembuatan material melalui proses rolling.

Kata kunci: Las SMAW, Preheat, kekuatan uji tarik, kekerasan, struktur mikro.

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Perkembangan pengelasan pada zaman modern sangat pesat khususnya pada bidang otomotif, konstruksi, perkapalan, maupun perindustrian yang membutuhkan las untuk menggabungkan komponen. Pengelasan adalah proses yang tidak bisa dipisahkan dalam dunia industri karena pentingnya tersebut pengelasan digunakan untuk proses produksi dan banyak juga digunakan pada proses perbaikan dan penyambungan patahan serta retakan, seringkali hasil lasan mengalami kegagalan, salah satunya pada bidang otomotif, konstruksi, perkapalan maupun perindustrian yang mana pada halnya bisa dikarenakan kekuatan dari material menurun atau cara pengelasannya kurang baik, proses *manufacturing*, dan juga pengaruh perlakuan panas pada komponen yang menyebabkan kegagalan.

Berdasarkan penelitian Saifudin dan Ilman (2013),meneliti tentang pengaruh *preheat* terhadap struktur mikro dan kekuatan tarik las logam tak sejenis baja tahan karat *austentik* AISI 304 disambung dengan baja karbon A36 dengan filter ER308 menggunakan las MIG (*Metal Inert Gas*)dengan tegangan 20 Volt, arus 100 A dengan temperatur 100°C, 200°C, dan 300°C. Pengujian sambungan meliputi sifat mampu las (*weldability*), uji kekerasan (*microhardness*), struktur makro dan uji Tarik.Hasil penelitian menunjukkan nilai kekerasan bervariasi sesuai metalurgi las, yaitu daerah las, HAZ dan logam induk *Preheat* menurunkan kekerasan sambungan las disertai dengan peningkatan keuletan las.

Menurut hasil penelitian Hestiawan dan Suryono (2014), meneliti tentang pengaruh *preheat* dan *post welding heat treatment* terhadap sifat mekanik sambungan las SMAW pada baja Amutit K-460. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemanasan awal dan pengobatan PWHT terhadap sifat mekanik sambungan las SMAW diamutit baja spesimen K-460, proses pengelasan baja menyebabkan perubahan sifat mekanik seperti adanya tegangan sisa dan las retak dengan perlakuan PWHT memberikan hasil yang lebih baik dalam meningkatkan sifat mekanik pada sambungan las.

Menurut penelitian Mizhar dan Pandiangan (2014), menyatakan pengaruh variasi arus pengelasan SMAW dengan elektroda E7016 pada pipa baja karbon rendah dengan diameter 2,5inchi dan ketebalan 12 mm dilas dengan variasi arus 100, 110 dan 120 Adengan menggunakan las SMAW dengan menggunakan kampuh V tunggal dengan sudut 60°C dengan hasil penelitian menunjukkan bahwa ketangguhan impak tertinggi diperoleh pada arus 120 A dengan nilai 1,6 Joule/mm². Hal ini karena masukan panas yang tinggi, maka laju pendinginan setelah pengelasan akan menjadi lebih lambat, sehingga struktur *ferrite acicular* yang terbentuk akan lebih banyak.

Berdasarkan hasil penelitian Padang dkk (2014), menyatakan bahwa salah satu cara untuk mengurangi permasalahan pada hasil lasan yaitu dengan melakukan perlakuan panas pasca pengelasan PWHT (*post welding heat treatment*). Pengaruh perlakuan panas hasil pengelasan dengan suhu 450°C menghasilkan kekuatan tarik (*tensile strength*) pada sambungan las semakin meningkat pada temperatur 450°C dan diatas temperatur 450°C semakin menurun.

Menurut hasil penelitian Haniv dan Yunus (2016), menyatakan bahwa perlakuan *heat treatment* yang bertujuan untuk menghilangkan tegangan sisa yang dilakukan sebelum proses *welding* dimulai dan untuk mengurangi laju pendinginan sehingga mengurangi pembentukan baja *martensit*. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, dalam penelitian ini menggunakan baja ASTM A36, teknik analisa data dalam penelitian ini menggunakan analisis *deskriptif* dan *statistic* pengujian. Variabel bebas Dalam penelitian ini menggunakan temperatur 120°C untuk perlakuan *preheat*, untuk variabel kontrol dengan pengelasannya menggunakan mesin las GMAW (*Gas Metal Arc Welding*), jenis kampuh las, elektroda dan bahan lainnya, dan untuk variabel terikat hasil penelitian ini meliputi pengujian *Tensile Strength*, *Struktur mikro*, dan *Hardness Test*.

Dari uraian penelitian tersebut, peneliti akan melakukan penelitian pada pipa baja karbon AISI 1018 yang di las menggunakan pengelasan jenis SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*), yang akan di panaskan terlebih dahulu (*preheat*), dengan temperatur yang berbeda. Kemudian spesimen yang telah di panaskan dengan temperatur yang telah ditentukan langsung di las menggunakan jenis

las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*). Kemudian spesimen yang telah dipanaskan terlebih dahulu dan dilas akan melalui tahap pengujian meliputi uji tarik, uji kekerasan dan uji struktur mikro.

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, maka dapat dirumuskan suatu masalah yaitu bagaimana pengaruh suhu spesimen tanpa *preheat* dan *preheat* terhadap hasil pengelasan pada pipa baja karbon AISI 1018, setelah hasil pengelasan akan melalui beberapa tahap pengujian antara lain kekuatan tarik, kekerasan dan struktur mikro untuk mengetahui kekuatan material pada las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*).

I.3 Batasan Masalah

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

1. Variasi temperatur suhu.
2. Kecepatan pengelasan dianggap konstan.
3. Arus pengelasan dianggap konstan.

I.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui dan menganalisa pengaruh suhu *preheat* dan tanpa *preheat* dilas pada uji tarik.
2. Mengetahui dan menganalisa pengaruh suhu *preheat* dan tanpa *preheat* dilas pada benda uji kekerasan.
3. Mengetahui dan menganalisa pengaruh suhu *preheat* dan tanpa *preheat* dilas pada struktur mikro.

I.5 Manfaat Penelitian

Beberapa manfaat dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

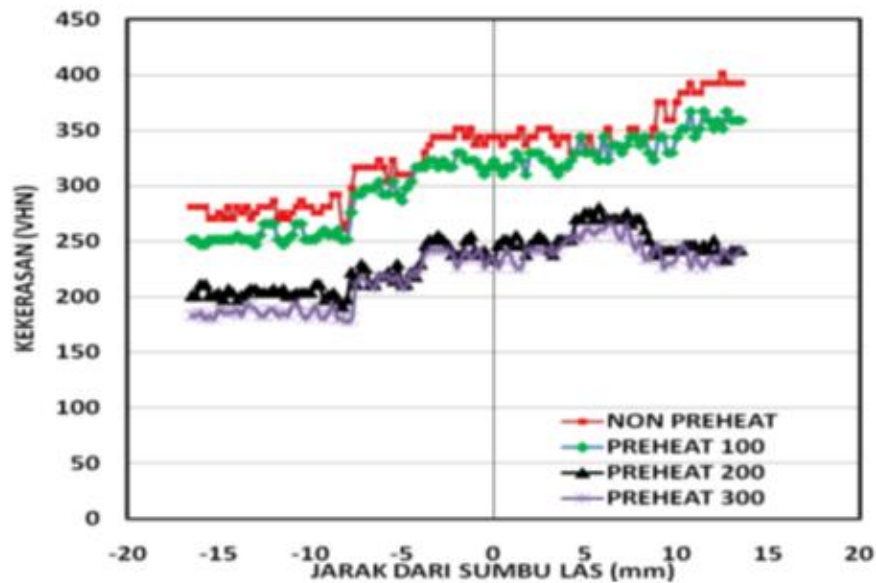
1. Bagi peneliti dapat menerapkan keilmuan tentang material teknik dan perlakuan pemanasan terkait dengan pengaruh pengelasan yang diperoleh selama kuliah sehingga menjadi pengalaman dan implementasi dari teori yang telah dipelajari.
2. Menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya mengenai metode dalam proses penelitian tentang pengaruh perlakuan panas sebelum pengelasan.

BAB II KAJIAN PUSTAKA

II.1 Tinjauan Pustaka

Dalam beberapa penelitian tentang pengelasan sebelumnya yang dimasukan ditinjauan pustaka mengungkapkan beberapa hasil penelitian yang memiliki kaitan erat dengan penelitian yang akan dilakukan. Yaitu berkaitan dengan masalah sebelumnya, seperti halnya prosedur-prosedur yang diterapkan dalam penelitian serta hambatan dan kesulitan dalam melakukan penelitian, maka dari itu peneliti bisa mendapatkan informasi tentang hal-hal yang telah dilakukan oleh para peneliti sebelumnya. Perbedaan antara rumusan-rumusan masalah yang hendak dipecahkan dengan masalah-masalah yang sudah dipecahkan sebelumnya.

Saifudin dan Ilman (2013), yang melakukan penelitian tentang pengaruh *preheat* terhadap struktur mikro dan kekuatan tarik las logam tak sejenis baja tahan karat *austenitik* AISI 304 dan baja karbon A36. Dari hasil penelitian uji kekerasan *microvickers* didapatkan distribusi nilai kekerasan yang berbeda pada masing-masing daerah pengelasan. Untuk HAZbaja karbon tanpa *preheat*, kekerasan rata-ratanya adalah 307 VHN jauh lebih tinggi dibandingkan dengan *preheat* 200°C yaitu 215 VHN sehingga akan mampu menaikkan keuletannya. Sedangkan nilai kekerasan pada HAZbaja tahan karat dengan *preheat* akan semakin naik, hal ini disebabkan adanya endapan (*precipitation*) karbida krom diantara batas butir *austenit* yang terbentuk karena pendinginan lambat dari temperatur 900°C sampai 450°C pada saat pengelasan. *Presipitat* ini mampu menahan gerakan dislokasi ketika material menerima beban luar, sehingga mampu menaikkan nilai kekerasan secara signifikan. Dapat dilihat pada Gambar II.1 Distribusi nilai kekerasan (VHN) pada karbon *stell* dan *stainless steel*.



Gambar II.1 Distribusi nilai kekerasan (VHN) pada kabon *stell* dan *stainless steel* (Saifudin dan Ilman, 2013)

Hasil pengujian struktur mikro dapat di ketahui karakterisasi *mikrostruktur* dari material yang akandilihat dengan melakukan foto mikro. Untuk mengetahui bentuk struktur mikro spesimen, yaitu dengan mengambil penampang permukaan spesimen untuk dipoles dan dietsa dengan cairan kimia 2% HNO_3 + 98% ethanol untuk baja karbon dan 25% HNO_3 + 75% HCl untuk baja tahan karat. Pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran tertentu. Pengamatan struktur mikro adalah salah satu cara untuk mengetahui metalurgi permukaan benda uji, sehingga dapat diketahui sifat mekanik dari material tersebut.

Haniv dan Yunus (2016), melakukan penelitian tentang pengaruh *preheat* pada baja SS400 terhadap *tensile strength*, *metallography* dan *hardnes test* menggunakan las GMAW. Hasil penelitian uji tarik dapat diketahui bahwa perlakuan tanpa *preheat* dan *preheat* nilai hitung 37,998 lebih besar analisa pengujian tarik dapat di lihat pada Tabel II.1 dengan nilai *probability* 0,05. Hal ini berarti perlakuan tanpa *preheat* dan *preheat* tersebut berpengaruh terhadap kekuatan tarik baja SS400. Berdasarkan hasil penelitian uji kekerasan dapat diketahui bahwa perlakuan tanpa *preheat* dan *preheat* daerah *basemetal*

dihasilkan nilai hitung 166,931 dapat di lihat pada Tabel II.2 dengan nilai *probability* 0.05. Hal ini berarti perlakuan tanpa *preheat* dan *preheat* daerah *base metal* berpengaruh terhadap kekerasan baja SS400. Berdasarkan hasil *weld metal* dapat diketahui bahwa tanpa *preheat* dan *preheat* pada daerah *weld metal* dihasilkan dengan nilai perhitungan 336,204 Tabel II.3 dengan nilai *probability* 0.05. Hal ini berarti daerah *weld metal* berpengaruh terhadap kekerasan baja SS400. Berdasarkan hasil uji HAZ dapat diketahui bahwa perlakuan tanpa *preheat* daerah HAZ dihasilkan nilai hitung 133,879 Tabel II.4 dengan nilai *probability* 0.05. Hal ini berarti daerah HAZ berpengaruh terhadap kekerasan baja SS400. Tabel II.1 Hasil uji tarik tanpa *preheat* dan *preheat*. Tabel II.2 Hasil uji kekerasan tanpa *preheat* dan *preheat* daerah *base metal*. Tabel II.3 Analisis t-test tanpa *preheat* dan *preheat* daerah *weld metal*. Tabel II.4 Analisis t-test tanpa *preheat* dan *preheat* daerah HAZ.

Tabel. II.1 Hasil uji tarik tanpa *preheat* dan *preheat* Haniv dan Yunus, (2016)

Perlakuan	Suhu (°C)	Hasil pengukuran			
		Uji tarik (kg/mm ²)			
		B1	B2	B3	∑ Ra
Tanpa <i>pre Heat</i>	27	42,35	43,64	47,57	44,52
<i>Pre Heat</i>	120	48,52	49,01	49,50	49,01

Tabel II.2 Hasil uji kekerasan tanpa *preheat* dan *preheat* daerah *base metal* Haniv dan Yunus, (2016)

Test Value = 0				
T	Df	Mean Difference	95% Confidence interval of the Difference	
			Lower	Upper
166,931	0,05	70,4833	69,398	71,569

Tabel II.3 Hasil analisa uji kekerasan tanpa *preheat* dan *preheat* daerah
basemetal Haniv dan Yunus, (2016)

Test value = 0				
T	Df	Mean difference	95% Confidence interval of the difference	
			Lower	Upper
336,204	0,05	71,9333	71,383	72,483

Tabel II.4 Hasil analisa uji kekerasan tanpa *preheat* dan *preheat* daerah
weldmetal Haniv dan Yunus, (2016)

Test Value = 0				
T	Df	Mean Difference	95% Confidence interval of the Difference	
			Lower	Upper
133,879	0,05	74,3000	72,873	75,727

Tabel III.5 Resume beberapa penelitian tentang Pengelasan dan pengaruh *preheat*

Peneliti (Tahun)	Tema	Material	Variasi	Hasil
Saifudin dkk (2013)	Pengaruh <i>preheat</i> terhadap struktur mikro dan kekuatan Tarik las logam tak sejenis baja tahan karat austenitic AISI 304 dan baja karbon A36	Baja tahan karat austenitic AISI 304 dan baja karbon A36	Laju pemanasan awal (<i>preheat</i>) diruang terbuka.	Hasil pengujian Tarik menunjukkan rata-rata kekuatan tarik (<i>tensile strength</i>) dan kekuatan luluh (<i>yield strength</i>) pada sambungan las dengan <i>preheat</i> semakin meningkat. Pada <i>preheat</i> 200°C, kekuatan tarik meningkat dari 480 MPa menjadi 538 MPa. Dan Pada <i>preheat</i> 300°C, kekuatan luluh meningkat dari 337 MPa menjadi 348 MPa.
Mizhar dan Pandiangan (2014)	Pengaruh masukan panas terhadap struktur mikro, kekerasan dan ketangguhan pada pengelasan <i>shield</i>	Pipa baja karbon rendah diameter 2,5 inchi dengan ketebalan 12 mm.	Laju masukan panas yang tinggi (<i>heat input</i>)	Hasil pengujian menunjukkan bahwa masukan panas tinggi menyebabkan laju pendinginan setelah pengelasan akan menjadi lebih lambat, sehingga struktur <i>Acicular Ferrite</i> yang terbentuk akan lebih banyak sesuai dengan diagram CCT dan

	<i>metal arc welding</i> (SMAW) dari pipa baja diameter 2,5 inchi.			sebagai <i>interlockingstructure</i> yang mampu menghambat laju perambatan retak yang terjadi. Ini berbanding lurus dengan pernyataan Lancaster (1996), bahwa semakin lembut <i>Acicular Ferrite</i> mempunyai ketangguhan yang semakin tinggi.
Haniv dan Yunus (2016)	Pengaruh <i>preheat</i> pada sambungan <i>butt joint</i> material SS400 terhadap nilai <i>tensile strength</i> , uji <i>metallography</i> dan <i>hardness test</i> dengan pengelasan GMAW	Baja SS400	Suhu temperatur tanpa <i>preheat</i> dan <i>preheat</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Berdasarkan hasil uji t diketahui bahwa perlakuan tanpa <i>preheat</i> dan <i>preheat</i> nilai t hitung 37,998 lebih besar dari t tabel 2,91 dengan nilai signifikansi 0,000 probability 0,05. Hal ini berarti perlakuan tanpa <i>preheat</i> dan <i>preheat</i> tersebut berpengaruh terhadap kekuatan tarik baja SS400. 2. Hasil <i>Preheat</i> mempengaruhi struktur mikro ditinjau dari komposisi fasa terutama di daerah <i>heat affected zone</i> (HAZ) yang merupakan daerah kritis

				sambungan las. Semakin banyak dilakukan <i>preheat</i> semakin menurun jumlah presentase fasa perlit di daerah HAZ dibandingkan daerah <i>base metal</i> secara berturut-turut dari 36,072 % menjadi 46,02 % dan dari 37,424 % menjadi 41,116 %.
Penelitian sekarang	Pengaruh <i>preheat</i> pada pipa baja karbon AISI 1018 terhadap nilai uji kekersan, uji tarik dan struktur mikro dengan pengelasan SMAW (<i>Shielded Metal Arc Welding</i>).	Pipa baja karbon AISI 1018	Suhu temperatur tanpa <i>preheat</i> dan <i>preheat</i>	-

II.2 Landasan Teori

II.2.1 Pipa

Pipa adalah suatu komponen berbentuk silindris yang digunakan untuk memindahkan fluida baik berupa cair ataupun gas yang didesain sedemikian rupa sesuai dengan spesifikasi tertentu. Secara umum pipa dapat dikelompokkan menjadi dua bagian, yaitu pipa tanpa sambungan dan pipa dengan sambungan. Raswari, (2007).

II.2.2 Baja Karbon

Baja karbon adalah paduan antara besi (Fe) dan karbon (C), dimana unsur karbon (C) menjadi dasar. Disamping unsur Fe dan C, baja juga mengandung unsur campuran lain seperti silikon (Si), mangan (Mn), fosfor (P), sulfur (S), dan tembaga (Cu). Sifat baja karbon tergantung pada kadar karbon. Karena itu, baja ini di kelompokkan berdasarkan kadarkarbonnya (Wisnyosumarto dan Okumura, 2000).

1. Baja Karbon rendah ($< 0,30\%$ C)
2. Baja Karbon Menengah ($0,30\% - 0,45\%$ C)
3. Baja Karbon Tinggi ($0,45\% - 1,7\%$ C)

Kadar karbon mempunyai pengaruh yang sangat besar terhadap mutu baja. Baja dengan kadar karbon $0,1 - 0,35\%$ tidak dapat dikeraskan atau dipijarkan dan didinginkan tiba-tiba. Baja dengan kadarkarbon rendah mempunyai nilai kekerasan yang rendah pula. Makin rendah kadarkarbonnya maka baja tersebut makin lunak dan mudah ditempa sebaliknya makin tinggi kadar karbonnya maka makin besar pula nilai kekerasannya. Klasifikasi dari baja karbon dapat dilihat dalam Tabel III.6 (Wiryosumarto dan Okumura 2000).

Tabel II.6 Klasifikasi dari baja karbon

Jenis dan kelas	Kadar karbon %	Kekuatan luluh (kg/mm ²)	Kekuatan tarik (kg/mm ²)	Perpanjangan	Kekerasan brinell	Penggunaan	
Baja karbon Rendah	Baja lunak khusus	0,08	18-28	32-36	40-30	95-100	Pelat tipis
	Baja sangat lunak	0,08-0,12	20-29	36-42	40-30	80-120	Batang kawat
	Baja setengah lunak	0,12-0,20	22-30	38-48	36-24	100-130	Konstruksi umum
Baja karbon sedang		0,20-0,30	24-36	44-55	32-22	112-145	
	Baja setengah keras	0,30-0,40	30-40	50-60	30-17	140-170	Alat-alat mesin perkakas
Baja karbon Tinggi	Baja keras	0,40-0,50	34-46	58-70	26-14	160-200	
	Baja sangat keras	0,50-0,80	36-47	65-100	20-11	180-235	Rel pegas dan kawat piano

1. Baja Karbon Rendah (*Low Carbon Steel*)

Baja karbon rendah adalah baja yang mengandung karbon kurang dari 0,3% C. Baja karbon rendah merupakan baja yang paling mudah diproduksi di antara karbon yang lain, mudah dimachining dan dilas, serta keuletan dan ketangguhannya sangat tinggi tetapi kekerasannya rendah dan tahanan aus. Sehingga pada penggunaannya, baja jenis ini dapat digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan komponen bodi mobil, struktur bangunan, pipa gedung, jembatan, kaleng, pagar, dan lain-lain (Amanto, 1999). Baja karbon rendah mempunyai kepekaan retak las yang rendah bila dibandingkan dengan baja karbon lainnya atau dengan karbon baja paduan. Tetapi retak las pada baja ini dapat terjadi dengan mudah pada pengelasan plat tebal atau bila di dalam baja tersebut terdapat belerang bebas yang cukup tinggi. (Wisyo Sumarto dan Okumura, 2000).

2. Baja karbon sedang (*Medium Carbon Steel*)

Baja karbon sedang memiliki sifat mekanik yang lebih baik dan merupakan logam yang memiliki sifat mampu las (*weldability*) yang cukup tetapi peka terhadap retak dingin (*underbead crack*), karena meningkatnya sifat *hardenability* dan kekuatan material, logam ini juga bersifat mampu diperlakukan panas (*heat treatable*) dan mudah dibentuk oleh permesinan. Sehingga sering

digunakan di industri (Padang dkk, 2014). Baja karbon menengah banyak digunakan untuk poros, rel kereta api, rodagigi, pegas, baut, komponen mesin yang membutuhkan kekuatan tinggi, dan lain-lain.

3. Baja Karbon Tinggi (*High Carbon Steel*)

Baja karbon tinggi adalah baja yang mengandung karbon 0,6% C-1,7% C dan memiliki tahanan panas yang tinggi, kekerasannya tinggi, namun keuletannya lebih rendah. Baja karbon tinggi mempunyai kekuatan tarik paling tinggi dan banyak digunakan untuk material perkakas (*tools*). Salah satu aplikasi dari bajaini adalah dalam pembuatan kawat bajadankabel baja. Berdasarkan jumlah karbon yang terkandung di dalam baja karbon ini banyak digunakan dalam pembuatan pegas dan alat-alat perkakas seperti palu, gergaji atau pahat potong. Selain itu, baja jenis ini banyak digunakan untuk keperluan industri lain seperti pembuatan kikir, pisau cukur, mata gergaji, dan sebagainya (Amanto, 1999).

Menurut Mulyadi dan Sunitra (2010), baja yang mengandung unsur kimia dalam paduan akan mempengaruhi sifat mekanik dan fisis dari baja. Penambahan unsur-unsur paduan lain dapat menghasilkan sifat-sifat baja yang diinginkan antara lain sebagai berikut :

a. Silikon (Si)

Unsur silikon memiliki pengaruh pada kekuatan, kekerasan, keuletan dan ketahanan panas dan aus tetapi mempunyai pengaruh menurunkan regangan dan menurunkan kemampuan dilas dan ditempa. Silikon merupakan unsur paduan yang ada pada setiap baja dengan jumlah kandungan lebih dari 0,4% wt.

b. Mangan (Mn)

Unsur mangan dalam proses pembuatan baja berfungsi meningkatkan kekuatan dan kekerasan serta kemampuan untuk dapat diperlakukan panas menyeluruh ketahanan aus, penguatan pada pembentukan dingin tetapi menurunkan kemampuan serpih.

c. Nikel (Ni)

Unsur nikel memberikan pengaruh menurunkan suhu kritis dan kecepatan kritis. Ni membuat struktur butiran menjadi halus dan menambah keuletan.

d. Chrom (Cr)

Unsur krom meningkatkan kekuatan tarik dan *keplastisan*, menambah mampu keras, meningkatkan daya tahan terhadap korosi dan tahan suhu tinggi.

e. Vanadium (V) dan Wolfram (W)

Unsur *vanadium* dan *wolfram* membentuk *karbidat* yang sangat keras dan menyebabkan baja memiliki kekerasan yang tinggi. Kekerasan dan tahan panas yang cukup tinggi pada baja sangat diperlukan untuk mesin pemotong dengan kecepatan tinggi.

f. Molibdenum(Mo)

Meningkatkankekuatantarik,batasrentang,kemampuan untukdapatdiprihetting dan *tempering*menyeluruh,batasrentang panas,ketahananpanas danbataskelelahan,suhupijar pada perlakuanpanas,tetapimenurunkan regangan.

g . Kobalt(Co)

Meningkatkankekerasan,ketahananaus,ketahanankaratdan panas, dayahantarlistriksertakejenuhan magnetis.

h. Titanium (Ti)

Memiliki kekuatan yang samaseperti baja mempertahankan sifatnya hingga 400°C misalnya kawat las.

II.2.3 Pengertian Las

Menurut DIN (*Deutch Industrie Normen*) pengelasan adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair (Wiryosumarto dan Okumura 2000) artinya las adalah proses penyambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas.

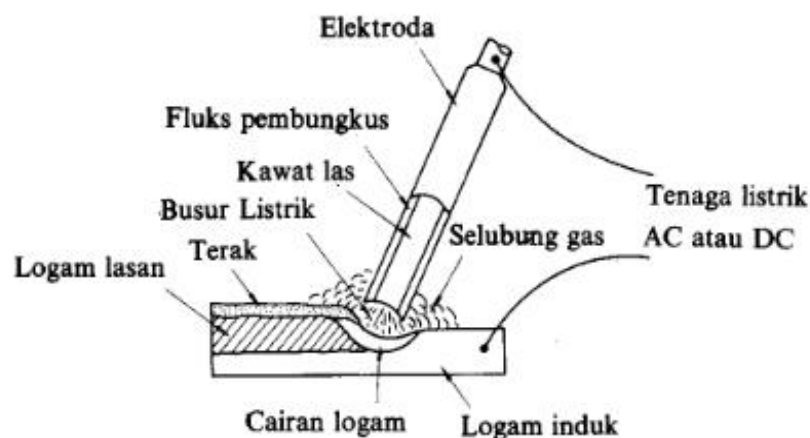
1. Las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)

Logam induk dalam pengelasan ini mengalami pencairan akibat energi panas yang dihasilkan dari busur listrik yang mampu mencairkan logam yang dilas tersebut.Elektroda yang digunakan berupa kawat yang dibungkus pelindung berupa *fluks*. Elektroda ini selama pengelasan akan mengalami pencairan bersama

dengan logam induk dan membeku bersama menjadi bagian kampuh las.

Pemindahan logam elektroda terjadi pada saat ujung elektroda mencair membentuk butir-butir logam diantarkan oleh busur listrik menuju kampuh sambungan yang dikehendaki dan menyatu dengan logam dasar yang mencair. Apabila arus listrik yang mengalir besar, butir-butir logam akan menjadi halus. Tetapi jika arus listriknya terlalu besar butir-butir logam elektroda tersebut akan terbakar sehingga kampuh sambungan menjadi rapuh.

Besar kecilnya butir-butir cairan logam elektroda juga dipengaruhi oleh komposisi bahan *fluks* yang dipakai pembungkus elektroda. Selama proses pengelasan *fluks* akan mencair membentuk terak dan menutup cairan logam lasan. Selama proses pengelasan *fluks* yang tidak terbakar akan berubah menjadi gas. Terak dan gas yang terjadi selama proses pengelasan tersebut akan melindungi cairan logam lasan dari pengaruh udara luar (oksidasi) dan memantapkan busur listrik. Dengan adanya *fluks*, pemindahan logam cair elektroda las menjadi lancar dan tenang Gambar II.2 Las SMAW.



Gambar II.2 Las SMAW (Wiryo Sumarto dan Okumura 2000)

2. Elektroda Pengelasan

Menurut Amstead dkk (1997) dikenal tiga jenis elektroda logam, yaitu polos, elektroda *fluks*, dan berlapis tebal. Elektroda polos terbatas penggunaannya, antara lain untuk besi tempa dan baja lunak. Biasanya digunakan polaritas langsung. Mutu lasan dapat ditingkatkan dengan memberikan lapisan

fluks yang tipis pada kawat las. *Fluks* membantu melarutkan dan mencegah terbentuknya oksida-oksida yang tidak diinginkan, akan tetapi kawat las berlapis merupakan yang paling banyak digunakan (95%) pada berbagai proses pengelasan komersil.

A. Elektroda polos

Sesuai dengan namanya elektroda polos adalah elektroda yang tidak menggunakan *fluks*, sehingga hanya berbentuk kawat yang ditarik. Dengan demikian, elektroda ini tidak dapat mencegah masuknya udara masuk ke dalam cairan logam lasan. Akibatnya hasil sambungan menjadi rapuh sehingga cocok untuk mengelas untuk pekerjaan las kualitas rendah. Busur api yang dihasilkan tidak tenang dan terputus-putus, sehingga penyulutannya sukar dilakukan. Pada proses pengelasan banyak menimbulkan percikan, hasil penetrasi (dampak bakar) dangkal, dan tidak menghasilkan terak ataupun keuntungan, dari penggunaan elektroda polos adalah jalur sambungan las dapat diamati dengan jelas, penyusutan relatif kecil. Elektroda polos lebih cocok untuk mesin las arus searah dengan penggunaan beban yang relatif kecil.

B. Elektroda inti

Berbeda dengan elektroda polos, elektroda inti adalah kawat yang ditengahnya terdapat inti yang berfungsi sebagai *fluks*. Percikan yang ditimbulkan elektroda ini relatif sedikit dibanding elektroda polos. Elektroda ini tidak tahan terhadap lembab. Hasil pengelasan mempunyai kekuatan yang cukup tinggi, tetapi pada daerah lasan mempunyai penyusutan yang lebih besar dari pada elektroda polos. Jika dibandingkan dengan elektroda terbungkus, elektroda ini mempunyai daya leleh dan kecepatan leleh yang rendah. Sehingga penggunaannya lebih cocok untuk kasus-kasus istimewa. Elektroda ini dapat digunakan pada mesin las arus AC dan DC.

C. Elektroda terbungkus

Elektroda terbungkus ini adalah kawat polos yang dibungkus dengan lapisan *fluks* yang tipis biasanya digunakan untuk mesin las arus DC, sedangkan lapisan *fluks* yang tebal biasanya untuk mesin las arus AC. Elektroda terbungkus memiliki sifat yang lebih baik jika dibandingkan kedua jenis elektroda polos dan

jenis elektroda inti, yakni busur listrik yang dihasilkan lebih mantap, mudah disulut melindungi cairan logam lasan dengan baik. Dengan demikian, hasil dari pengelasan mempunyai keuletan dan kekuatan yang sangat tinggi. Kekurangandari elektroda terbungkus adalah penyusutan pada daerah las yang tinggi dan kesulitan mengamati jalur sambungan lasan.

Standart elektroda dalam ASTM didasarkan pada jenis *fluks*, posisi pengelasan dan arus las, sebagai contoh huruf E menunjukkan elektroda terbungkus. Dua angka pertama menunjukkan kekuatan tarik terendah dari logam las dalam satuan (psi). Dua angka terakhir dalam sistem standart tersebut menunjukkan jenis *fluks* dan posisi pengelasan. Spesifikasi elektroda terbungkus dapat dilihat table II.7.

Tabel II.7 Spesifikasi Elektroda Terbungkus dari Baja Lunak. (AWS A5.1-64T) Wiryosumarto, (2000)

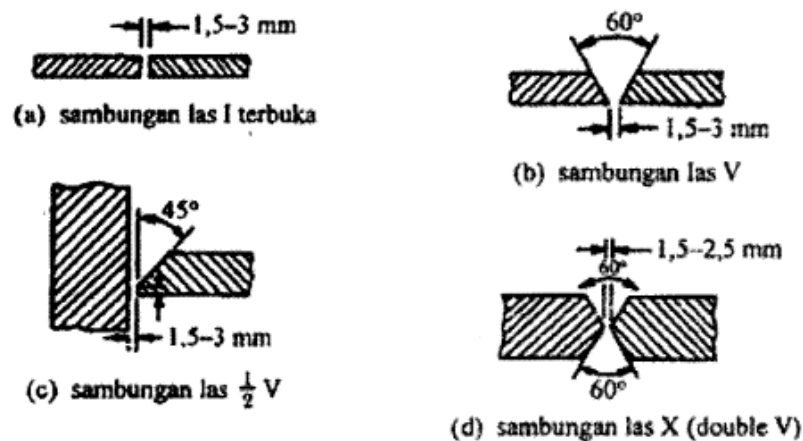
Klasifikasi AWS-ASTM	JENIS Fluks	Posisi pengelasan	Jenis listrik	Kekuatan tarik (kg/mm ²)	Kekuatan luluh(kg/mm ²)	Perpanjangan (%)
Kekuatan tarik terendah kelompok E70 setelah dilaskan adalah 70.000 psi atau 49,2 kg/mm ²						
E7014	Serbuk besi, titania	F, V, OH, H	AC/DC polaritas ganda	50,6	42,2	17
E7015	Natrium hydrogen rendah	F, V, OH, H	DC polaritas balik			22
E7016	Kalium hydrogen rendah	F, V, OH, H	AC/DC polaritas balik			22
E7018	Serbuk besi, hydrogen rendah	F, V, OH, H	AC/DC polaritas balik			22
E7024	Serbuk besi, titania	H-S, F	AC/DC polaritas ganda			17
E7028	Serbuk besi,hydrogen rendah	H-S, F	AC/DC polaritas balik			22

Arti Simbol : F = Datar
 V = Vertikal
 OH = Atas kepala
 H = Horizontal

H-S = Horizontal las sudut

3. Kampuh V

Sambungan- sambungan las tertentu memerlukan persiapan khusus dengan caradigerinda, dipahat, dan dikikir. Gambar II.3 Memperlihatkan bentuk kampuh sebagai persiapan mengelas.



Gambar II.3 Bentuk kampuh sambungan las (Munir, 2011)

Sambungan kampuh V dipergunakan untuk menyambung logam dengan ketebalan 6-15 mm. Sambungan kampuh V dipergunakan untuk menyambung spesimen dengan ketebalan 6-15 mm dengan sudut kampuh antara $60^\circ - 80^\circ$, jarak akar 1,5-3 mm (Sonawan 2004).

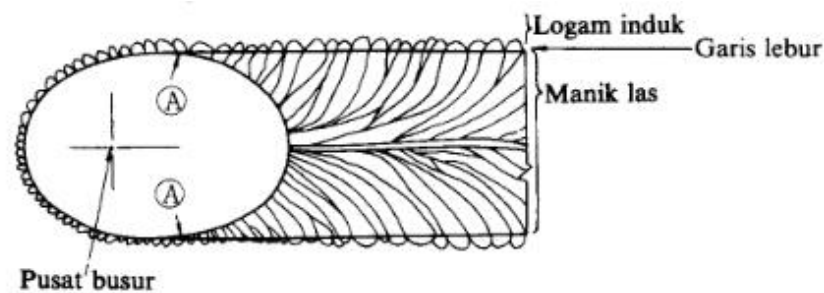
Sambungan dengan kampuh V lebih kuat daripada sambungan persegi dan dapat dipakai untuk menerima gaya tekan yang besar, serta lebih tahan terhadap kondisi beban statis. Pada pelat dengan tebal 5 mm – 20 mm perembesan (*penetrasi*) dapat dicapai 100%. (Munir, 2011).

4. Siklus *Thermal* Daerah Lasan

Menurut Wiryosumarto dan Okumura (2000) daerah lasan terdiri dari 3 bagian yaitu logam lasan, daerah pengaruh panas atau disebut daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) kemudian logam induk yang tak terpengaruhi.

a. Daerah logam las

Daerah logam las adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. Komposisi logam las terdiri dari komponen logam induk dan bahan tambah dari elektroda. Karena logam las dalam proses pengelasan ini mencair kemudian membeku, maka kemungkinan besar terjadi pemisahan komponen yang menyebabkan terjadinya struktur yang tidak homogen, ketidakhomogenan struktur akan menimbulkan struktur ferit kasar dan bainititas yang menurunkan ketangguhan logam las. Pada daerah ini struktur mikro yang terjadi adalah struktur cor. Struktur mikro di logam las dicirikan dengan adanya struktur berbutir panjang (*columnar grains*). Struktur ini berawal dari logam induk dan tumbuh ke arah tengah daerah logam las (Sonawan dan Suratman, 2004).



Gambar II.4 Arah pembekuan dari logam las (Wiryosumarto dan Okumura, 2000)

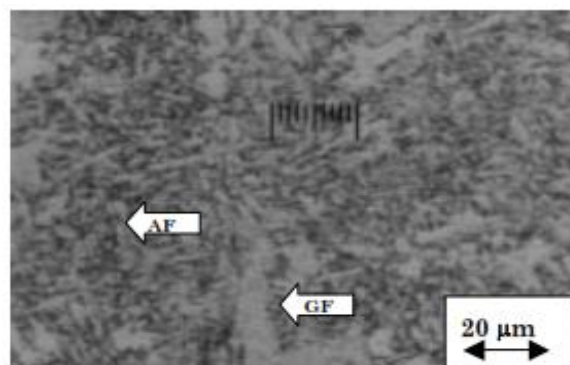
Dari Gambar II.4 ditunjukkan secara skematik proses pertumbuhan dari kristal-kristal logam las yang pilaryang. Titik A dari gambar adalah titik mulada struktur pilaryang terletak dari logam induk. Titik ini tumbuh menjadi garis lebur dengan arah sama dengan sumber panas. Pada garis lebur ini sebagian dari logam dasar ikut mencair selama proses pembekuan logam las tumbuh pada butir-butir logam induk dengan sumbu kristal yang sama.

Menurut Arifin, dkk., (2012) penambahan unsur paduan pada logam las menyebabkan struktur mikro cenderung berbentuk bainit dengan sedikit ferit batas butir, kedua macam struktur mikro tersebut juga dapat terbentuk, jika ukuran butir austenitnya besar. Waktu pendinginan yang lama akan meningkatkan ukuran batas butir ferit, selain itu waktu pendinginan yang lama akan

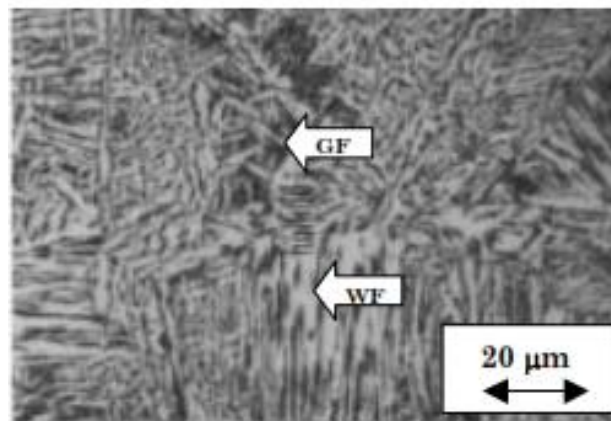
menyebabkan terbentuk ferit *Widmanstätten*. Struktur mikrologam las menurut Abson dan Pargeter (1986) kombinasi dari struktur mikro biasanya seperti di bawah ini:

- a) Batas butir ferit, terbentuk pertama kali pada transformasi austenit-ferit biasanya terbentuk sepanjang batas austenit pada suhu 1000-650°C.
- b) Ferit *Widmanstätten* atau *ferrite with aligned second phase*, struktur mikro ini terbentuk pada suhu 750-650°C di sepanjang batas butir austenit, ukurannya besar dan pertumbuhannya cepat sehingga memenuhi permukaan butirnya.
- c) Ferit *acicular*, berbentuk *intragranular* dengan ukuran yang kecil dan mempunyai orientasi arah yang acak. Biasanya ferit *acicular* ini terbentuk sekitar suhu 650°C dan mempunyai ketangguhan paling tinggi dibandingkan struktur mikro yang lain.
- d) Bainit, merupakan ferit yang tumbuh dari batas butir austenit dan terbentuk pada suhu 400-500°C. Bainit mempunyai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan ferit, tetapi lebih rendah dibandingkan martensit.
- e) Martensit akan terbentuk, jika proses pengelasan dengan pendinginan sangat cepat, struktur ini mempunyai sifat sangat keras dan getas sehingga ketangguhannya rendah.

Menurut (Setiawan dan Wardana, 2006) ferit batas butir karena adanya pengaruh *heat input* terhadap material logam las dan kemudian dilanjutkan pendinginan dengan laju pendinginan yang semakin lambat. Adapun gambar dari Struktur mikro *acicular ferrite* (AF) seperti terlihat pada Gambar II.5 Struktur mikro ferit *Widmanstätten* Gambar II.6.

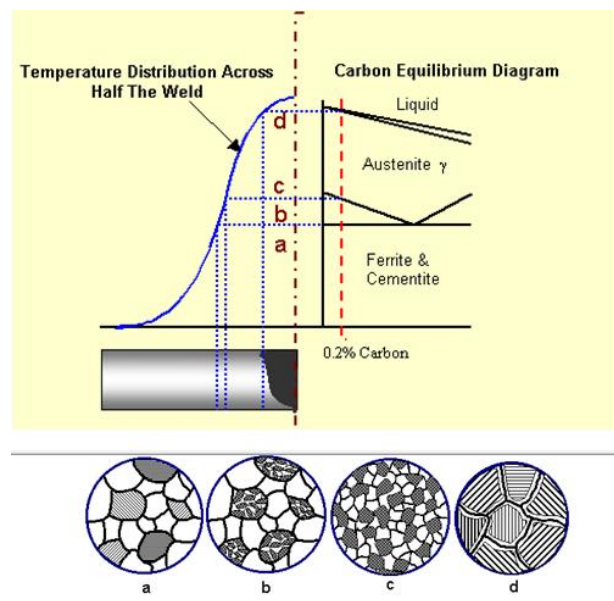


GambarII.5Strukturmikroacicularferrite(AF)dangrainboundaryferrite(GF)
atauferritbasbutir(Setiawan dan Wardana, 2006)



GambarII.6 Strukturmikrograinboundaryferrite(GF) dan feritWidmanstätten(Setiawan dan
Wardana,2006)

Selama proses pengelasan mengalami siklus termal yaitu pemanasan sampai mencapai suhu tertentu yang kemudian diikuti dengan pendinginan. Siklus termal tersebut mempengaruhi struktur mikro dan sifat mekanik logam las dan HAZ, dimana logam las mengalami transformasi fase dapat dilihat pada Gambar II.7.



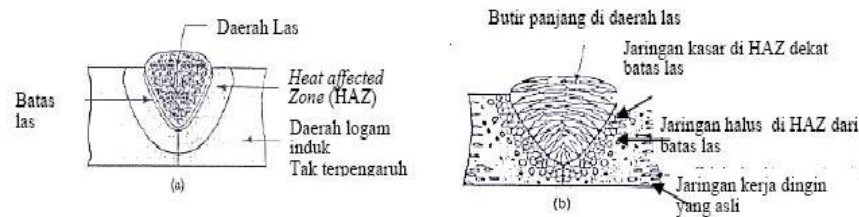
Gambar II.7 Perubahan struktur mikro pada logam yang mengalami pengelasan (Anonimus, 2002)

Pada Gambar II.7 menunjukkan hubungan antara struktur mikro dengan distribusi suhu dalam proses pengelasan terlihat adanya perbedaan akibat adanya suhu pada pengelasan Gambar II.7 juga berkaitan dengan diagram fasa Fe_3C yang dapat dilihat pada Gambar II.10 yang menyatakan bahwa:

- a) Pada daerah (a) yaitu daerah logam induk, pada suhu dibawah garis A_1 (pada Gambar II.10 1333°F) struktur mikro merupakan campuran butir ferit dan perlit.
- b) Pada daerah (b) perlit bertransformasi menjadi austenit, namun karena suhunya tidak dapat melebihi garis A_3 (pada Gambar II.10 1670°F) maka tidak semua butir ferit bertransformasi menjadi austenit, posisi ini biasanya merupakan posisi perbatasan antara daerah logam induk dan HAZ.
- c) Pada daerah (c) adalah daerah yang mengalami siklus termal tepat pada garis A_3 (pada Gambar II.10 1670°F) maka austenit secara sempurna bertransformasi.
- d) Pada daerah (d) yaitu daerah yang mengalami siklus termal di atas garis A_3 (pada Gambar II.10 1670°F) terjadi pertumbuhan butir. *Heat Affected Zone* biasanya merupakan daerah yang mengalami pertumbuhan butir-butir tumbuh membesar sehingga kekuatan mekanik menurun.

b. LogamInduk

Logam induk adalah bagian logam dasar di mana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat. Disamping ketiga pembagian utama tersebut masih ada satu daerah pengaruh panas, yang disebut batas las seperti terlihat pada Gambar II.8 (Wiryosumarto, 2000).

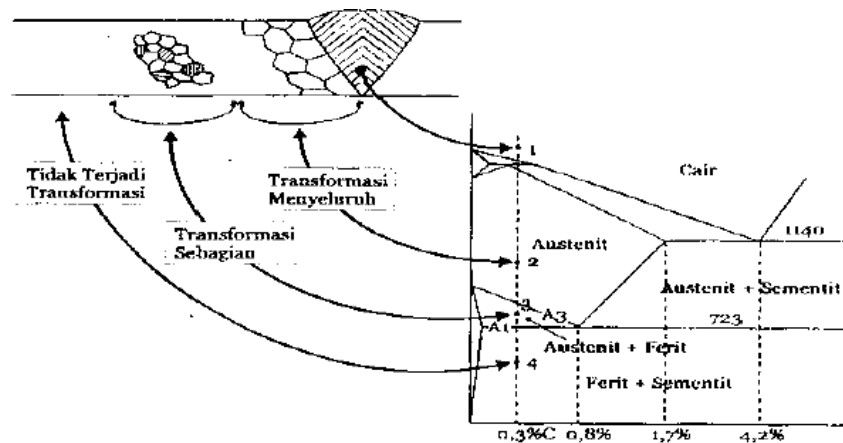


Gambar II.8 Perubahan sifat fisis pada sambungan las cair (Malau, 2003)

c. Heat Affected Zone (HAZ)

Menurut Sonawandan Suratman (2004) pemanasan lokal pada permukaan logam induksi selama proses pengelasan menghasilkan daerah pemanasan yang unik, artinya disetiap titik yang mengalami pemanasan itu memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Pada pengelasan busur listrik, permukaan logam yang berhubungan langsung dengan busur listrik akan mengalami pemanasan paling tinggi yang memungkinkan daerah tersebut mencapai titik cairnya.

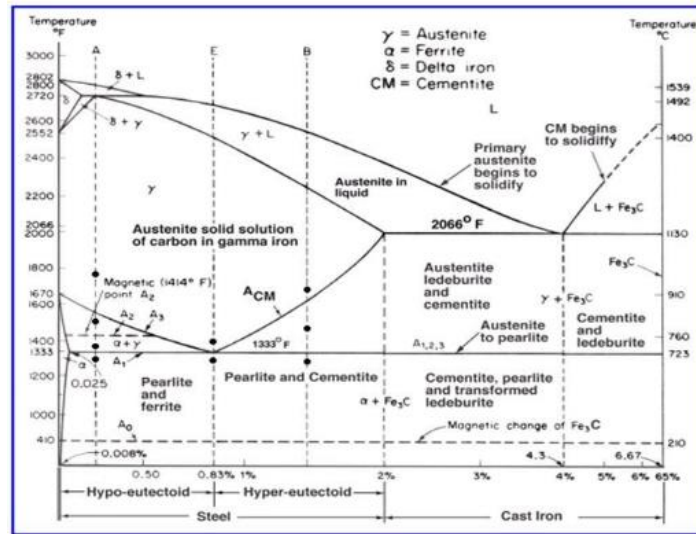
Titik satu dan dua menunjukkan temperatur pemanasan mencapai daerah berfasa austenit, daerah ini disebut dengan daerah transformasi menyeluruh yang artinya struktur mikro baja mula-mula ferit+perlit kemudian bertransformasi menjadi austenit 100%. Titik tiga menunjukkan temperatur pemanasan mencapai daerah berfasa ferit dan austenit, daerah ini disebut dengan daerah transformasi sebagian yang artinya struktur mikro baja mula-mula ferit+perlit berubah menjadi ferit+austenit, adapun transformasi fase pada logam hasil pengelasan seperti terlihat pada gambar II.9 (Sonawan dan Suratman, 2004).



Gambar II.9 Transformasi fasa padal logam hasil pengelasan (Sonawan dan Suratman, 2004)

II.2.4 Diagram Fe_3C

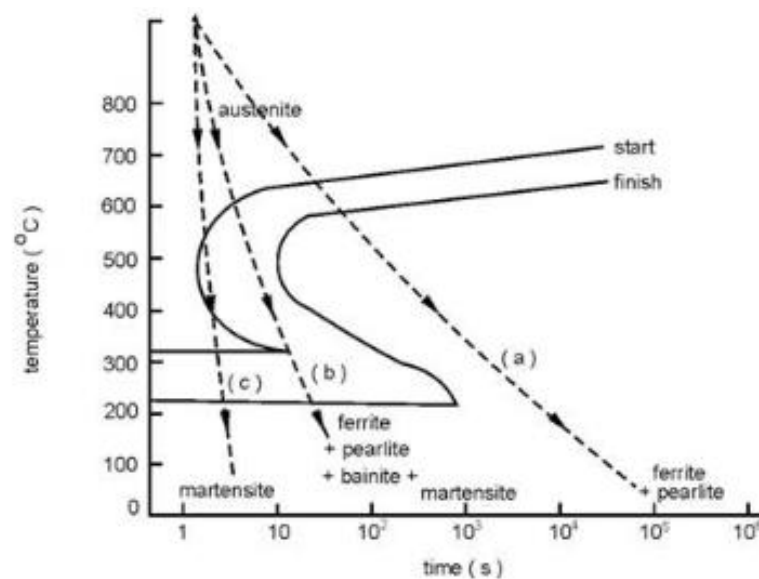
Diagram Fe_3C atau biasa disebut diagram kesetimbangan besi karbon merupakan diagram yang menjadi parameter untuk mengetahui segala jenis fasa yang terjadi di dalam baja dengan perlakuannya. Pada diagram fasa Fe_3C yang ditampilkan muncul larutan padat (α , γ , δ) atau besi delta (δ), austenit (γ), ferit (α), ferit adalah komposisi logam yang mempunyai batas maksimum kelarutan karbon 0,025% pada suhu 723°C dan struktur kristalnya BCC (*Body Centered Cubic*) dan austenit mempunyai struktur FCC (*Face Centered Cubic*) sedangkan delta mempunyai struktur kristal FCC pada suhu yang tinggi. Apabila kandungan karbon melebihi batas daya larut, maka akan membentuk fasa kedua yang disebut karbida besi atau sementit. Karbida besi mempunyai komposisi kimia Fe_3C yang sifatnya keras dan getas. Peningkatan kadar karbon pada baja karbon akan meningkatkan sifat mekanik baja tersebut, terutama kekerasan karena sifat yang dimiliki oleh endapan sementit yang keras. Diagram Fe_3C dapat dilihat pada Gambar II.10.



Gambar II.10 Diagram Fe_3C (ASM Handbook, 1991)

II.2.5 Diagram CCT (continuous cooling transformation)

Pada umumnya struktur mikro dari baja tergantung dari kecepatan pendinginannya dari suhu daerah austenit sampai ke suhu kamar. Karena perubahan struktur ini maka dengan sendirinya sifat-sifat mekanik yang dimiliki juga berubah. Hubungan antara kecepatan pendinginan dan struktur mikro yang terbentuk biasanya digambarkan dalam diagram yang menghubungkan waktu, suhu dan transformasi yang dalam bahasa Inggrisnya adalah "Continuous Cooling Transformation" dan disingkat menjadi diagram CCT (Wiryosumarto dan Okumura 2000). Adapun diagram CCT dapat dilihat pada Gambar II.11.



Gambar II.11 Pengaruh laju pendinginan terhadap pembentukan struktur mikro baja karbon (Callister, 2001)

Pada diagram CCT, selain memperlihatkan hubungan temperatur dan waktu juga terdapat fasa-fasa yang mungkin terjadi pada kasus pendinginan tertentu. Pada Gambar II.11 tampak bahwa pada proses pendinginan sedang (garis b) akan terbentuk mikrostruktur mikro bainit disamping perlit. Pada garis pendinginan secara perlahan (garis a) akan terbentuk struktur perlit dan ferit sedangkan pada proses pendinginan cepat (garis c) akan terbentuk struktur martensit. Garis-garis yang ada pada diagram CCT merupakan batas antar satu fasa dengan fasa lain.

II.2.6. Pemanasan Awal (*Preheat*)

Preheat adalah pemanasan yang dilakukan terhadap logam induk pada temperatur yang tepat sehubungan dengan pelaksanaan pengelasan, yang pegerjaan ini memungkinkan laju pendinginan dari daerah las dapat turun, sehingga dapat mengurangi nilai kekerasan dari daerah pengaruh panas dan memper cepat pelepasan hydrogen yang tercampur pada daerah las, sebagai hasilnya retak dingin dapat dihindari. Perlakuan PWHT adalah pemanasan kembali daerah las dengan segera setelah pengelasan selesai dilakukan dengan tujuan untuk melunakkan

daerah yang terkena pengaruh panas las, meningkatkan ketangguhan daerah las dan menghilangkan tegangan sisa pada saat pengelasan. (Daryanto, 2012)

Preheat atau pemanasan awal merupakan pemanasan yang dilakukan sebelum benda kerja tersebut dikerjakan lebih lanjut, misalnya sebelum dilakukan pengelasan. Temperatur pemanasan awal adalah antara 30°C sampai 400°C. Hal ini perlu dilakukan, karena pada waktu pengelasan akan terjadi panas pada daerah pengelasan (Zamrinata, 2011). Bertujuan untuk memenuhi persyaratan sifat-sifat yang dibutuhkan salah satunya adalah pemanasan material sampai suhu austenisasi dan ditahan dengan waktu tertentu untuk pelunakan temperatur rendah, pelunakan, penormalan, pengerasan dan penemperan.

Sifat-sifat logam yang terutama sifat mekanik yang sangat dipengaruhi oleh struktur mikrologam disamping posisi kimia, contohnya suatu logam atau paduan akan mempunyai sifat mekanis yang berbeda jika struktur mikronya diubah. Dengan adanya pemanasan atau pendinginan dengan kecepatan tertentu maka bahan-bahan logam dan paduan memperlihatkan perubahan strukturnya. Struktur logam yang tidak stabil tidak berguna untuk tujuan penggunaan, karena dapat mengakibatkan pecah, tegangan dan kegetasan diperlunak dan kekerasan sesuai dengan penggunaan. Ketinggian suhu *preheat* dan waktu penghentian benda kerja tergantung pada jenis baja dan kekerasan yang dikehendaki. Sebagai pedoman berlaku, bahwa benda kerja *dipreheat* sejauh tercapainya keuletan setinggi tingginya pada kekerasan yang memadai.

a. *Preheat* suhu rendah

Preheat ini mempunyai suhu pemanasan 150°-300°C. Proses ini tidak akan menghasilkan mempengaruhi spesimen yang berarti. *Preheat* ini hanya untuk mengurangi tegangan-tegangan kerut dan kerapuhan dari baja. Seperti alat-alat potong, mata bor dan sebagainya.

b. *Preheat* suhu menengah

Preheat ini mempunyai suhu pemanasan 300°-550°C. *Preheat* pada suhu sedang bertujuan untuk menambah keuletan dan sedikit menurunkan kekerasan. Peningkatan suhu *preheat* akan mempercepat penguraian martensit dan kira-kira pada suhu 315°C perubahan fase

menjadi martensit *preheat* berlangsung dengan cepat. Proses ini digunakan pada alat-alat kerja yang mengalami beban berat, misalnya palu, pahat, dan pegas.

c. *Preheat* pada suhu tinggi

Preheat ini mempunyai suhu pemanasan 550° - 650° C. *Preheat* suhu tinggi bertujuan memberikan daya keuletan yang besar dan sekaligus kekerasannya menjadi agak rendah. Tingginya suhu *preheat* akan menambah keuletan pada material namun material akan getas. Dengan lamanya *preheat* maka spesimen akan mengeras dan mungkin akan terjadi perubahan pada spesimen.

II.2.7. Uji Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro adalah suatu pengujian untuk mengetahui susunan fasa pada suatu benda uji atau spesimen. Struktur mikro dan sifat paduannya dapat diamati dengan berbagai cara yang bergantung pada sifat informasi dibutuhkan. Salah satu cara dalam mengamati struktur suatu bahan yaitu dengan teknik *metalografi* (pengujian mikroskopik). Mikroskop mikroyang digunakan untuk mengamati struktur bahan.

a. Metalografi

Metalografi adalah ilmu yang berkaitan dengan penyusunan dari mikrostruktur logam dan paduan yang dapat dilihat langsung oleh mata maupun dengan bantuan peralatan seperti mikroskop optik, mikroskop elektron SEM (*Scanning Electron Microscope*), dan difraksi sinar-X. Metalografi tidak hanya berkaitan dengan struktur logam tetapi juga mencakup pengetahuan yang diperlukan untuk preparasi awal permukaan bahan. Sampel metalografi harus memenuhi kriteria yaitu mewakili sampel, cacat di permukaan minimum bebas goresan, lubang cairan lengket, inklusi, presipitat, fasa terlihat jelas, permukaan sampel datar sehingga perbesaran maksimum mampu dicapai, sehingga permukaan sampel bagian pinggir tidak rusak (Noviani, 2010).

Dalam preparasi sampel untuk pengujian mikroskopik dilakukan melalui lima tahap yaitu: (Geels, 2006).

1. Pemotongan

Sampel untuk pengujian metalografi biasanya diambil dari material induk dengan melibatkan operasi pemotongan. Proses pemotongan induk dikerjakan dengan material *abrasive-wheel cutting* atau gergaji sehingga diperoleh sampel dengan dimensi sesuai dengan yang dikehendaki. Sampel yang dipotong tersebut harus memenuhi kriteria persyaratan untuk metalografi.

2. Pembungkaihan

Tujuan dari pembungkaihan adalah untuk kenyamanan dalam penanganan sampel dengan bentuk dan ukuran yang sulit selama proses penggerindaan, pemolesan, dan pengamatan metalografi. Tujuan kedua adalah melindungi ujung-ujung ekstrim dan cacat permukaan selama proses metalografi. Selain itu, pembungkaihan juga digunakan sebagai sarana untuk penanganan sampel radioaktif.

3. Penggerindaan

Penggerindaan dilakukan untuk mengeliminasi sisi-sisi tajam dan goresan dari sampel akibat proses pemotongan. Proses penggerindaan dilakukan dengan menggunakan kertas gerinda dari *grade* kasar ke *grade* halus dengan penggantian bertahap. Ketika dilakukan penggantian kertas gerinda, posisi sampel harus diputar 90° dari posisi sampel ketika menggunakan kertas gerinda *grade* sebelumnya. Perlakuan ini ditujukan untuk menghilangkan goresan yang mungkin terbentuk ketika dilakukan penggerindaan.

4. Pemolesan

Pemolesan merupakan tahap yang dilakukan untuk menyempurnakan hasil dari proses penggerindaan. Pada proses ini akan terjadi penghapusan goresan-goresan halus yang mungkin tersisa dari proses penggerindaan. Sehingga melalui proses pemolesan ini akan didapatkan sampel yang bebas dari goresan yang dapat menyebabkan hasil tidak maksimal saat metalografi. Pada umumnya pemolesan dilakukan dengan pasta *abrasive* seperti dengan menggunakan pasta alumina dan pasta intan.

5. Pengetsaan

Pengetsaan adalah suatu proses yang dilakukan untuk menampakkan batas-batas butir yang terbentuk pada logam. Prinsip dasar pengetsaan adalah melalui

proses korosi terkendali. Pengendalian ini dapat berupa pengendalian waktu dan pengendalian bahan korosi yang digunakan.

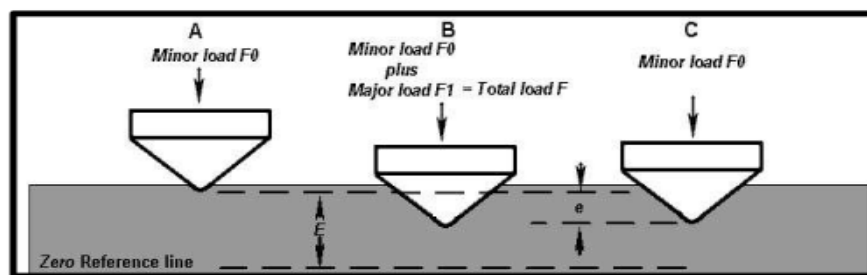
Proses terjadinya perbedaan warna, besar butir, bentuk dan ukuran butir yang mendasari penentuan dari jenis dan sifat fasa pada hasil pengamatan foto mikro adalah diakibatkan adanya proses pengetsaan. Salah satu jenis bahan yang digunakan dalam pengetsaan adalah *Aqua Regia*. Prinsip dari pengetsaan sebenarnya merupakan proses pengikisan mikro terkendali yang menghasilkan alur pada permukaan akibat *crystal faceting* yaitu orientasi kristal yang berbeda (batas butir), akan terjadi reaksi kimia yang berbeda intensitasnya. Maka atom-atomnya akan lebih mudah terlepas sehingga terkikis lebih banyak. Akibatnya adanya perbedaan ini dan bergantung pada arah cahaya pantulan yang tertangkap oleh lensa maka akan tampak bahwa fasa yang lebih lunak akan terlihat lebih terang dan fasa yang lebih keras akan terlihat gelap. Begitu juga akan terlihat bentuk dan ukuran butirannya sehingga dapat dibedakan fasa-fasa yang terlihat dalam bahannya akan diuji (Van Vlack, 1992).

Secara umum prinsip kerja mikroskop optik adalah sinar datang yang berasal dari sumber cahaya melewati lensa kondensor, lalu sinar datang itu menuju *glass plane* yang akan memantulkannya menuju sampel. Sebelum mencapai sampel, sinar datang melewati beberapa lensa pembesar. Kemudian sinar datang tersebut sebagian akan dipantulkan kembali, sedangkan sebagian lagi akan menyimpang akibat mengenai permukaan yang telah terkorosi pada saat pengetsaan. Sinar datang yang dipantulkan kembali ke mikroskop optik akan diteruskan ke lensa okuler sehingga dapat diamati.

II.2.8. Uji Kekerasan

Kekerasan suatu bahan didefinisikan sebagai ketahanan suatu bahan terhadap penetrasi lain pada permukaannya. Untuk logam sering menggunakan kekerasan lekukan (*indentation hardness*) dalam pengujianya, *Indentation Hardness* adalah pengukuran didasarkan pada kedalaman atau lebar goresan yang dibuat oleh suatu indentor pada permukaan logam dengan beban tertentu. Pada saat

teknik pengukuran dengan indantasi merupakan teknik pengukuran yang banyak dilakukan karena mudah untuk dilakukan dan tidak merusak spesimen secara berlebihan. Adapun beberapa teknik pengukuran kekerasan dengan indentasi yang banyak dilakukan adalah pengujian kekerasan *Rockwell* sesuai dengan yang ditetapkan oleh ASTM Standar E-18, pengujian kekerasan *Brinell* sesuai dengan ASTM Standar E-10, dan Pengujian kekerasan *Vickers* sesuai dengan ASTM Standar E-29.



Gambar II.12 Mekanisme uji kekerasan rockwell (Wahyuni, 2013)

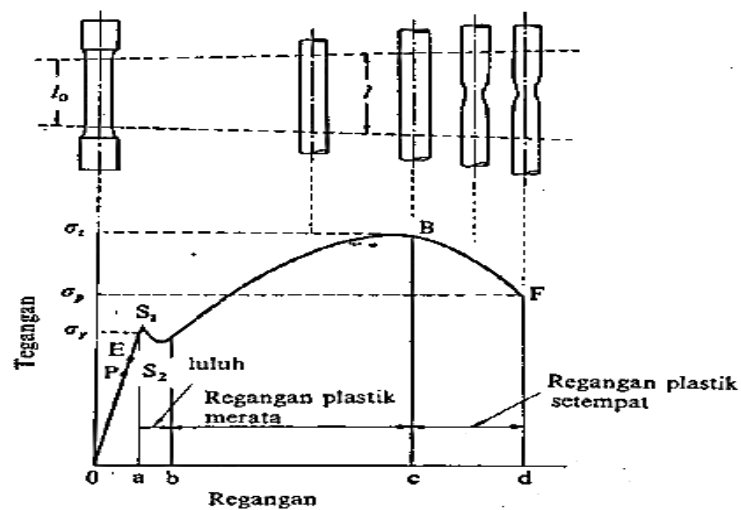
Pada uji kekerasan dengan metode *Rockwell* benda uji ditekan dengan penetrator (bola baja dan intan, dll). Harga kekerasan diperoleh dari perbedaan kedalaman dari beban mayor dan minor. Beban minor merupakan beban awal yang diberikan untuk pengujian *Rockwell* yang sudah ditentukan, sedangkan beban mayor merupakan beban minor ditambah dengan beban tambahan yang diberikan saat pengujian kekerasan. Nilai kekerasan berdasarkan kedalaman penekanan indentor dan hasilnya dapat langsung dibaca pada jarum penunjuk indikator di mesin *Rockwell*. Ilustrasi pengujian kekerasan dapat dilihat pada Gambar II.12.

II.2.9. Uji Tarik

Pengujian tarik digunakan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara lambat. Salah satu cara untuk mengetahui besaran sifat mekanik dari logam adalah dengan uji tarik. Sifat mekanik yang dapat diketahui adalah kekuatan dan elastisitas dari logam tersebut. Uji tarik banyak dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai data

pendukung bagis spesifikasi bahan. Nilai kekuatan dan elastisitas dari material uji dapat dilihat dari kurva uji tarik.

Dalam pengujian tarik, batang uji dibebani dengan kenaikan beban sedikit demi sedikit sampai batang uji patah, seperti terlihat pada gambar kurva tegangan regangan Gambar II.13.



Gambar II.13 Kurva tegangan-regangan (Wiryosumarto, 2000)

Menurut Wiryosumarto dan Okumura (2000), sifat-sifat tarikannya dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Tegangan} : \sigma = \frac{F}{A_0}$$

Dimana : F = Beban (kg)

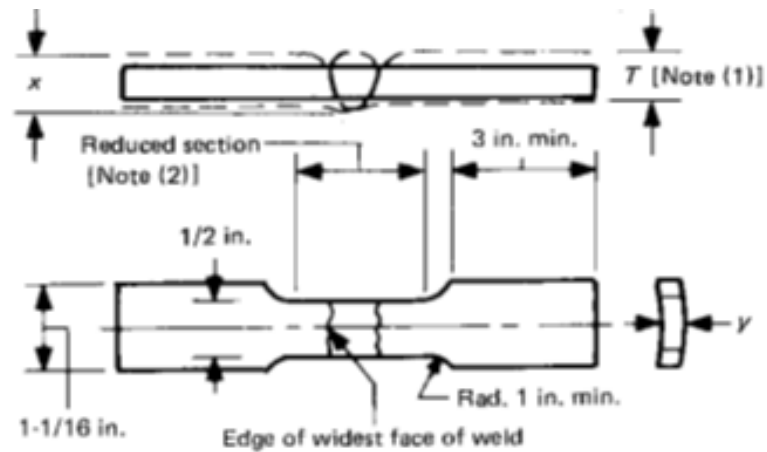
$$A_0 = \text{Luas muladari penampang batanguji (mm}^2\text{)}$$

$$\text{Regangan} : \epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Dimana: L_0 = Panjang mula dari batanguji (mm)

$$\Delta L = \text{Pertambahan panjang (} L_1 - L_2 \text{) (mm)}$$


Pembuatan spesimen uji tarik mengacu pada ASME IX seperti pada Gambar II.14.



GambarII.14Spesimen ujitarik mengacu pada standar ASME IX, (1998)

Catatan

1. Penguatan las harus di ratakan dalam pengerjaan, agar ketebalan las tidak melebihi ketebalan dasar logam T , untuk mendapatkan jumlah yang minimum permukaan mesin harus paralel.
2. Pada bagian tengah spesimen yang diperkecil tidak boleh lebih besar dari lebar las $+2y$



HALAMAN INI TIDAK TERSEDIA
BAB III DAN BAB IV
DAPAT DIAKSES MELALUI
UPT PERPUSTAKAAN UNWAHAS

BAB V

PENUTUP

V.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa kekuatan tarik, kekerasan dan struktur mikro pada pengaruh *preheat* dapat diambil kesimpulan yaitu:

1. Pengaruh *preheat* pada pengelasan kekuatan tarik (*tensile strength*) dengan nilai paling tertinggi adalah pada spesimen tanpa *preheat* dengan nilai 489,86 MPa, setelah melalui proses *preheat* spesimen mengalami penurunan dari *preheat* 300°C sampai dengan *preheat* 450°C cukup stabil, sedangkan untuk nilai paling rendah pada spesimen *preheat* 450°C dengan kekuatan tarik 354,99 MPa, maka diketahui setelah melalui proses perlakuan *preheat* spesimen mengalami penurunan karena adanya perubahan material.
2. Pada hasil pengujian kekerasan logam induk yang paling tinggi adalah spesimen las *preheat* 500°C yaitu 65 HRB sedangkan pada hasil uji kekerasan pada daerah HAZ nilai tertinggi adalah spesimen *preheat* 500°C dengan nilai kekerasan sebesar 72.7 HRB dan pada nilai kekerasan daerah las nila tertinggi dari spesimen-spesimen yang lain adalah spesimen *preheat* 500°C dengan nilai kekerasan sebesar 66 HRB, sedangkan nilai paling rendah dari nilai uji kekerasan pada daerah logam induk adalah *preheat* 300°C dengan nilai 39 HRB dan nilai uji kekerasan paling rendah pada daerah HAZ adalah spesimen *preheat* 300°C dengan nilai 33 HRB untuk nilai selanjutnya spesimen *preheat* pada daerah las 300°C dengan nilai kekerasan yaitu 35.3 HRB hasil uji kekerasan daerah las pada spesimen-spesimen yang paling rendah.
3. Pengaruh *preheat* pada struktur mikro pada hasil pengelasan yaitu pada daerah logam induk dengan pengaruh *preheat* 300°C tampak struktur perlit dan martensit lebih rapat dan merata dibandingkan dengan pengaruh *preheat* 350°C dan 400°C, pada daerah *Head Affected Zone* (HAZ) juga sama pengaruh *preheat* 300°C terlihat martensit yang lebih merata dan ferit *widmanstatten* dibandingkan suhu *preheat* lainnya, sedangkan pengaruh *preheat* pada daerah logam las ferit batas butir pada *columnar grains* terlihat pada

struktur mikro las tanpa *preheat* tampak lebih jelas dan banyak dibandingkan pengaruh *preheat* pada struktur mikro las lainnya. Terjadinya penurunan pada material baja karbon yang disebabkan adanya struktur martensit merupakan fasa yang sangat keras namun bersifat getas. Martensit memiliki tegangan sisa yang dapat menginisiasi terjadinya retak pada baja. Butir-butir fasa ferit atau bainit yang tumbuh menjadi kasar atau besar merupakan factor penyebab terjadinya baja menjadi getas.

V.2 Saran

Dari hasil penelitian analisa pengaruh *preheat* pada pipa baja karbon terhadap kekuatan tarik, kekerasan dan mikrostruktur dapat disarankan sebagai berikut:

1. Perlunya penelitian lebih lanjut tentang pengaruh *preheat* yang ideal dan baku pada spesiemen pipa baja karbon untuk proses *preheat*.
2. Perlunya penelitian lebih lanjut pada pengujian pengaruh *preheat* yang lain guna untuk mengetahui hasil ketanguhan material.
3. Perlunya juru las yang handal untuk mendapatkan hasil las yang standar.

DAFTAR PUSTAKA

- Abson, D. J., dan Pargeter, R. J., 1986, *Factors including strength microstructure and toughness of as deposited manual metal arc welds suitable for C-Mn steel fabrications*, International metal reviews.
- Amstead, B.H., dkk, 1997, *Teknologi Mekanik*, Jakarta: Erlangga.
- Amanto, H., 1999. *Ilmu Bahan*. Bumi Aksara. Jakarta.
- Anonimus. *The metallurgy of Carbon*. www. Gowelding.com. Diakses 20 Juli 2018, jam 22:06.
- Anrinal.H., 2013. *Metalurgi Fisik*. Edisi 1. CV. Andi Offset. Yogyakarta.
- Arifin, A., Santoso, H. B. R., dan Ilman, M. N., 2012 Pengaruh Preheat Terhadap Struktur Mikro Dan Sifat Mekanis Sambungan Las GTAW Material Baja Paduan 12cr1 Mov Yang Digunakan Pada Superheater Boiler, SEMNAS PASCASARJANA, Surabaya.
- ASM Handbook. 1989. *Heat Treating*. ASM Handbook Committee.
- ASME SECTION IX (QW-462.1), 1998.
- Callister, Jr., & William, D., 2001, *Fundamentals of Materials Science and Engineering*, 5 ed., John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Daryanto., 2010. Proses pengolahan besi dan baja (ilmu metalurgi), cet 1 satu nusa, sarana tutorial nurani sejahtera, Bandung.
- Geels, K., 2006. *Mettallographic and Materialographic Specimen Preparatio, Light Microscopy, Image Analysis, and Hardness Testing*. ASTM Internasional PP.
- Haniv, R., dan Yunus. 2016, Pengaruh preheat pada sambungan buut joint material ss400 terhadap nilai tensile strength, uji metalography dan hardness test dengan pengelasan gmaw di Pt.Inka madiun, Fakultas teknik, Universitas Negri Surabaya.
- Hestiawan, Hendri., dan Ahmad, Fauzan Suyono., 2014, Pengaruh Preheat dan Post Welding Heat Treatment Terhadap Sifat Mekanik Sambungan Las Smaw Pada Baja Amutit K-460, Jurnal Mekanikal, Vol. 5 No. 1 Jurnal Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Bengkulu.

- Malau, V., 2003, *Diktat Kuliah Teknologi Pengelasan Logam*, Yogyakarta.
- Mizhar, S., dan Pandiangan I.H., 2014. Pengaruh masukan panas terhadap struktur mikro, kekerasan dan ketangguhan pada pengelasan shield metal
- Mulyadidan Sunitra, Eka. 2010. Kajian Perubahan Kekerasan dan Difusi Karbon Sebagai Akibat Proses dari Proses Karburisasi dan Proses Quenching pada Material Gigi Perontok Power Thresher. *Jurnal Teknik Mesin*.
- Munir, M. 2011. Las dan pematrian, cetakan 1 yogyakarta: Skripta Media Creative.
- Noviani., 2010. *Pembuatan dan Karakterisasi Paduan Zr dengan Kadar Timah Putih Rendah*. Tugas Akhir. Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir. Yogyakarta.
- Padang, E.R., Leonard, J., dan Syam, R., 2014, Analisis pengaruh perlakuan panas berdasarkan diagram TTT dan CCT terhadap sifat sifat mekanik hasil pengelasan baja karbon menengah dengan pengelasan SMAW, *Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Material, Sistem Manufaktur Dan Energi*, Universitas Hasanudin, Makassar.
- Raswari, 1987, perencanaan dan penggambaran sistem perpipaan. Cet-1. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Saifudin dan Ilman, M.N., 2013. Pengaruh preheat terhadap struktur mikro dan kekuatan tarik las logam tak sejenis baja tahan karat austenitik aisi 304 dan baja karbon A36, *Jurnal Teknik Mesin Industri*. Uninersitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- Setiawan, A., Wardana, Y.A.Y., 2006, Analisa ketangguhan struktur mikro pada daerah las dan HAZ hasil pengelasan submerged ARC welding pada baja SM 490, *Jurnal Teknik Mesin*. Yogyakarta.
- Soejdono. 1978. *Pengetahuan Logam I*. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan. Jakarta.
- Sonawan, H., dan Suratman, R., 2004, *Pengelasan Logam*, Alfabeta, Bandung.
- Van Vlack, Djaprie, S., 1992. *Ilmu dan Teknologi Bahan*. Erlangga. Jakarta

- Wahyuni,I., Rojul, A.B.,Nasocha,. E.,Rosyi. N.F., Ningsih. O.R., Khusnia. R.,(2013), “Uji kekerasan material dengan metode Rockwell”, *Jurnal Ilmiah 2013*, Universitas Airlangga, Surabaya.
- WiryoSumarto,H.,danOkumura,T.,2000,*TeknologiPengelasan Logam*,Cetakankedelapan,Jakarta:PradnyaParamita.