

SKRIPSI

**ANALISA SIFAT KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO PROSES
PWHT DENGAN VARIASI SUHU PEMANASAN PADA PENGELASAN
LOGAM BERBEDA ASTM A36 DENGAN AISI 316L**

OLEH:

ANDI ALMUDAI CUMARATUNGGGA

D021 18 1508



DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2022

SKRIPSI

**ANALISA SIFAT KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO PROSES
PWHT DENGAN VARIASI SUHU PEMANASAN PADA PENGELASAN
LOGAM BERBEDA ASTM A36 DENGAN AISI 316L**

OLEH:

ANDI ALMUDAI CUMARATUNGGA

D021 18 1508

**Merupakan Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin**

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2022

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan mengikuti ujian akhir guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin pada Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Pada tanggal 5 Oktober 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

JUDUL:

ANALISA SIFAT KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO PROSES PWHT DENGAN VARIASI SUHU PEMANASAN PADA PENGELASAN LOGAM BERBEDA ASTM A36 DENGAN AISI 316L

ANDI ALMUDAI CUMARATUNGGGA

D021181508

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I

Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT

NIP. 19740415 199903 1 001

Dosen Pembimbing II

Dr. Hairul Arsyad, ST., MT

NIP. 19750322 200212 1 001

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin



Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT

NIP. 19720825 200003 1 001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

NAMA : ANDI ALMUDAI CUMARATUNGGGA

NIM : D021 18 1508

JUDUL SKRIPSI : “ANALISA SIFAT KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO PROSES PWHT DENGAN VARIASI SUHU PEMANASAN PADA PENGELASAN LOGAM BERBEDA ASTM A36 DENGAN AISI 316L”

Menyatakan dengan sebenarnya dan sejujurnya bahwa skripsi ini merupakan karya saya berdasarkan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli, jika terdapat karya orang lain, saya akan mencantumkan sumber yang jelas.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Hasanuddin.

Gowa, 5 Oktober 2022

Yang Membuat Pernyataan



Andi Almudai Cumaratungga
NIM. D021 18 1508

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil 'alamin, Puji syukur kita panjatkan atas kehadiran Allah SWT atas berkah dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul **“ANALISA SIFAT KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO PROSES PWHT DENGAN VARIASI SUHU PEMANASAN PADA PENGELASAN LOGAM BERBEDA ASTM A36 DENGAN AISI 316L”** dengan baik yang mana merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Tak lupa pula salam serta shalawat kepada junjungan Nabi besar Muhammad SAW, yang telah membimbing ummat-Nya dari zaman kegelapan menuju zaman terang benderang seperti yang kita rasakan hingga saat ini.

Tulisan ini penulis dedikasikan untuk kedua orang tua tercinta (Bapak Andi Muhammad Arman dan Ibu Nurenni) yang senantiasa memberikan semangat, usaha, dukungan, harapan serta doa agar kelak anaknya menjadi anak sukses dunia dan akhirat. Kepada saudara kandung penulis (Agung, Anggraeni, Alya), penulis mengucapkan terima kasih atas doa dan dukungan selama ini. Serta tak lupa juga pihak yang telah memberikan bantuan, saran, dan juga motivasi sehingga penyusunan tugas akhir ini dapat terselesaikan. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT selaku Ketua Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin.
2. Bapak Dr. Muhammad Syahid, ST., MT selaku Sekretaris Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT selaku Pembimbing 1 tugas akhir yang telah banyak meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan serta arahan selama penyusunan tugas akhir ini.
4. Bapak Dr. Hairul Arsyad, ST., MT selaku Pembimbing 2 tugas akhir yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan arahan, bimbingan dan juga saran dalam penyusunan tugas akhir ini.

5. Bapak Dr. Ir. Ahmad Yusran Aminy, MT. dan Bapak Azwar Hayat, ST., M.Sc., Ph.D selaku penguji yang telah memberikan masukan dan saran selama penyusunan tugas akhir ini.
6. Bapak Edi Iskandar, ST. sebagai laboran di Laboratorium Metalurgi Fisik yang telah memberikan arahan serta membantu penulis untuk pengambilan data selama di laboratorium.
7. Bapak dan ibu dosen serta Staf Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
8. Teman-teman Teknik Mesin 2018 (REACTOR 2018) yang telah memberikan dukungan dan semangat dalam menyelesaikan tugas akhir penulis.
9. Teman-teman seperjuangan terkhususnya Afifi Agung Pranoto, Muhammad Irvin Alif Hasan, dan Rheza Fajar Adiputra Madina yang telah memberikan bantuan, fasilitas, dan support dalam menyusun tugas akhir.
10. Rekan-rekan tim DMW, Rahmat Ramadan dan khususnya Bapak Abdul Wahab yang telah mendukung dari segi materi pada penelitian ini serta bekerja sama dalam pengambilan data.
11. Rekan-rekan Asisten Laboratorium Metalurgi Fisik.
12. Meyke Rupang selaku sahabat yang telah memberikan banyak inspirasi serta ide yang diberikan dalam penyusunan tugas akhir ini
13. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah membantu penulis dalam menyusun tugas akhir ini.

Akhir kata Dalam penulisan tugas akhir ini tentunya penulis menyadari bahwa masih jauh dari kesempurnaan. Penulis memohon maaf apabila terdapat kesalahan dalam penulisan. Oleh karena itu saran dan kritik yang membangun sangat diperlukan agar tugas akhir ini lebih baik lagi dan sekiranya dapat membantu pengembangan penelitian ini selanjutnya.

Gowa, 5 Oktober 2022

Penulis

ABSTRAK

Andi Almudai Cumaratunga (D021 18 1508) dibimbing oleh Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT dan Dr. Hairul Arsyad ST., MT. Pengelasan logam berbeda atau *Dissimilar Metal Welding* (DMW) merupakan perkembangan dari teknologi pengelasan akibat kebutuhan penyambungan material-material yang mempunyai jenis logam berbeda. DMW mempunyai tantangan di dunia industri karena perbedaan karakteristik dan komposisi dari kedua material yang berbeda.

Tujuan penelitian ini adalah menganalisa sifat kekerasan serta struktur mikro terhadap *non* PWHT dan PWHT pada DMW dengan elektroda E308L-16 (DMW:E308) dan pada DMW dengan elektroda E309Mo-17 (DMW:E309) antara baja ASTM A36 dengan baja AISI 316L.

Metode yang digunakan adalah pengelasan *Shield Metal Arc Welding* (SMAW) dengan arus 70 A, tegangan 27 V, elektroda E308L-16 Ø 2,6, dan elektroda E309Mo-17 Ø 2,6, kampuh V 60°, dan posisi pengelasan 1G. Kecepatan Pengelasan 2,47 mm/s untuk E308L-16 dan 3,69 mm/s untuk E309Mo-17, *heat input* 0,63 kJ/mm untuk E308L-16 dan 0,44 untuk E309Mo-17. PWHT dengan temperatur 400°C dan 600°C *holding time* 60 menit. Pengujian spesimen yang dilakukan yaitu pengujian kekerasan *micro vickers* dan struktur mikro.

Hasil pengujian menunjukkan nilai kekerasan DMW:E308 area *weld metal* sebesar 124,96 VHN dan mengalami perubahan setelah diberikan PWHT 400°C sebesar 121,63 VHN dan PWHT 600°C sebesar 106,69 VHN. Sedangkan nilai kekerasan DMW:E309 area *weld metal* sebesar 131,16 VHN dan mengalami perubahan setelah diberikan PWHT 400°C sebesar 125,29 VHN dan PWHT 600°C sebesar 122,04 VHN.

Berdasarkan hasil foto struktur mikro daerah logam las E309 menyatu lebih halus dengan logam induk ASTM A36 dan logam induk AISI 316L. Meskipun demikian, logam las E308 mampu menyatu dengan logam induk ASTM A36 dan logam induk AISI 316L. Struktur mikro yang terbentuk adalah δ -ferit yang terdiri dari *lacy Ferrite*, *vermicular ferrite*, dan *acicular ferrite*. δ -*ferrite* pada E308 yang dihasilkan lebih padat dibandingkan E309 yang terlihat longgar. Hal yang mempengaruhi keberadaan δ -*ferrite* pada logam las yaitu masukan panas (*heat input*) yang diberikan.

Kata Kunci: DMW, ASTM A36, AISI 316L, PWHT, kekerasan, struktur mikro

ABSTRACT

Andi Almudai Cumaratunga (D021 18 1508) supervised by Dr. eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT and Dr. Hairul Arsyad ST., MT. Dissimilar Metal Welding (DMW) is a development of welding technology due to the need for splicing materials that have different metal types. DMW has challenges in the industrial world because of the different characteristics and compositions of the two different materials.

The purpose of this study was to analyze the hardness and microstructure of non-PWHT and PWHT in DMW with electrodes E308L-16 (DMW:E308) and DMW with electrodes E309Mo-17 (DMW:E309) between ASTM A36 steel and AISI 316L steel.

The method used is Shield Metal Arc Welding (SMAW) with a current of 70 A, a voltage of 27 V, electrodes E308L-16 2,6, and electrodes E309Mo-17 2,6, V seam 60°, and welding position 1G. Welding Speed 2,47 mm/s for E308L-16 and 3,69 mm/s for E309Mo-17, heat input 0,63 kJ/mm for E308L-16 and 0,44 for E309Mo-17. PWHT with a temperature of 400°C and 600°C holding time 60 minutes. Specimen testing carried out is testing the micro vickers hardness and micro structure.

The test results showed that the hardness value of DMW:E308 in the weld metal area was 124,96 VHN and changed after being given PWHT 400°C of 121,63 VHN and PWHT of 600°C of 106,69 VHN. While the hardness value of DMW:E309 area of weld metal is 131,16 VHN and changes after being given PWHT 400°C of 125,29 VHN and PWHT 600°C of 122,04 VHN.

Based on the results of the microstructure photos, the weld metal E309 blends more smoothly with the ASTM A36 base metal and AISI 316L base metal. However, weld metal E308 is able to fuse with base metal ASTM A36 and base metal AISI 316L. The microstructure formed is -ferrite consisting of lacy ferrite, vermicular ferrite, and acicular ferrite. The resulting -ferrite in E308 is denser than E309 which looks loose. The thing that affects the presence of -ferrite in the weld metal is the heat input given. Meanwhile, DMW:E308 non-PWHT contains

Keyword: DMW, ASTM A36, AISI 316L, PWHT, hardness, microstructure

DAFTAR ISI

SAMPUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Baja Karbon	5
2.2. Baja Tahan Karat	8
2.3. Pengelasan	9
2.4. Pengelasan Logam Berbeda atau <i>Dissimilar Metal Welding (DMW)</i>	12
2.5. Perlakuan Panas (<i>Heat Treatment</i>).....	13
2.6. Minyak Kimia (Oli Dromus)	17
2.7. Pengujian Kekerasan dan Struktur Mikro.....	18
BAB III METODE PENELITIAN.....	23
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	23
3.2 Alat dan Bahan yang Digunakan	23
3.3 Tahap Pembuatan Spesimen.....	24
3.4 Tahap Pengujian	29
3.5 Diagram Aliran	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	32

4.1 Pengujian Kekerasan	32
4.2 Pengujian Struktur Mikro	38
BAB V PENUTUP.....	54
5.1 Kesimpulan.....	54
5.2 Saran	54
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN.....	58

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi Baja Karbon	5
Tabel 2.2 Komposisi kimia baja karbon ASTM A36.....	6
Tabel 2.3 Komposisi kimia baja tahan karat ASTM A240 tipe 316L.....	9
Tabel 2.4 Sifat mekanik elektroda.....	12
Tabel 2.5 Komposisi kimia elektroda.....	12
Tabel 2.6 Komposisi dan Sifat Kimia Oli Dromus	18
Tabel 3.1 Komposisi Kimia ASTM A36 & AISI 316L	24
Tabel 4.1 Data hasil pengujian <i>hardness</i> logam raw material.....	32
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Kekerasan Pengelasan Logam Berbeda (DMW) Elektroda E308 dan E309	33
Tabel 4.3 Hasil Pengujian kekerasan area <i>slip line</i> dan area normal pada DMW:E308 <i>non PWHT</i>	42

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram Fasa Fe ₃ C	8
Gambar 2.2 Meja Kerja Las	10
Gambar 2.3 Elektroda Las	11
Gambar 2.4 Proses Thermal PWHT	16
Gambar 2.5 Alat Uji Kekerasan Metode <i>micro Vickers</i>	20
Gambar 2.6 Struktur Mikro Permukaan Baja ASTM A36.....	21
Gambar 2.7 Struktur Mikro Permukaan Baja AISI 316L Hasil Carburizing pada Suhu 500°C	21
Gambar 2.8 Mikroskop optik untuk metalografi	22
Gambar 3.1 <i>hydraulic guillotine shear machine</i>	24
Gambar 3.2 Desain benda kerja pengelasan, (a) tampak depan ukuran benda/kerja, (b) ukuran V-groove.....	25
Gambar 3.3 Mesin Frais Kunzmann.....	25
Gambar 3.4 Mesin Las Miller.....	26
Gambar 3.5 Skema instalasi mesin las dan perlengkapan pengelasan metode SMAW	26
Gambar 3.6 Ukuran spesimen kekerasan menggunakan logam las E308	27
Gambar 3.7 Ukuran spesimen kekerasan menggunakan logam las E309	28
Gambar 3.8 Skema pengujian kekerasan.....	28
Gambar 4.1 Nilai kekerasan spesimen DMW menggunakan elektroda E308 untuk non PWHT dan PWHT	34
Gambar 4.2 Nilai kekerasan spesimen DMW menggunakan elektroda E309 untuk non PWHT dan PWHT	35
Gambar 4.3 Nilai kekerasan spesimen DMW menggunakan elektroda E308 dan 309 PWHT 400°C	36
Gambar 4.4 Nilai kekerasan pada <i>Weld Metal</i> DMW E308 dan DMW E309 untuk <i>non</i> PWHT dan PWHT disertai nilai ketangguhan yang diperoleh dari hasil penelitian Rahmat Ramadan	37
Gambar 4.5 Struktur Mikro DMW:E308 pada area logam induk ASTM A36 (a) Tanpa PWHT, (b) PWHT 400°C, (C) PWHT 600°C.....	38

Gambar 4.6 Struktur Mikro DMW:E308 pada area HAZ ASTM A36 (a) Tanpa PWHT, (b) PWHT 400°C, (C) PWHT 600°C	40
Gambar 4.7 Struktur Mikro DMW:E308 pada area <i>Weld Metal</i> (a) Tanpa PWHT, (b) Tanpa PWHT perbesaran 20 µm, (c) PWHT 400°C, (d) PWHT 600°C	41
Gambar 4.8 Struktur Mikro DMW:E308 pada area HAZ AISI 316L (a) Tanpa PWHT, (b) PWHT 400°C, (C) PWHT 600°C	43
Gambar 4.9 Struktur Mikro DMW:E308 pada area logam induk AISI 316L (a) Tanpa PWHT, (b) PWHT 400°C, (C) PWHT 600°C	44
Gambar 4.10 Struktur Mikro DMW:E309 pada area logam induk ASTM A36 (a) Tanpa PWHT, (b) PWHT 400°C, (C) PWHT 600°C.....	46
Gambar 4.11 Struktur Mikro DMW:E309 pada area HAZ ASTM A36 (a) Tanpa PWHT, (b) PWHT 400°C, (C) PWHT 600°C.....	47
Gambar 4.12 Struktur Mikro DMW:E309 pada area <i>Weld Metal</i> (a) Tanpa PWHT, (b) PWHT 400°C, (C) PWHT 600°C.....	48
Gambar 4.13 Struktur Mikro DMW:E309 pada area HAZ AISI 316L (a) Tanpa PWHT, (b) PWHT 400°C, (C) PWHT 600°C.....	50
Gambar 4.14 Struktur Mikro DMW:E309 pada area logam induk AISI 316L (a) Tanpa PWHT, (b) PWHT 400°C, (C) PWHT 600°C.....	52

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada era sekarang ini teknologi dalam bidang industri dan konstruksi mengalami perkembangan yang cukup signifikan dan cepat. Salah satu penerapan yang dilakukan untuk mencapai kebutuhan bidang tersebut adalah pengelasan. Pengelasan selalu digunakan untuk menciptakan, memperbaiki, memelihara, bahkan menyambungkan alat-alat yang terbuat dari logam. Hampir semua penyambungan logam dilakukan oleh metode pengelasan. Pengelasan adalah menyambungkan dua buah logam yang terpisah seperti baja sehingga menciptakan sebuah konstruksi (Abdul Hamid, 2016).

Seiring dengan perkembangan teknologi pada bidang industri konstruksi, pengelasan dibagi atas dua jenis, yaitu pengelasan logam sejenis dan pengelasan logam berbeda. Pengelasan logam berbeda atau pengelasan logam tidak sejenis atau *Dissimilar Metal Welding* (DMW) diaplikasikan pada pabrik semen, pusat pembangkit Listrik, bidang transportasi, pabrik kimia, dan bidang industri lainnya yang membutuhkan proses pengelasan logam berbeda (Simon Parekke, dkk, 2014).

DMW adalah proses pengelasan yang dilakukan terhadap dua jenis logam yang memiliki komposisi bahan yang berbeda. Pengelasan logam berbeda merupakan perkembangan dari teknologi las akibat kebutuhan penyambungan material-material yang mempunyai jenis logam berbeda. Pada proses pengelasan ini dibutuhkan pemilihan elektroda yang tepat, penggunaan arus yang tepat serta pemilihan sambungan menurut standar pengelasan untuk mencapai hasil pengelasan yang sempurna sesuai keinginan industri (Simon Parekke, dkk, 2014).

Salah satu metode pengelasan yang paling banyak digunakan untuk dunia industri secara umum adalah pengelasan busur listrik atau disebut

pengelasan *Shield Metal Arc Welding* (SMAW). Metode SMAW banyak digunakan karena penggunaannya simpel, pengoperasiannya tergolong mudah, dapat digunakan pada berbagai macam posisi pengelasan dan lebih efisien (Abdul Hamid, 2016).

Setelah melakukan pengelasan terhadap kedua material, material tersebut akan mengalami perubahan struktur mikro yang diakibatkan oleh pemanasan dan pendinginan. Struktur heterogen inilah yang menyebabkan adanya tegangan sisa. Efek yang timbul dari tegangan sisa ini adalah material menjadi keras namun memiliki ketangguhan yang rendah. Oleh karena itu, material harus mendapatkan perlakuan pemanasan dengan temperatur dan penahanan waktu (*Holding Time*) tertentu (Andripta Salwadi, dkk, 2019).

Untuk menghilangkan tegangan sisa tersebut dilakukan proses *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) yang merupakan perlakuan panas yang dilakukan pada hasil pengelasan atau proses perlakuan panas setelah pengelasan. Pemanasan tersebut dilakukan sampai mendapatkan temperatur yang diinginkan dengan laju pemanasan terkontrol dan juga dilakukan penahanan pada temperatur tersebut dengan tujuan untuk memberikan peluang agar terbentuk struktur yang teratur dan kompleks, kemudian dilakukan tahap pendinginan yang bertujuan untuk mencapai struktur dan sifat fisik maupun sifat mekanis yang diinginkan (Andripta Sawaldi, dkk, 2019).

Pendinginan dengan metode *quenching* (pendinginan cepat) perlu digunakan untuk meningkatkan kekerasan benda kerja yang akan diuji. Media *quenching* menggunakan oli dromus dengan tujuan benda kerja dapat menyerap panas lebih lambat dibandingkan dengan air namun lebih cepat dibandingkan dengan oli. Hal ini dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan oli dromus diharapkan benda kerja dapat menghindari terjadinya distorsi ataupun retak dan mendapatkan karakteristik kekerasan yang didapatkan mencapai distorsi maksimal.

Pada penelitian ini, penulis bermaksud meneliti kendala yang terjadi dalam pengelasan logam berbeda (ASTM A36 dengan AISI 316L) menggunakan metode pengelasan *Shield Metal Arc Welding* (SMAW) dengan menggunakan elektroda E308 dan E309, perlakuan setelah PWHT pada temperatur 400°C dan 600°C dengan menganalisa sifat kekerasan dan struktur mikro, serta oli dromus sebagai media pendinginan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang tersebut, maka rumusan masalah yang didapatkan adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perbedaan nilai kekerasan terhadap non PWHT dan PWHT pada DMW dengan menggunakan elektroda E308 dan E309 antara baja ASTM A36 dengan baja AISI 316L?
2. Bagaimana pengaruh non PWHT dan PWHT pada DMW antara baja ASTM A36 dengan baja AISI 316L terhadap struktur mikro?

1.3 Tujuan penelitian

Dari rumusan masalah yang telah terdapat di atas, maka tujuan penelitian tersebut adalah:

1. Menganalisis perbedaan nilai kekerasan terhadap non PWHT dan PWHT pada DMW dengan elektroda E308 dan E309 antara baja ASTM A36 dengan baja AISI 316L.
2. Menganalisis non PWHT dan PWHT pada DMW antara baja ASTM A36 dengan baja AISI 316L terhadap struktur mikro.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini, adalah sebagai berikut:

1. Material benda kerja yang digunakan adalah baja ASTM A36 dan baja AISI 316L.
2. Metode pengelasan yang digunakan adalah *Shield Metal Arc Welding* (SMAW) dengan arus 70 A, tegangan 27 V, elektroda E308L-16 Ø 2,6, dan elektroda E309Mo-17 Ø 2,6, kampuh V 60°, dan posisi pengelasan

1G. Kecepatan Pengelasan 2,47 mm/s untuk E308L-16 dan 3,69 mm/s untuk E309Mo-17, *heat input* 0,63 kJ/mm untuk E308L-16 dan 0,44 kJ/mm untuk E309Mo-17.

3. Proses *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) dengan masing-masing temperatur 400°C dan 600°C *Holding time* 60 menit dengan media pendinginan Oli dromus.
4. Pengujian material yang digunakan adalah pengujian kekerasan dan struktur mikro.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi peneliti

Penelitian ini merupakan bentuk pengaplikasian dari teori yang didapatkan selama di bangku perkuliahan serta merupakan bentuk dari pengembangan kemampuan dan keterampilan penelitian serta memberikan kontribusi pemikiran dalam ilmu material, dan sebagai pemenuhan syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada program studi Teknik Mesin Universitas Hasanuddin.

2. Bagi pembaca

Penelitian ini dapat dijadikan untuk menambah wawasan dan pengetahuan tentang nilai kekerasan dan struktur mikro terhadap pengaruh PWHT dengan variasi temperatur pada pengelasan logam berbeda menggunakan metode pengelasan SMAW dengan media pendingin oli dromus.

3. Bagi Departemen Teknik Mesin

Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai referensi di kepustakaan pada bidang ilmu bahan dan dapat dijadikan sebagai acuan untuk pengembangan penelitian lebih lanjut.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Baja Karbon

Baja Karbon merupakan logam yang terdiri atas unsur utama besi murni (Fe) dan karbon (C). namun apabila ada penambahan satu atau lebih logam yang ditambahkan ke dalam baja karbon dengan jumlah yang cukup, maka akan memperoleh sifat baja yang baru. Hasil ini dikenal dengan baja paduan. unsur paduan logam yang paling sering digunakan adalah mangan (Mn), silikon (Si), Nikel (Ni), Kromium (Cr), Vanadium (V), dan unsur lain yang terkandung dalam persentasi yang sangat kecil. Unsur tersebut akan berpengaruh tergantung besarnya komposisi yang ada dalam baja karbon tersebut (Yudha Kurniawan Afandi, dkk. 2015).

Tabel 2.1 Klasifikasi Baja Karbon (Harsono Wiryo Sumarto & Toshie Okumura, 200)

Jenis dan Kelas		Kadar Karbon (%)	Kekuatan luluh (kg/mm)	Kekuatan Tarik (kg/mm)	Per-panjangan (%)	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 karbon sedang	↑ Baja lunak	0,12-0,20	22-30	38-48	36-24	100-130	Konstruksi umum
	↓ Baja setengah lunak	0,20-0,30	24-36	44-55	32-22	112-145	
Baja karbon tinggi	↑ Baja setengah keras	0,30-0,40	30-40	50-60	30-17	140-170	Alat-alat mesin
	↓ Baja keras	0,40-0,50	34-46	58-70	26-14	160-200	Perkakas
	↓ Baja sangat keras	0,50-0,80	36-47	65-100	20-11	180-235	Rel, Pegas, dan kawat piano

2.1.1 Baja Karbon Rendah ASTM A36

Baja ASTM A36 adalah baja karbon rendah yang memiliki kekuatan yang baik dan juga ditambah dengan sifat baja yang dapat berubah bentuk dengan menggunakan mesin dan juga dapat dilakukan pengelasan. namun disamping itu, memiliki sifat yang sangat mudah untuk beroksidasi hingga menyebabkan karat (Andik Suprayogi & Prantasi Harmi Tjajanti, 2017).

Tabel 2.2 Komposisi kimia baja karbon ASTM A36 (ASTM A 36/A 36M – 04, 2003)

Bentuk	Ketebalan, inci, (mm)	Komposisi kimia					
		C max. %	Mn. %	P max. %	S max. %	Si %	Cu min. %
Plat	~ ¾" (20)	0,25	...	0,04	0,05	0,40 max	0,20
	¾" ~ 1,5" (20~40)	0,25	0,80-1,20	0,04	0,05	0,40 max	0,20
	1,5" ~ 2,5" (40~65)	0,26	0,80-1,20	0,04	0,05	0,15-0,40	0,20
	2,5" ~ 4" (65~100)	0,27	0,80-1,20	0,04	0,05	0,15-0,40	0,20
	> 4" (100)	0,29	0,85-1,20	0,04	0,05	0,15-0,40	0,20
Batang	~ ¾" (20)	0,26	...	0,04	0,05	0,40 max	0,20
	¾" ~ 1,5" (20~40)	0,27	0,60-0,90	0,04	0,05	0,40 max	0,20
	1,5" ~ 4" (100)	0,28	0,60-0,90	0,04	0,05	0,40 max	0,20
	1,5" ~ 2,5" (40~65)	0,29	0,60-0,90	0,04	0,05	0,40 max	0,20

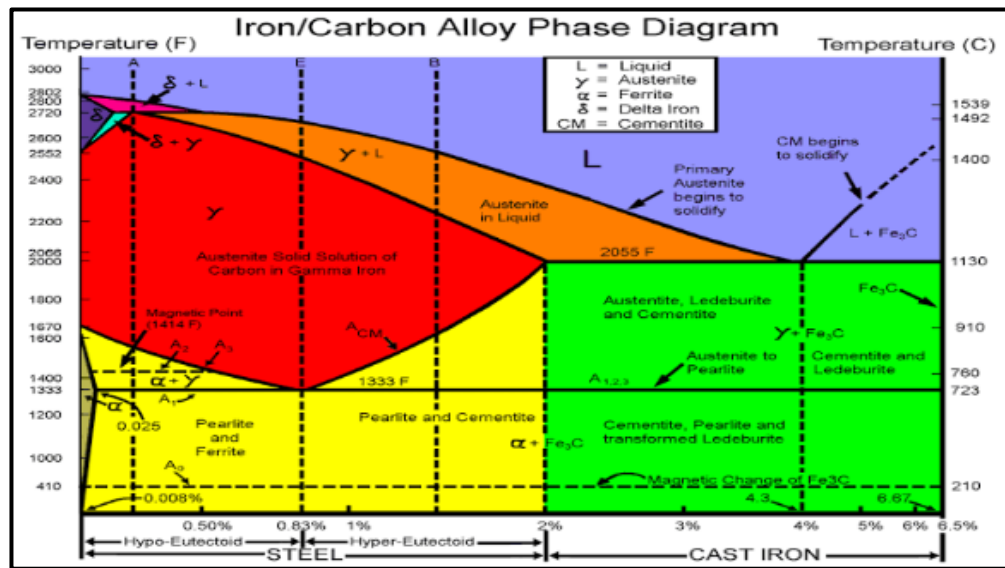
2.1.2 Diagram Fasa Kestimbangan Fe-Fe₃C

Fasa didefinisikan sebagai bagian dari bahan yang memiliki struktur atau komposisi tersendiri. Diagram fasa Fe-C atau biasa disebut diagram kestimbangan besi karbon merupakan diagram yang menjadi parameter untuk mengetahui segala jenis fasa yang terjadi di dalam baja dengan segala perlakuannya. Konsep dasar dari diagram fasa adalah mempelajari bagaimana hubungan antara besi dan paduannya dalam keadaan setimbang. Hubungan ini dinyatakan dalam temperatur dan

komposisi, setiap perubahan komposisi dan perubahan temperatur akan mempengaruhi struktur mikro.

Pada diagram *fasa Fe-C* yang ditampilkan muncul larutan padat (α , γ ,) atau disebut besi *delta* (δ), *austenit* (γ) dan *ferit* (α). *Ferit* mempunyai struktur kristal *Body Centered Cubic* (BCC) dan *austenit* mempunyai struktur kristal *Face Centered Cubic* (FCC) sedangkan besi *delta* (δ) mempunyai struktur kristal FCC pada temperatur tinggi. Apabila kandungan karbon melebihi batas daya larut, maka akan membentuk *fasa* kedua yang disebut karbida besi atau *sementite*. 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 *sementite* yang keras. Pada gambar di bawah ini merupakan gambar diagram fasa Fe_3C .

Pada gambar 2.1 menunjukkan bahwa pada temperatur sekitar $727^\circ C$ terjadi temperatur transformasi *austenite* menjadi fasa *pearlite* (gabungan fasa *ferrite* dan *sementite*). Transformasi fasa ini dikenal sebagai reaksi *eutektoid* dan merupakan dasar proses perlakuan panas pada baja. Kemudian pada temperatur antara $912^\circ C$ dan $1394^\circ C$ merupakan daerah besi *gamma* (γ) atau disebut *austenit*. Pada kondisi tersebut biasanya austenit bersifat stabil, lunak, ulet, mudah dibentuk dan memiliki struktur kristal *Face Centered Cubic* (FCC). Besi *gamma* tersebut dapat melarutkan karbon dalam jumlah besar yaitu sekitar 2,11% maksimum pada temperatur sekitar $1148^\circ C$. Besi BCC dapat melarutkan karbon dalam jumlah yang sangat rendah, yaitu sekitar 0,77% maksimum pada temperatur $727^\circ C$.



Gambar 2.1 Diagram Fasa Fe₃C (Andripta Sawaldi, dkk. 2019)

2.2. Baja Tahan Karat

Baja tahan karat atau dikenal sebagai *Stainless Steel* adalah penggabungan paduan besi (Fe), Karbon (C), dan mengandung sekitar 10% kromium (Cr) sebagai unsur pemadu utamanya. Unsur Cr berfungsi untuk mencegah terjadinya korosi pada logam. Kemampuan tahan karat didapatkan dari struktur lapisan oksida khrom yang menghalau proses oksidasi besi di permukaan baja tahan karat. Jenis baja tahan karat yang banyak di pasaran seperti SS 201, SS 304, SS 316, SS 316L dan lain-lain, di mana semakin tinggi kode serinya maka baja tahan karat akan semakin bagus dalam penahanan terjadinya korosi. Perawatan baja tahan karat sangat mudah tidak seperti baja yang dicat atau dikhrom. Baja tahan karat hanya perlu dilap untuk mengembalikan kilapnya seperti semula (Ahmad Zayadi, dkk. 2021).

Klasifikasi baja tahan karat didasarkan pada kandungan khrom (Cr), namun unsur paduan lainnya ditambahkan untuk memperbaiki perilaku baja tahan karat sesuai pengaplikasiannya. Baja tahan karat terbagi menjadi lima golongan, yaitu:

- a. Baja tahan karat austenitik
- b. Baja tahan karat feritik

- c. Baja tahan karat martensitik
- d. Baja tahan karat duplex
- e. Baja tahan karat *Precipitacion Hardening*

Tabel 2.3 Komposisi kimia baja tahan karat ASTM A240 tipe 316L
(ASTM A240/240M-05, 2005)

Tipe	316L
Kandungan C	0,03
Kandungan Mn	2,0
Kandungan P	0,045
Kandungan S	0,03
Kandungan Si	0,75
Kandungan Cr	16,0-18,0
Kandungan Ni	10,0-14,0
Kandungan Mo	2,0-3,0
Kandungan N	0,1

2.3. Pengelasan

Berdasarkan definisi dari *American Welding Society* (AWS) pengelasan adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dari definisi tersebut dapat diketahui bahwa pengelasan adalah sambungan kedua logam dengan menggunakan energi panas (Fajar Riyadi, dkk. 2011)

2.3.1 Las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)

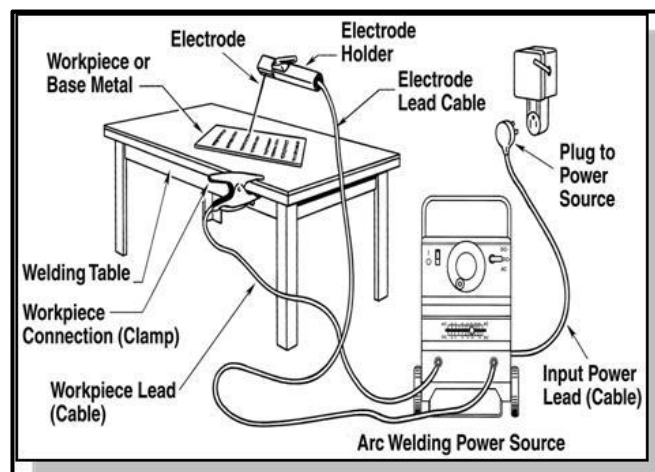
Las SMAW (sheilded metal arc welding) las busur listrik nyala terlindung adalah pengelasan dengan menggunakan busur nyala listrik sebagai sumber panas pencair logam (Saifuddin A. Jalil, dkk. 2017).

Logam induk dalam pengelasan ini mengalami pencairan akibat pencairan yang timbul antara ujung elektroda dan permukaan benda

kerja. Busur listrik dibangkitkan dari suatu busur las. Elektroda yang digunakan berupa kawat yang dibungkus pelindung berupa fluks. Elektroda ini selama pengelasan mengalami pencairan bersamaan dengan logam induk dan embeku bersama, menjadi kampuh las (Saifuddin A. Jalil, dkk. 2017).

Proses perpindahan logam elektroda terjadi saat ujung elektroda mencair dan membentuk butirbutir yang terbawa arus busur listrik yang terjadi. Bila digunakan arus listrik besar maka butiran logam cair yang terbawa menjadi halus dan sebaliknya bila arus kecil maka butirannya menjadi besar (Saifuddin A. Jalil, dkk. 2017).

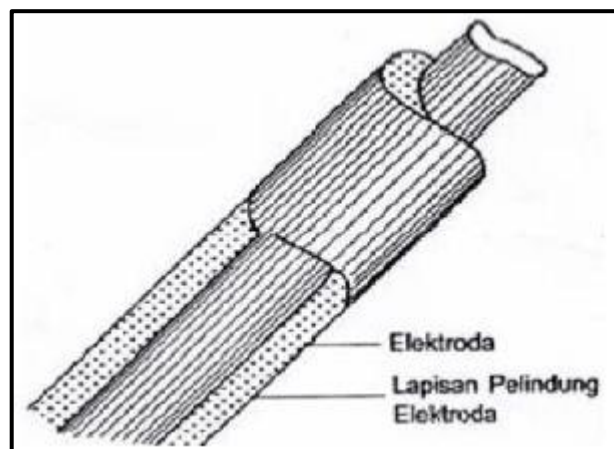
Proses pengelasan dengan mencairkan material dasar yang menggunakan panas dari listrik antara penutup metal (elektroda). SMAW merupakan pekerjaan manual dengan peralatan meliputi *power source*, kabel elektroda (*electrode cable*), kabel kerja (*work cable*), *electrode holder*, *work clamp*, dan elektroda. Elektroda dan sistem kerja adalah bagian dari rangkaian listrik. Rangkaian dimulai dengan sumber daya listrik dan kabel termasuk pengelasan, pemegang elektroda, sambungan benda kerja, benda kerja (*weldment*), dan elektroda las. Salah satu dari dua kabel dari sumber listrik terpasang ke meja pengelasan, selebihnya melekat pada pemegang elektroda, seperti yang terlihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.2 Meja Kerja Las (Arifin, 2019)

2.3.2. Elektroda

Pengelasan dengan menggunakan las busur listrik memerlukan kawat las (elektroda) yang terdiri dari suatu inti terbuat dari suatu logam di lapisi oleh lapisan yang terbuat dari campuran zat kimia. Pengelasan dengan menggunakan las busur listrik memerlukan kawat las (elektroda) yang terdiri dari suatu inti terbuat dari suatu logam di lapisi oleh lapisan yang terbuat dari campuran zat kimia. Gambar dibawah ini adalah gambar elektroda las dengan lapisan pelindung elektroda (Anggaretno dkk., 2012).



Gambar 2.3 Elektroda Las (Anggaretno dkk., 2012)

Elektroda baja lunak dan baja paduan rendah untuk las busur listrik menurut klasifikasi AWS (*American Welding Society*) dinyatakan dengan tanda E XXXX yang artinya sebagai berikut: E menyatakan elektroda busur listrik, XX (dua angka) sesudah E menyatakan kekuatan tarik. X (angka ketiga) menyatakan posisi pengelasan. Angka 1 untuk pengelasan segala posisi. Angka 2 untuk pengelasan posisi datar di bawah tangan. X (angka keempat) menyatakan jenis fluks dan jenis arus yang cocok dipakai untuk pengelasan (Anggaretno dkk., 2012).

Tabel 2.4 Sifat mekanik elektroda (AWS A5.4/A5.4M:2006)

Jenis Elektroda	Tensile Strength		Elongation (%)	Heat Treatment
	ksi	Mpa		
E 308L	75	520	35	None
E 309Mo-17	80	550	30	None

Tabel 2.5 Komposisi kimia elektroda (AWS A5.4/A5.4M:2006)

% Alloy	C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	S	P	Cu
E 308L	0,04	18,0-21,0	9,0-11,0	0,75	0,5-2,5	1,00	0,03	0,04	0,75
E 309Mo-17	0,12	22,0-25,0	12,0-14,0	2,0-3,0	0,5-2,5	1,00	0,03	0,04	0,75

2.4. Pengelasan Logam Berbeda atau *Dissimilar Metal Welding* (DMW)

DMW adalah suatu proses pengelasan yang dilakukan pada dua jenis logam atau paduan logam yang berbeda. Pengelasan logam berbeda (*dissimilar metal welding*) merupakan perkembangan dari teknologi las modern akibat dari kebutuhan akan penyambungan material-material yang memiliki jenis logam yang berbeda. Pemilihan elektroda dan penggunaan arus yang tepat serta pemilihan jenis sambungan menurut standar pengelasan sangat dibutuhkan untuk mendapatkan hasil pengelasan yang sempurna. Metalurgi pengelasan baja tahan karat AISI 316L disambung dengan baja karbon AISI 1045 dapat dilihat dengan menggunakan diagram *Schaeffler* (Sonawan dkk., 2006).

Pada mulanya diagram *Schaeffler* ditujukan untuk menyeleksi elektroda austenitik untuk DMW, namun dapat juga digunakan untuk menentukan struktur mikro logam induk dan logam las. Jenis *filler metal* yang sangat cocok untuk menyambung dua logam berbeda menurut diagram *Schaeffler* direkomendasikan menggunakan elektroda *stainless steel* jenis E 309Mo-17. Proses DMW kebanyakan digunakan dalam bidang-bidang

industri, seperti: pabrik semen, pusat pembangkit listrik, bidang transportasi, pabrik kimia, dan bidang industri lainnya yang membutuhkan proses pengelasan logam berbeda.

Permasalahan yang dihadapi pada penggabungan dua logam berbeda adalah perbedaan titik lebur, koefisien muai, sifat fisis dan mekanis dari logam tersebut. Pengenceran logam las (*dilution*) dan pembentukan senyawa intermetalik pada antar muka dapat menyebabkan terjadinya perpatahan. Dengan adanya perbedaan tersebut maka pengelasan kedua logam yang berbeda memerlukan suatu prosedur pengelasan yang baik agar didapat mutu las yang maksimal (Wiryosumarto, 2006).

2.5. Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)

Perlakuan panas (*Heat Treatment*) adalah proses pemanasan, penahanan temperatur tertentu, dan pendinginan pada suatu baja untuk memperoleh perbedaan kombinasi sifat-sifat mekanik. Perlakuan panas dilakukan di dalam tungku listrik dengan pengontrolan temperatur yang tepat dan pendinginan kesuatu media pendingin sesuai dengan kondisi dan spesifikasi bajanya (Syamsul Hadi, 2016).

Sifat-sifat logam terutama sifat mekanik yang sangat dipengaruhi oleh struktur mikrologam disamping posisi kimianya, 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 (Daryanto, 2010).

2.5.1 Jenis jenis Heat Treatment

a. Quenching

Proses *quenching* atau pengerasan baja adalah suatu proses pemanasan logam sehingga mencapai batas austenit yang homogen. Untuk mendapatkan kehomogenan ini maka austenit perlu waktu pemanasan yang cukup. Selanjutnya secara cepat baja tersebut

dicelupkan ke dalam media pendingin, tergantung pada kecepatan pendinginan yang kita inginkan untuk mencapai kekerasan baja.

Pada waktu pendinginan yang cepat pada fase austenit tidak sempat berubah *ferrite* dan *pearlite* karena tidak ada kesempatan bagi atom-atom karbon yang telah larut dalam *austenite* untuk mengadakan pergerakan difusi dan bentuk *sementite* toleh karena itu terjadi fase *martensite*. Ini berupa fase yang sangat keras dan bergantung pada keadaan karbon.

b. *Annealing*

Proses *annealing* atau melunakkan baja adalah proses pemanasan baja di atas temperatur kritis (723°C), selanjutnya dibiarkan beberapa lama sampai temperatur merata. Kemudian disusul dengan pendinginan secara perlahan-lahan sambil dijaga agar temperatur bagian luar dan dalam kira-kira sama hingga diperoleh struktur yang diinginkan dengan menggunakan media pendingin udara. Tujuan proses *annealing* adalah melunakkan material logam, menghilangkan tegangan dalam / sisa, dan memperbaiki butir-butir logam

c. Normalizing

Normalizing adalah suatu proses pemanasan logam hingga mencapai fase austenit yang kemudian didinginkan secara perlahan-lahan dalam media pendingin udara. Hasil pendinginan ini berupa perlit dan ferit namun hasilnya jauh lebih halus dari *annealing*. Prinsip dari proses *normalizing* adalah untuk melunakkan logam.

Normalizing dilakukan untuk mendapatkan struktur mikro dengan butir yang halus dan seragam. Proses ini diartikan sebagai pemanasan dan mempertahankan pemanasan pada temperatur yang sesuai batas perubahan. Kemudian diikuti dengan pendinginan secara bebas didalam udara luar.

d. Tempering

Proses *tempering* adalah pemanasan baja sampai temperatur sedikit di bawah temperatur kritis, kemudian didiamkan dalam tungku dan temperaturnya dipertahankan sampai merata selama 15 menit. Selanjutnya didinginkan dalam media pendingin. Jika kekerasan turun, maka kekuatan tarik juga turun pula. Dalam hal ini keuletan dan ketangguhan baja akan meningkat. Meskipun proses ini akan menghasilkan baja yang lebih lemah. Proses ini berbeda dengan *annealing* karena dengan proses ini belum tentu memperoleh baja yang lunak, mungkin berupa pengerasan dan ini tergantung oleh kadar karbon (Daryanto, 2010).

2.5.2 Post Weld Heat Treatment (PWHT)

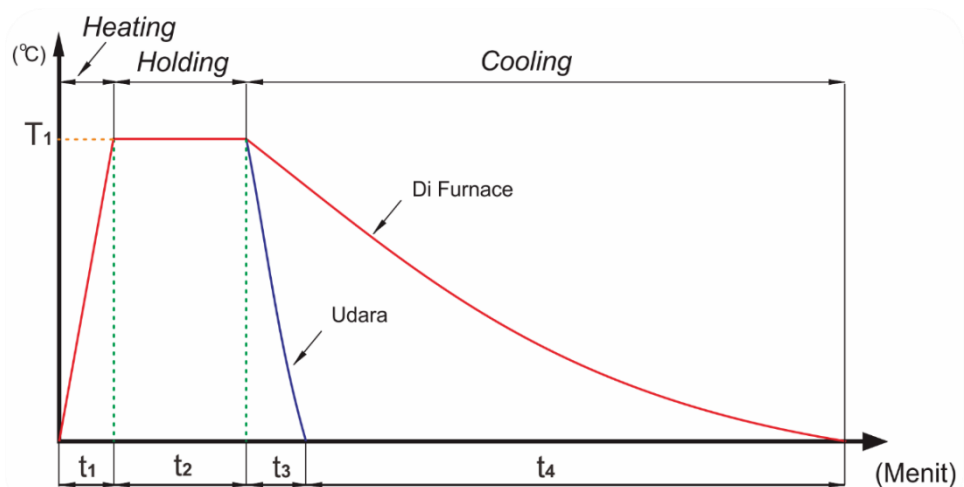
Post Weld Heat Treatment adalah proses pemanasan dan pendinginan pada logam untuk mendapatkan sifat- sifat tertentu yang diperlukan untuk suatu konstruksi, misalnya kekuatan (*strength*), kelunakan (*softness*), memperhalus ukuran butir. Beberapa perlakuan panas (*heat treatment*) dapat diterapkan setelah pekerjaan pengelasan selesai. Perlakuan panas setelah las sering dilaksanakan untuk tujuan menghilangkan tegangan sisa. *ASME Boiler Pressure Vessel Code* menyebut perlakuan panas setelah las dengan *post weld heat treatment* (PWHT), dimana istilah ini lebih disukai pada pengelasan *pressure vessel* dan konstruksi pipa. PWHT kadang-kadang disebut juga dengan membuang tegangan (*stress relief*) dan bisa juga disebut dengan tempering. PWHT bisa diterapkan pada seluruh pengelasan atau hanya setempat. PWHT dilakukan karena alasan seperti berikut ini (Vlack, 1981):

- a. Mengurangi tegangan sisa (*residual stress*).
- b. Mengurangi kekerasan di daerah pengelasan dan daerah *Heat Affected Zone* (HAZ).
- c. Meningkatkan ketangguhan (*toughness*).
- d. Mengeluarkan hydrogen dari logam las.

- e. Menghindarkan kerja dingin dari logam las.
- f. Meningkatkan keuletan (*ductility*).
- g. Meningkatkan daya tahan terhadap retak karena faktor lingkungan (*environmental cracking*) dan serangan karat.
- h. Meningkatkan stabilitas dimensional selama *machining*.

Prinsip dasar proses PWHT adalah:

- a. *Heating* merupakan proses pemanasan sampai temperatur diatas atau dibawah temperatur kritis suatu material.
- b. *Holding* adalah menahan material pada temperatur pemanasan untuk memberikan kesempatan adanya perubahan struktur mikro.
- c. *Cooling* adalah mendinginkan dengan kecepatan tertentu tergantung pada sifat akhir material yang diinginkan.



Gambar 2.4 Proses Thermal PWHT (Sadminto, 1999)

PWHT bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanik dari logam, meningkatkan ketahanan korosi terutama korosi tegangan, dan memperkecil pengaruh terjadinya retak pada daerah las.

Pada dasarnya ada dua cara yang dapat dilakukan pada saat memberikan perlakuan panas pada material hasil las, yaitu dengan memasukkan benda uji ke dapur (*furnace*) atau dengan melakukan pemanasan setempat (*localized*) yang dekat dengan daerah las. Dalam

melakukan PWHT banyak hal yang harus diperhatikan agar tujuan PWHT dapat tercapai. Hal-hal yang harus diperhatikan sebagai berikut:

- a. *Expansion area*: karena proses panas akan mengakibatkan terjadinya pemuaian dan ekspansi material. Maka dari itu harus diperhatikan bahwa saat *stress relieve* tersebut tidak mengalami *restraint*.
- b. Insulasi: pada saat element sudah dipasangkan dengan benar, selanjutnya area disekitar (*adjacent*) element harus ditutup dengan menggunakan kowool atau keramik fiber untuk temperatur tetap terjaga.
- c. *Cleaning material*: material yang diproses harus bersih dari segala grease / oli.

Support material: pada proses pemanasan yang dilakukan, hasilnya akan menyebabkan terjadinya pelunakan material, dengan adanya gaya gravitasi maka material yang di *post weld heat treatment* harus diberikan support sehingga tidak terjadi *distorsion* (Novemry Yusuf, 2008).

2.6. Minyak Kimia (Oli Dromus)

Oli Dromus sebagai media pendingin dalam proses pemesinan merupakan salah satu yang digunakan ketika proses pemesinan, media pendingin dalam proses pemesinan mempunyai aneka ragam variasi jenis penggunaannya, jika di lihat dari fungsi media pendingin pada umumnya, ada yang digunakan untuk membersihkan benda, anti koros, melumasi benda, dan bahkan pemisah antara beram dan benda. Namun secara umum dapat dikatakan bahwa fungsi utama dari media pendingin untuk melumasi dan mendinginkan.

Minyak kimia (*Dromus oil*) merupakan suatu minyak mineral hasil penyulingan dan adiptif yang komposisi dan sifat kimianya tertera pada tabel 2.6. Oli dromus memberikan pendinginan yang sangat baik, pelumasan dan perlindungan karat digunakan dalam berbagai pengerolan dan pengerjaan mesin terutama dalam proses pemesinan perkakas. Oli dromus mempunyai kelarutan tingkat tinggi terhadap air sehingga dapat diemulsikan

dengan rasio air, selain itu oli dromus juga tidak memiliki ampas ataupun larutan yang kasar yang dapat merusak alat potong dan juga spesimen benda kerja. Oli dromus biasanya dicampur dengan air sebanyak 5:1 sampai 10:1 misalnya 5 liter air dicampur dengan 1 liter oli dromus, dengan demikian sangat memungkinkan dimanfaatkan sebagai pendinginan pada besi saat terjadinya pemakanan pada proses pengerjaan berlangsung.

Tabel 2.6 Komposisi dan Sifat Kimia Oli Dromus (Karmin & Muchtar Ginting, 2012)

No	Komposisi Kimia		Sifat Kimia
	Nama	Proporsi	Initial boiling point :> 100°C
1	Sodium sulphonate	1-4,9 %	Flash point :> 100°C
2	Polyolefin ether	1-3 %	Auto-Ignetion temperature : above 320°C
3	Alkyl amide	1-3 %	Density : 930 kg/m ³ at 150°C
4	Long chain alkenyl amide borate	1-2,4 %	Kinematic viscositty 400 mm ² /sec

2.7. Pengujian Kekerasan dan Struktur Mikro

2.7.1. Uji Kekerasan

Kekerasan adalah ukuran ketahanan bahan terhadap deformasi oleh indentasi permukaan. Standar yang umum untuk indenter adalah Brinnel, Vickers, dan Rockwell.

Uji kekerasan brinnel menggunakan bola baja yang dikeraskan dan ditekankan pada permukaan selama 10-15 detik dengan standar gaya. Setelah beban dan bola baja diangkat, diameter *indentation* diukur. Brinnel Hardness Number (HB) diperoleh dengan membagi gaya yang diberikan pada permukaan (P) dengan luas permukaan lengkung bekas injakan (A).

$$HB = \frac{P}{A} (kg/mm^2)$$

Dimana untuk mencari nilai A sebagai berikut:

$$A = \frac{\pi D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2}) \text{ kg/mm}^2$$

Jadi, untuk mencari nilai HB sebagai berikut:

$$HB = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Dengan : P = gaya yang diberikan

D = diameter indenter

d = diameter indentasi

Uji kekerasan Vickers menggunakan indenter intan (*diamond*) berbentuk piramida dengan sudut puncak 136° dengan pemberian gaya pada permukaan selama 10-15 detik. Setelah beban dan bola diangkat, diagonal-diagonal bekas injakan diukur. Vickers Hardness Number (VB) didapat dengan membagi gaya yang diberikan pada permukaan dengan permukaan bekas injakan.

$$HV = \frac{P}{A} (\text{kg/mm}^2)$$

Dimana untuk mencari nilai A sebagai berikut:

$$A = \frac{d^2}{2 \sin 68^\circ} \text{ mm}^2$$

Jadi, untuk mencari nilai HV sebagai berikut:

$$HV = 1,854 P/d^2$$

Uji kekerasan Rockwell berbeda dengan uji keras brinell maupun Vickers yang mengukur luas indentasi. Dalam pengujian Rockwell, mengukur kedalaman indentasinya yang langsung diidentifikasi dengan suatu skala yang telah dikalibrasi. Beban awal diberikan untuk menekan indenter kontak pada permukaan spesimen. Lebih lanjut diberikan gaya, sehingga indenter menekan masuk (penetrasi) ke permukaan spesimen. Perbedaan penetrasi kedalaman akhir dan kedalaman awal sebagai penetrasi akibat gaya tambahan (*additional load*).

$$HB = E - e$$

Dengan : E = konstanta yang ditentukan oleh bentuk indenter.

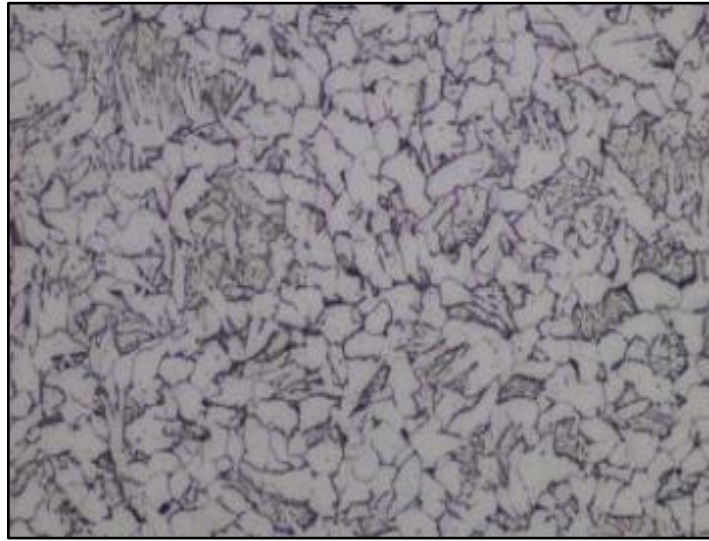
e = kedalaman penetrasi permanen karena beban utama (F1) diukur.



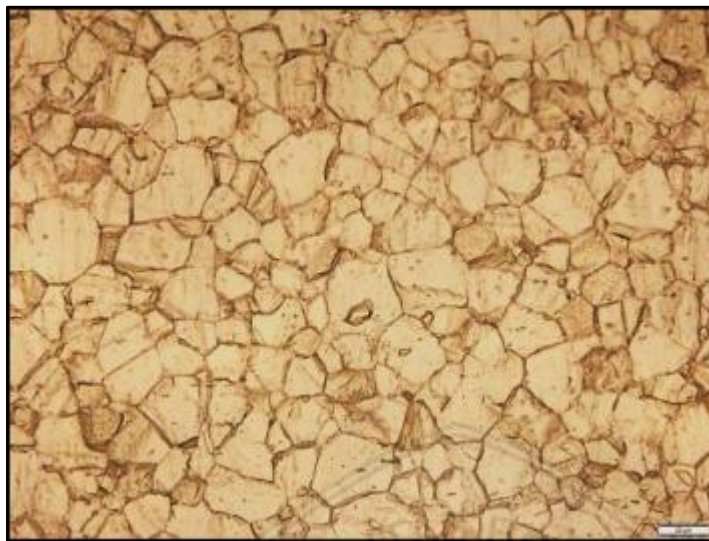
Gambar 2.5 Alat Uji Kekerasan Metode *Micro Vickers* (Lab. Metalurgi Fisik UNHAS)

2.7.2 Uji Struktur Mikro

Metalografi adalah studi fisik dan komponen logam yang menggunakan mikroskop atau mengetahui perkiraan sifat-sifat fisik dengan mengenali ciri-ciri khusus dari struktur mikronya ataupun sebagai karakteristik bahan. Contoh foto struktur mikro pearlite besi cor kelabu sebagaimana pada Gambar 2.19 berikut.



Gambar 2.6 Struktur Mikro Permukaan Baja ASTM A36 (Danny Wicaksono, dkk, 2021)

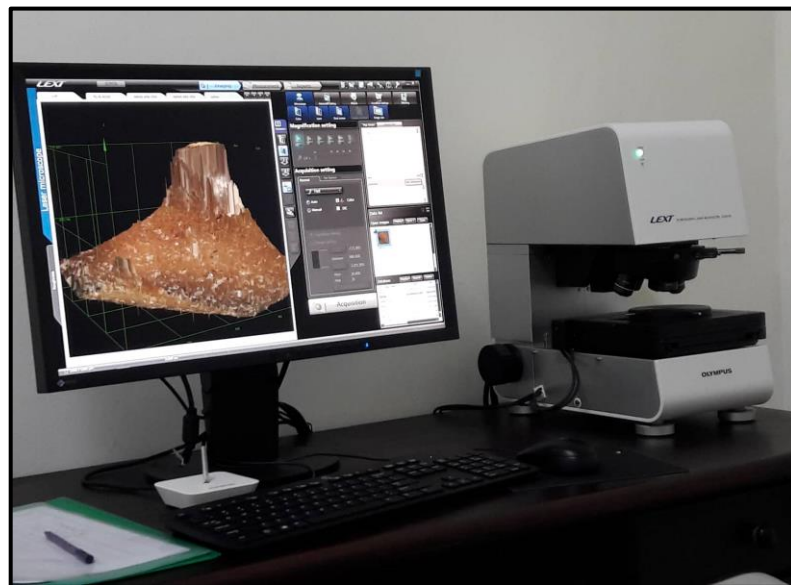


Gambar 2.7 Struktur Mikro Permukaan Baja AISI 316L Hasil *Carburizing* pada Suhu 500°C (Adin Lutfi Nursela, 2018).

Henry Clifton Sorby ilmuwan abad 19 merintis produksi besi dan baja modern di Sheffield (UK) menyatakan bahwa terdapat hubungan erat antara struktur mikro dan sifat makroskopik, dan menjelang akhir hayatnya mengatakan, “jika terjadi kecelakaan kereta api, maka perusahaan harus mengambil rel kereta api untuk diperiksa dengan mikroskop dan saya dianggap sebagai orang sehat yang dikirim

ke rumah sakit jiwa, tetapi itu adalah apa yang sekarang sedang dilakukan”.

Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan mikroskop logam sebagaimana pada Gambar 2.10. Mikroskop optik untuk logam dengan posisi spesimen menghadap ke atas (normal) dan posisi spesimen menghadap kebawah (*inverted*). Bedanya dengan mikroskop biologi/kedokteran adalah pada penerangan dilakukan dari atas spesimen, karena spesimen logam tidak transparan (*translucent*), sehingga tidak mungkin diberi penerangan dari arah bawah (Syamsul Hadi, 2016).



Gambar 2.8 Mikroskop optik untuk metalografi (Lab. Metalurgi Fisik UNHAS).