

SKRIPSI

**ANALISA KEKUATAN IMPAK DAN STRUKTUR MIKRO
PENGELASAN LOGAM BERBEDA ASTM A36 DAN AISI 316L
SETELAH PWHT**

OLEH:
RAHMAT RAMADAN
D021 18 1320



**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2022**

SKRIPSI

**ANALISA KEKUATAN IMPAK DAN STRUKTUR MIKRO
PENGELASAN LOGAM BERBEDA ASTM A36 DAN AISI
316L SETELAH PWHT**

Disusun dan diajukan oleh:

RAHMAT RAMADAN

D211 18 320

Merupakan Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

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 17 Agustus 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

JUDUL:

**ANALISA KEKUATAN IMPAK DAN STRUKTUR MIKRO
PENGELASAN LOGAM BERBEDA ASTM A36 DAN AISI 316L**

SETELAH PWHT

RAHMAT RAMADAN

D211 18 320

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

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

NIP. 19740415 199903 1 001

Dr. Hairul Arsvad, 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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : RAHMAT RAMADAN
NIM : D211 18 320
Program Studi : Teknik Mesin
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

ANALISA KEKUATAN IMPAK DAN STRUKTUR MIKRO PENGELASAN LOGAM BERBEDA ASTM A36 DAN AISI 316L SETELAH PWHT

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa Sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 17 Agustus 2022

Yang Menyatakan



RAHMAT RAMADAN

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan karunia-Nyalah penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisa Kekuatan Impak dan Struktur Mikro Pengelasan Logam Berbeda ASTM A36 dan AISI 316L setelah PWHT”. Adapun maksud dan tujuan dari penulisan skripsi ini adalah untuk memenuhi syarat menyelesaikan tugas akhir Strata satu Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Selama penelitian dan penulisan skripsi ini banyak sekali hambatan yang penulis alami, namun berkat bantuan, dorongan serta bimbingan dari berbagai pihak, akhirnya skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.

Penulis beranggapan bahwa skripsi ini merupakan karya terbaik yang dapat penulis persembahkan. Tetapi penulis menyadari bahwa tidak tertutup kemungkinan didalamnya terdapat kekurangan-kekurangan. Oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi para pembaca pada umumnya.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis banyak mendapatkan bantuan, bimbingan serta petunjuk dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada yang terhormat:

1. Kedua orang tua saya, ayahanda Drs. H. Sudirman Nabong dan Ibunda Ir. Hj. Fatimah Muhammad yang sangat berjasa bagi saya
2. Bapak Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT selaku dosen pembimbing pertama sekaligus dosen pembimbing akademik yang telah memberikan bimbingan, arahan, dorongan kepada penulis sehingga penyusunan skripsi ini berjalan dengan baik.

3. Bapak Dr. Hairul Arsyad, ST., MT selaku dosen pembimbing kedua saya atas segala bimbingan dan saran kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Eng. Jalaluddin, ST, MT, selaku Ketua Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Bapak dan ibu dosen serta Staf Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Tim peneliti *Dissimilar Metal Welding* bapak Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT, bapak Abdul Wahab dan Andi Almudai
7. Kepada seluruh asisten Laboratorium Metalurgi Fisik yang telah menemani dalam proses pengambilan data-data dalam kebutuhan skripsi
8. Saudara-saudari REACTOR18, sebagai teman seperjuangan mulai dari saya mahasiswa baru hingga sampai sekarang dan bahkan untuk seterusnya.
9. Teman-teman tempat saya belajar organisasi HMM, UKM Bola Voli UNHAS, IPMI SIDRAP Cabang Baranti, IPMI SIDRAP BKPT UNHAS, dan IPMI SIDRAP Pusat Makassar
10. Teman-teman maupun keluarga yang senantiasa mensupport, teman-teman pendakian, teman-teman KKN SIDRAP 3, keluarga Bandang-bandang, keluarga besar Sinar Abadi dan semua yang tidak sempat penulis sebutkan satu persatu, sekali lagi penulis mengucapkan banyak terima kasih yang sebesar-besarnya.

Gowa, 17 Agustus 2022

Rahmat Ramadan

ABSTRAK

Rahmat Ramadan (D021181320) dibimbing oleh Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT dan Dr. Hairul Arsyad, ST., MT. *Dissimilar metal welding* merupakan upaya untuk menyambungkan dua buah logam induk yang memiliki karakteristik yang berbeda. Perbedaan ini berpotensi menurunkan ketangguhan pengelasan sehingga logam akan bersifat getas. Salah satu cara untuk mengatasinya adalah melakukan proses PWHT pada spesimen yang telah dilas. PWHT (*Post Weld Heat Treatment*) merupakan perlakuan panas hingga temperatur tertentu pada logam yang telah dilas dengan tujuan untuk menghilangkan tegangan sisa dan menaikkan ketangguhan material. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan pengaruh proses PWHT pada pengelasan logam yang tidak jenis berupa baja karbon rendah ASTM A36 dengan baja *stainless steel austenite* AISI 316L terhadap kekuatan impak. Proses PWHT dilakukan pada temperatur 400°C, 600°C, dan 900°C, kemudian diuji kekuatan impak dan metalografi untuk melihat perubahan fasa yang dihasilkan. Penelitian ini juga membandingkan hasil kekuatan impak dari dua jenis elektroda yang digunakan, yakni elektroda E308L-16 dan elektroda E309Mo-17. Hasil penelitian menunjukkan pengelasan dengan elektroda E308L-16 dengan temperatur PWHT 400°C, 600°C, 900°C, dan tanpa PWHT nilainya berturut-turut sebesar 1,31 J/mm², 1,15 J/mm², 1,03 J/mm², dan 1,23 J/mm². Selain itu, pengelasan dengan menggunakan elektroda E309Mo-17 dengan temperatur PWHT 400°C, 600°C, 900°C, dan tanpa PWHT nilainya berturut-turut sebesar 1,02 J/mm², 0,95 J/mm², 0,26 J/mm², dan 0,99 J/mm². Kekuatan impak tertinggi diperoleh pada PWHT 400°C, dan menurun jika melebihi temperatur tersebut. Nilai impak pada pengelasan dengan elektroda E308L-16 terlihat selalu lebih tinggi disetiap temperatur PWHT dibandingkan dengan pengelasan dengan elektroda E309Mo-17, hal ini terjadi karena adanya perbedaan nilai *Heat Input* pada saat pengelasan serta adanya perbedaan rasio komposisi unsur penyusun elektroda. Selain itu juga, uji struktur mikro memperlihatkan bentuk δ -ferit pada pengelasan dengan elektroda E308L-16 terlihat lebih banyak terbentuk δ -ferit berupa accicular ferit dan lasy ferit, sedangkan pada pengelasan dengan elektroda E309Mo-17 terlihat δ -ferit berbentuk vermicular ferit dan lasy ferit. Hasil struktur mikro pada spesimen yang melalui PWHT 900°C memperlihatkan adanya muncul karbida dan martensit yang mengakibatkan spesimen bersifat getas. Dari hasil kekuatan impak tersebut diperoleh bahwa PWHT dengan temperatur 400°C memenuhi tujuan dari perlakuan PWHT yakni menghilangkan tegangan sisa ditandai dengan meningkatnya ketangguhan pengelasan jika dibandingkan dengan tanpa PWHT. Peningkatan kekuatan ketangguhan ini terjadi pada pengelasan dengan elektroda E308L-16 maupun pada pengelasan dengan elektroda E309Mo-17.

Kata kunci: Pengelasan logam berbeda, PWHT, Uji impak, Struktur Mikro

ABSTRACT

Rahmat Ramadan (D021181320) dibimbing oleh Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT and Dr. Hairul Arsyat, ST., MT. *Dissimilar metal welding is an attempt to connect two main metals with different characteristics. This difference has the potential to reduce stresses of welding so the metal will have brittle characteristic. One of the methods to release residual voltage that is to do the PWHT process on the specimen that has been welded. (PWHT) Post Weld Heat Treatment is a heat treatment process to certain temperatures on metals with the aim to eliminate remaining voltage and raise toughness of the material. This research aims to obtain the effect of PWHT process on metal welding low carbon steel ASTM A36 and stainless-steel austenite AISI 316L against impact. The PWHT is performed at the temperature 400°C, 600°C, and 900°C, afterward impact and microstructure test are done in order to see the phase form that generated. This research also compares the impact results between two types of electrodes used, that is electrode E308L-16 and electrode E309Mo-17. From the results obtained, welding using electrode E308L-16 with PWHT at 400°C, 600°C, and 900°C, and without PWHT the value in a row is 1,31 j/mm², 1,15 J/mm², 1,03 J/mm², dan 1, 23 J/mm². Moreover, welding using electrode E309Mo-17 with PWHT at 400°C, 600°C, and 900°C, and without PWHT the value in a row is 1,02 J/mm², 0,95 J/mm², 0,26 J/mm², dan 0,99 J/mm². The highest impact value obtained at PWHT 400°C, and decreases if it exceeds the temperature. The impact value on welding using electrode E308L-16 is always higher in every PWHT temperature compared to the welding using electrode E309Mo-17, this happens because of the difference value in Heat Input during welding also the difference ratio of the electrode compilers composition. In addition to that, the microstructure test shows the δ -ferrite form on welding using electrode E308L-16 more δ -ferrite formed in the form of acicular ferrite and lassy ferrite, while welding using electrode E309M0-17 there are more δ -ferrite formed in form of vermicular ferrite and lassy ferrite. The results of microstructures on specimens that through PWHT 900°C shows the presence of carbide and martensite resulting in a specimen with brittle characteristic. From the impact results it was obtained that PWHT with temperature 400°C fulfills the purpose of PWHT treatment that is to eliminate the remaining voltage marked by the increase of welding toughness when compares to without PWHT. This increase of these toughness strength occurs on welding when using E308L-16 electrode as well as welding using E309M0-17 electrode.*

Keyword: dissimilar metal welding, PWHT, Impact testing, Microstructure

DAFTAR ISI

SKRIPSI.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Rumusan Masalah	4
I.3. Tujuan Penelitian	4
I.4. Batasan Masalah.....	5
I.5. Manfaat Penelitian	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA	6
II. 1. Baja Karbon.....	6
1. Baja Karbon Rendah ASTM A36.....	6
2. Diagram Fasa Kesetimbangan Fe-Fe ₃ C	7
II. 2. Baja Tahan Karat.....	9
II. 3. Pengelasan.....	11
1. Las SMAW (<i>Shielded Metal Arc Welding</i>).....	11

2. Elektroda.....	13
3. <i>Heat Input</i>	15
II. 4. <i>Dissimilar Metal Welding (DMW)</i>	16
II. 5. <i>Heat Treatment / Perlakuan Panas</i>	17
1. Jenis-jenis Heat Treatment.....	18
2. Post weld Heat Treatment (PWHT)	22
II. 6. Minyak Kimia (<i>Dromus Oil / Cutting Oil</i>).	24
II. 7. Pengujian <i>Non Destructive Testing (NDT)</i>	25
1. Metode Liquid Penetrant Test (<i>Dye Penetrant</i>)	26
2. Standar Penerimaan Penetran	28
II. 8. Pengujian Sifat Mekanik dan Struktur Mikro	28
1. Uji Impak	28
2. Uji Struktur Mikro.....	31
BAB III METODE PENELITIAN	35
III.1. Tempat dan Waktu	35
III.2. Alat dan Bahan	35
1. Alat yang Digunakan.....	35
2. Bahan	36
III.3. Tahap Pembuatan Spesimen	36
1. Persiapan Material Pengelasan	36
2. Proses Pengelasan.....	37
3. <i>Non Destructive Test (NDT)</i>	39
4. Pembuatan Spesimen	39
5. Proses <i>Post Weld Heat Treatment (PWHT)</i>	40
III.4. Tahap Pengujian.....	41

1. Uji Impak	41
2. Struktur Mikro	42
III.5. Diagram Aliran Penelitian.....	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	44
IV.1 Uji Impak	44
1. Uji Impak pada DMW:E308L-16	46
2. Uji Impak pada DMW:E309Mo-17	48
IV.2 Struktur Mikro	54
IV.3 Foto Makro	63
BAB V PENUTUP.....	66
V.1 Kesimpulan	66
V.2 Saran.....	67
DAFTAR PUSTAKA	68
LAMPIRAN 1.....	73

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi Baja Karbon (Harsono Wiryosumarto & Toshie Okumura, 2000).....	6
Tabel 2. 2 Komposisi kimia baja karbon ASTM A36 (ASTM A 36/A 36M – 04, 2003).....	7
Tabel 2. 3 Komposisi kimia baja tahan karat ASTM A240 type 316L (ASTM A240/A240M-05, 2005).	10
Tabel 2. 4 Sifat mekanik baja tahan karat ASTM A240 type 316L (Matwab). ...	11
Tabel 2. 5 Sifat mekanik elektroda (AWS A5.4/A5.4M:2006).....	14
Tabel 2. 6 Komposisi kimia elektroda (AWS A5.4/A5.4M:2006).....	15
Tabel 2. 7 Komposisi dan Sifat Kimia Dromus Oil.	25
Tabel 4. 1 Hasil pengujian impak logam induk.....	45
Tabel 4. 2 Hasil pengujian impak DMW:E308L-16.	46
Tabel 4. 3 Hasil pengujian impak DMW:E309Mo-17.....	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Diagram Fasa Fe-Fe ₃ C (Callister,2000).	8
Gambar 2. 2 Meja Kerja Las (Arifin, 2019).	12
Gambar 2. 3 Elektroda Las (Anggaretno dkk., 2012).	14
Gambar 2. 4 Proses PWHT (Chengze Zhang, 2017).	24
Gambar 2. 5 Proses kapilaritas (Faizal M, 2018).	27
Gambar 2. 6 Prinsip Pengukuran Impak Pada Charpy Test (A. Jalil, 2017).	30
Gambar 2. 7 Mesin uji impak (Lab. Metalurgi Fisik UNHAS).	31
Gambar 2. 8 Struktur mikro AISI 1030 (Nurul Ichsan, 2020).	32
Gambar 2. 9 Struktur mikro raw materials ASTM A36 (Bajajar Sulistiyo, 2021).	32
Gambar 2. 10 Struktur mikro raw materials AISI 316L (Mirza Pramudia, 2018).	33
Gambar 2. 11 Mikroskop optik untuk logam (Lab. Metalurgi Fisik UNHAS)...	34
Gambar 3. 1 Mesin shearing hidrolik.	36
Gambar 3. 2 Desain benda kerja pengelasan, (a) tampak depan ukuran benda/kerja, (b) ukuran V- groove.	37
Gambar 3. 3 Mesin Frais.	37
Gambar 3. 4 Mesin las Miller.	38
Gambar 3. 5 Skema instalasi mesin las dan perlengkapan pengelasan metode SMAW.	38
Gambar 3. 6 Ukuran spesimen impak menggunakan logam pengisi E308 (mengacu pada standar pengujian impak ASTM E23).	40
Gambar 3. 7 Ukuran spesimen impak menggunakan logam pengisi E309 (mengacu pada standar pengujian impak ASTM E23).	40
Gambar 3. 8 Diagram Aliran Penelitian.	43
Gambar 4. 1 Spesimen Uji Impak.	45
Gambar 4. 2 Grafik nilai kekuatan impak logam induk.	46
Gambar 4. 3 Grafik nilai kekuatan impak DMW:E308L-16 untuk setiap temperatur PWHT.	47

Gambar 4. 4	Grafik nilai kekuatan impak DMW:E309Mo-17 untuk setiap temperatur PWHT.....	50
Gambar 4. 5	Grafik Perbandingan Kekuatan Impak DMW:E308L-16 dengan DMW:E309Mo-17 untuk setiap temperatur PWHT.	52
Gambar 4. 6	Struktur Mikro Baja ASTM A36, raw material, pembesaran 1000×.....	54
Gambar 4. 7	Struktur Mikro Baja AISI 316L, raw material, pembesaran 500×. .	54
gambar 4. 8	Struktur mikro base metal ASTM A36, elektroda E308, pembesaran 1000× (a) tanpa PWHT, (b) PWHT 400°C, (c) PWHT 600°C, dan (d) PWHT 900°C.	55
gambar 4. 9	Struktur mikro base metal AISI 316L, elektroda E308, pembesaran 500× (a) tanpa PWHT, (b) PWHT 400°C, (c) PWHT 600°C, dan (d) PWHT 900°C.	56
Gambar 4. 10	(a) Struktur Mikro weld Metal E308L-16 tanpa PWHT(b) Struktur Mikro Weld Metal E309Mo-17 tanpa PWHT.	57
Gambar 4. 11	(a) Struktur Mikro Weld Metal E308L-16 dengan PWHT 400°C, (b) Struktur Mikro Weld Metal E309Mo-17 dengan PWHT 400°C.....	58
Gambar 4. 12	(a) Struktur Mikro Weld Metal E308L-16 dengan PWHT 600°C, (b) Struktur Mikro Weld Metal E309Mo-17 dengan PWHT 600°C.....	58
Gambar 4. 13	(a) Struktur Mikro Weld Metal E308L-16 dengan PWHT 900°C, (b) Struktur Mikro Weld Metal E309Mo-17 dengan PWHT 900°C.....	59
Gambar 4. 14	(a) Struktur Mikro HAZ ASTM A36, elektroda E308, tanpa PWHT (b) Struktur Mikro HAZ ASTM A36, elektroda E309, tanpa PWHT.....	60
Gambar 4. 15	Struktur Mikro HAZ, antara Weld Metal E309 dengan Base Metal 316L (a) tanpa PWHT, (b) PWHT 400°C, (c) PWHT 600°C, (d) PWHT 900°C.....	61

Gambar 4. 16	Struktur Mikro HAZ, antara Weld Metal E309 dengan Base Metal ASTM A36 (a) tanpa PWHT, (b) PWHT 400°C, (c) PWHT 600°C, (d) PWHT 900°C.	62
Gambar 4. 17	Foto Makro Perpatahan Spesimen Tanpa PWHT (a) DMW:E308L-16 (b) DMW:E309Mo-17.	63
Gambar 4. 18	Foto Makro Perpatahan Spesimen PWHT 400°C (a) DMW:E308L-16 (b) DMW:E309Mo-17.	63
Gambar 4. 19	Foto Makro Perpatahan Spesimen PWHT 600°C (a) DMW:E308L-16 (b) DMW:E309Mo-17.	64
Gambar 4. 20	Foto Makro Perpatahan Spesimen PWHT 900°C (a) DMW:E308L-16 (b) DMW:E309Mo-17.	64

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. 1 Pemotongan plat AISI 316L ukuran 800 mm × 800 mm × 6 mm menjadi ukuran 200 mm × 100 mm × 5 mm dengan menggunakan mesin shearing.	73
Lampiran 1. 2 Pemotongan plat ASTM A36 ukuran 800 mm × 800 mm × 6 mm menjadi ukuran 200 mm × 100 × 6 mm dengan menggunakan mesin shearing.	73
Lampiran 1. 3 Pembuatan kampuh V dengan sudut 30° menggunakan mesin frais.....	74
Lampiran 1. 4 Kondisi kedua plat siap untuk melalui proses pengelasan.....	74
Lampiran 2. 1 Sertifikat Welder.....	75
Lampiran 2. 2 Proses pengelasan.	76
Lampiran 2. 3 Hasil pengelasan.	76
Lampiran 3. 1 Liquid penetran yang digunakan.	77
Lampiran 3. 2 Penyemprotan cairan penetran.....	78
Lampiran 3. 3 Penyemprotan cleaner untuk membersihkan sampel.....	78
Lampiran 4. 1 Membagi sampel yang telah dilas dengan ukuran masing-masing 13 mm.	79
Lampiran 4. 2 Sampel pengelasan yang telah dibagi-bagi dengan lebar ukuran masing-masing 13 mm.	79
Lampiran 4. 3 Model spesimen untuk foto metalografi.	80
Lampiran 4. 4 Model spesimen untuk pengujian impak (standar ASTM E23). .	80
Lampiran 5. 1 Memanaskan spesimen didalam tungku.	81
Lampiran 5. 2 Mendinginkan spesimen di dalam media pendinginan.....	81
Lampiran 6. 1 Mengamplas bagian yang akan difoto metalografi.....	82
Lampiran 6. 2 Mengetsa bagian yang akan difoto metalografi.....	82
Lampiran 6. 3 Memfoto spesimen dengan menggunakan Mikroskop Optik Metalurgi.	83
Lampiran 6. 4 Skema foto hasil foto metalografi.....	84
Lampiran 6. 5 Struktur metalografi DMW:E308L-16 tanpa PWHT.	85
Lampiran 6. 6 Struktur metalografi DMW:E308L-16 PWHT 400°C.....	86

Lampiran 6. 7	Struktur metalografi DMW:E308L-16 PWHT 600°C.....	87
Lampiran 6. 8	Struktur metalografi DMW:E308L-16 PWHT 900°C.....	88
Lampiran 6. 9	Struktur metalografi DMW:E309Mo-17 tanpa PWHT.	89
Lampiran 6. 10	Struktur metalografi DMW:E309Mo-17 PWHT 400°C.....	90
Lampiran 6. 11	Struktur metalografi DMW:E309Mo-17 PWHT 600°C.....	91
Lampiran 6. 12	Struktur metalografi DMW:E309Mo-17 PWHT 900°C.....	92
Lampiran 7. 1	Pengoperasian alat uji impak metode charpy.	93
Lampiran 7. 2	Tampilan layar komputer alat uji impak.....	93
Lampiran 7. 3	Nilai β dan U_{st} pada alat uji impak.	94
Lampiran 7. 4	Hasil perpatahan setelah diuji impak.....	94

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Pengelasan dalam proses manufaktur merupakan pekerjaan yang sangat penting. Hampir semua penyambungan logam dilakukan dengan pengelasan. Pengelasan adalah upaya untuk menyambungkan dua buah logam untuk menghasilkan sebuah bentuk konstruksi tertentu, serta dilakukan dalam keadaan cair pada logam pengisi dan sebagian logam induk. Pengelasan memiliki peranan penting dalam hal rekayasa dan perbaikan logam. Pada masa sekarang ini pertumbuhan pembangunan konstruksi logam banyak melibatkan unsur pengelasan baik itu di industri kecil maupun industri yang berskala besar.

Berdasarkan studi literatur pengelasan (*welding*) merupakan teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa logam penambah dan menghasilkan logam *continue* (Wiryosumatro dan Okumura, 2000). Pencairan tersebut menggunakan sumber panas yang berasal dari busur listrik atau biasa disebut las listrik. Salah satu jenis las listrik yang sering digunakan adalah las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) atau las busur nyala listrik terlindung).

Las SMAW merupakan suatu proses penyambungan logam dengan menggunakan tenaga listrik sebagai sumber panas serta menggunakan elektroda sebagai bahan tambahannya (Azwinur dkk., 2017). Penggunaan las SMAW sering dijumpai dibandingkan dengan jenis pengelasan yang lain. Selain penggunaan yang mudah las SMAW juga terbilang ekonomis serta dapat menghasilkan hasil las yang ditinjau dari sifat mekanik dan fisik yang baik sehingga dapat mengurangi biaya investasi.

Seiring dengan perkembangan teknologi di bidang konstruksi, pengelasan terbagi atas dua jenis yakni pengelasan logam sejenis dan pengelasan logam yang tidak sejenis (*dissimilar metal welding*). Pengelasan

logam tidak sejenis banyak 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 (Pareke dkk., 2014).

Dissimilar metal welding (DMW) atau Pengelasan logam berbeda merupakan perkembangan dari teknologi las modern akibat dari kebutuhan akan penyambungan material-material yang memiliki jenis logam yang berbeda (Pareke dkk., 2014). Perbedaan ini menjadi tantangan bagi para *welder* untuk mampu menyatukan dua karakteristik logam yang berbeda karena satu jenis logam memiliki satu elektroda khusus. Penentuan elektroda yang digunakan ini mengacu pada ketetapan dari diagram *Schaeffler*. Pada mulanya diagram *Schaeffler* ditujukan untuk menyeleksi elektroda *austenitic* untuk DMW, namun dapat juga digunakan untuk menentukan struktur mikro logam induk dan logam las (Sonawan, H. dan Suratman, R., 2006).

DMW menjadi proses pengelasan logam yang mempunyai perbedaan sifat fisik, mekanik, termal, dan metalurgi sehingga karakteristik sambungan las antara keduanya perlu ketelitian yang tinggi. Pengontrolan struktur mikro daerah lasan (*Weld Zone*) khususnya saat *root pass* sangat penting karena biasa terbentuk fasa campuran *austenite*, *ferrite*, dan *martensite* sehingga menimbulkan tegangan sisa (C. Lippold, 2005). Dari pernyataan tersebut proses *post weld heat treatment* (PWHT) menjadi cara untuk melepaskan tegangan sisa pada bagian daerah lasan (*weld zone*).

PWHT adalah pemanasan kembali daerah las setelah pengelasan selesai dilakukan, hal ini bertujuan untuk melunakkan daerah yang terkena pengaruh las (Hestiawan dan Suryono, 2014). Selain itu PWHT juga bertujuan untuk mendapatkan sifat-sifat yang diperlukan dalam konstruksi, seperti halnya kekuatan (*strength*), kelunakan (*softness*), dan memperhalus ukuran butir. Perlakuan panas adalah suatu proses pemanasan dan pendinginan logam dalam keadaan padat untuk mengubah sifat-sifat fisik logam tersebut, sehingga sifat mekanis dari suatu logam dapat kembali lagi.

Perlakuan panas (*heat treatment*) merupakan bagian dari PWHT yang terdiri dari tiga tahap yaitu; *heating*, *holding*, dan *cooling*, dimana ketiga tahap ini akan mempengaruhi fasa yang terjadi pada lasan logam tersebut. Struktur dari fasa sangat dipengaruhi oleh temperatur pemanasan (*heating*), lama pemanasan (*holding time*), dan kecepatan pendinginan (*cooling rate*).

PWHT pada DMW mempunyai masalah tersendiri karena perbedaan konduktivitas yang dapat terjadi sehingga berpengaruh terhadap kecepatan transformasi fasa pada kedua logam. Sangat penting untuk ditemukan suhu pemanasan (*Heating*), dimana tinggi rendahnya suhu pemanasan sangat mempengaruhi bentuk fasa yang terbentuk serta kekuatan impak yang dihasilkan.

Saat proses pemanasan hingga mencapai suhu tertentu maka akan berpengaruh sangat besar terhadap kondisi semua daerah pada logam spesimen, tak terkecuali pada bagian *weld metal*, kondisi sifat lasan akan bervariasi sesuai dengan jenis logam pengisi yang digunakan. Seperti halnya mengelas logam baja karbon biasa dengan menggunakan elektroda E308 yang dimana elektroda ini lebih cocoknya digunakan untuk logam sejenis seperti baja tahan karat tetapi tegangan sisa selalu terjadi. Sehingga dari kasus ini perlu perlakuan PWHT agar terjadi penyetaraan sifat maupun struktur atom pada daerah *weld metal*, HAZ, maupun logam induk.

Pada penelitian ini, berhasilnya proses PWHT dapat dilihat dari hilangnya tegangan sisa. Hilangnya tegangan sisa dapat diketahui dari meningkatnya nilai kekuatan impak, dan perbaikan struktur mikro pada pengelasan logam tak sejenis. Penelitian ini menggunakan temperatur PWHT 400°C, 600°C, dan 900°C serta menjadikan tanpa perlakuan PWHT sebagai pembanding. Kondisi temperatur ini akan memperlihatkan dimana akan terjadi perubahan fasa baik itu kedua logam induk yang berbeda jenis, HAZ, maupun daerah *weld metal*.

Selain temperatur PWHT yang menjadi variabel bebas, penelitian ini juga membandingkan dua jenis logam pengisi. Elektroda yang pertama adalah E308L, dimana elektroda ini sering digunakan pada pengelasan baja tahan karat. Serta elektroda yang kedua adalah E309Mo-17, yang dimana elektroda ini cocok digunakan pada *dissimilar metal welding* atau pengelasan logam yang berbeda.

Berdasarkan uraian diatas, maka penulis bermaksud meneliti dengan judul: **“ANALISA KEKUATAN IMPAK DAN STRUKTUR MIKRO PENGELASAN LOGAM BERBEDA ASTM A36 DAN AISI 316L SETELAH PWHT”**.

I.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian dari latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh temperatur 400°C, 600°C, dan 900°C pada proses PWHT sambungan las SMAW baja ASTM A36 dengan baja AISI 316L terhadap kekuatan impak dan struktur mikro?
2. Bagaimana perbedaan kekuatan impak dan struktur mikro terhadap penggunaan elektroda E308 dengan E309?

I.3. Tujuan Penelitian

Dari rumusan masalah yang telah dikemukakan di atas, maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh temperatur 400°C, 600°C, dan 900°C pada proses PWHT sambungan las SMAW baja ASTM A36 dengan baja AISI 316L terhadap kekuatan impak dan struktur mikro.
2. Menganalisis perbedaan kekuatan impak dan struktur mikro terhadap penggunaan elektroda E308 dan E309.

I.4. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Material yang digunakan adalah baja ASTM A36 dan baja AISI 316L.
2. Jenis pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) dengan arus 70 A, elektroda E308L-16 Ø 2,6, E309Mo-17 Ø 2,6, kampuh V 60°, dan posisi pengelasan 1G.
3. Pada pengelasan dengan elektroda E308L-16 menggunakan kecepatan pengelasan 2,41 mm/s dengan *heat input* 0,63 kJ/mm, begitupun juga pada pengelasan dengan elektroda E309Mo-17 menggunakan kecepatan pengelasan 3,48 mm/s dengan *heat input* 0,43 kJ/mm.
4. Proses *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) dengan suhu *heating* 400°C, 600°C, dan 900°C, *holding* selama 60 menit, dan *cooling* dengan menggunakan metode *quenching* didalam larutan dengan kadar *dromus oil* 15%.
5. Pengujian material meliputi uji impak dan struktur mikro.

I.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi teman-teman mahasiswa sebagai literatur atau bahan untuk penelitian selanjutnya serta manfaat bagi masyarakat pada umumnya menjadi pertimbangan dalam pembuatan konstruksi ataupun komponen mesin yang melibatkan pengelasan logam berbeda baja ASTM A36 dengan AISI 316L.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

II. 1. Baja Karbon

Baja merupakan paduan yang terdiri dari unsur utama besi (Fe) dan karbon (C), serta unsur-unsur lain, seperti: Mn, Si, Ni, Cr, V dan lain sebagainya yang tersusun dalam presentasi yang sangat kecil. Dan unsur-unsur tersebut akan berpengaruh terhadap mutu dari baja tersebut (Iqbal, 2008).

Tabel 2. 1 Klasifikasi Baja Karbon (Harsono Wiryosumarto & Toshie Okumura, 2000).

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	Plat tipis
	Baja Sangat Lunak	0,08-0,12	20-29	36-42	40-30	80-120	Batang, Kawat
	Baja Lunak	0,12-0,2	22-23	38-48	36-24	100-130	Konstruksi Umum
Baja Karbon Sedang	Baja Setengah Lunak	0,2-0,3	24-36	44-55	32-22	112-145	Alat-alat mesin
	Baja Setengah Keras	0,3-0,4	30-40	50-60	30-17	140-170	Alat-alat mesin
Baja Karbon Tinggi	Baja Keras	0,4-0,5	34-46	58-70	26-14	160-200	Perkakas
	Baja Sangat Keras	0,5-0,8	36-47	65-100	20-11	180-235	Rel, Pegas

1. Baja Karbon Rendah ASTM A36

Baja ASTM A36 merupakan baja dengan kandungan unsur karbon dalam struktur baja kurang dari 0,3% C. Baja karbon ASTM A36 memiliki ketangguhan dan keuletan tinggi akan tetapi memiliki sifat kekerasan dan ketahanan aus yang rendah jenis ini sangat reaktif dan mudah sekali untuk

berubah kembali ke bentuk besi oksida (berkarat) jika terkontaminasi air, oksigen dan ion. Baja karbon ASTM A36 mempunyai sifat mampu las yang dipengaruhi oleh kekuatan takik dan kepekaan terhadap retak las (Arifin, J. (2013).

Tabel 2. 2 Komposisi kimia baja karbon ASTM A36 (ASTM A 36/A 36M – 04, 2003).

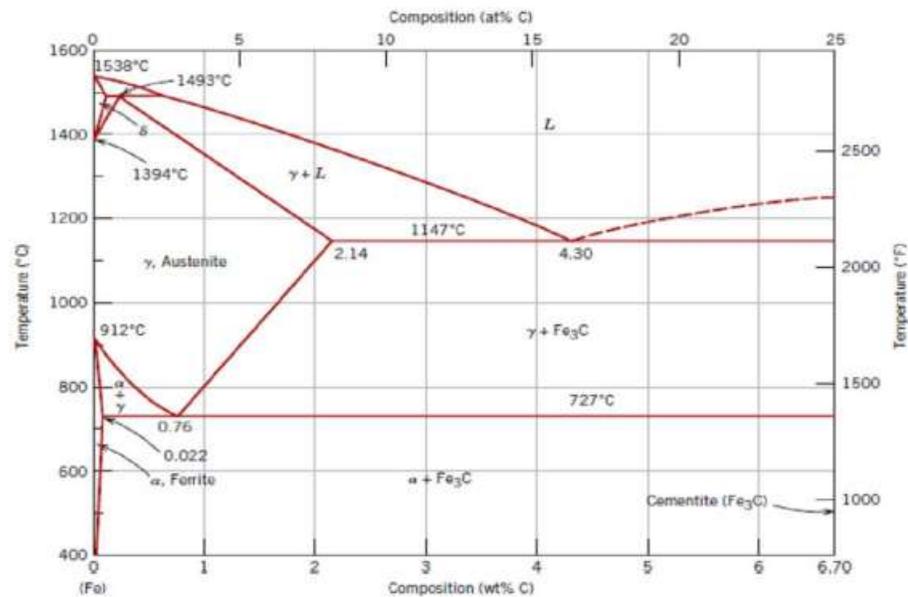
Bentuk	Ketebalan, inci, (mm)	Komposisi kimia					
		C max. %	Mn. %	P max. %	S max. %	Si %	Cu min. %
Plat	~ 3/4" (20)	0,25	...	0,04	0,05	0,40 max	0,20
	3/4" ~ 1,5" (20~40)	0,25	0,80-1,20	0,04	0,05	0,40 max	0,20
	1,5" ~ 2,5" (40~65)	0,26	0,80-1,20	0,04	0,05	0,15-0,40	0,20
	2,5" ~ 4" (65~100)	0,27	0,80-1,20	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	~ 3/4" (20)	0,26	...	0,04	0,05	0,40 max	0,20
	3/4" ~ 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. Diagram Fasa Kesetimbangan Fe-Fe₃C

Fasa didefinisikan sebagai bagian dari bahan yang memiliki struktur atau komposisi tersendiri. Diagram fasa Fe-C atau biasa disebut diagram kesetimbangan 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 suhu dan komposisi,

setiap perubahan komposisi dan perubahan suhu akan mempengaruhi struktur mikro (ASM Handbook Vol.4:4, 1991)

Fasa - fasa besi karbon pada saat mengalami pemanasan dan pendinginan dijelaskan dalam diagram fasa. Diagram fasa besi karbon sering disebut diagram Fe - Fe₃C. Perubahan fasa pada besi karbon dapat ditunjukkan pada gambar 2.1



Gambar 2. 1 Diagram Fasa Fe-Fe₃C (Callister,2000).

Fasa-fasa yang terdapat pada diagram fasa Fe-Fe₃C adalah:

- a. Besi (δ)
 Besi adalah larutan padat intertisi karbon dalam struktur kristal besi bcc, besi mempunyai konstanta kisi yang lebih besar dibanding α . Kelarutan karbon maksimum dalam δ adalah 0.09% pada suhu 1.493°C.
- b. Ferit (α)
 Ferit adalah larutan padat yang berisi karbon dalam struktur kristal bcc besi. dalam diagram fasa kelarutan karbon maksimum dalam α adalah 0,022% pada suhu 727°C.

Kelarutan karbon dalam ferit menurun menjadi 0,005% pada suhu 0°C.

c. Pearlite

Perlit adalah Suatu *eutectic mixture* dari sementit dan ferit, mengandung 0,8% C, terbentuk pada suhu 727°C.

d. Austenit (γ)

Austenit adalah larutan padat yang berisi karbon di dalam struktur kristal fcc besi. Kelarutan karbon dalam austenit lebih besar dari ferit. Kelarutan karbon maksimum dalam austenite adalah 2% pada suhu 1.147°C dan menurun menjadi 0,8% C pada suhu 727°C. Tidak stabil pada suhu kamar.

e. Ledeburit

Fasa ini adalah Suatu *eutectic mixture* dari austenit dan sementit, mengandung 4,3% C, terbentuk pada suhu 1.130°C.

f. *Lower Critical temperature* (Temperatur kritis bawah) A1

Pada diagram Fe-Fe₃C tampak berupa garis mendatar pada suhu 723°C. Pada suhu ini terjadi reaksi eutectoid dimana austenit menjadi ferit dan semen.

g. Sementit (Fe₃C)

Sementit adalah campuran logam dengan karbon. Limit kelarutannya diabaikan, komposisi karbon 6,67% dan 93,3% Fe. Sementit adalah senyawa keras, getas dan berkekuatan rendah (Callister,2000).

II. 2. Baja Tahan Karat

Stainless steel merupakan baja yang tahan karat, terbuat dari senyawa besi yang mengandung sekitar 10% kromium. Kromium merupakan salah satu bahan yang dapat mencegah munculnya karat pada baja. Daya tahan karat didapat dari lapisan film oksida kromium, dimana

lapisan tersebut dapat menghalangi proses oksidasi besi. Stainless memiliki berbagai jenis ragam, antara lain: 201, 304, 316 dan lain lain. Semakin tinggi nomor seri pada *stainless steel*, semakin bagus dan tahan lama juga nilai ketahanannya (Charistie, 2018).

Perawatan *Stainless steel* pun terbilang sangat mudah dibandingkan dengan besi lain yang harus di cat atau di *chrome*. *Stainless steel* hanya perlu di lap untuk mengembalikan kilapnya seperti baru kembali, dan *stainless steel* hanya perlu dipoles saat tergores. *Stainles steel* dibagi menjadi lima golongan:

- a. *Stainless Steel martensitic*
- b. *Stainless steel ferritic*
- c. *Stainless Steel Austenitic*
- d. *Stainless Steel duplex*
- e. *Precipitation –hardening Stainless Steel* (Charistie, 2018).

Tabel 2. 3 Komposisi kimia baja tahan karat ASTM A240 type 316L (ASTM A240/A240M-05, 2005).

UNS Designation	S31603
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

Tabel 2. 4 Sifat mekanik baja tahan karat ASTM A240 type 316L (Matweb)

Mechanical Properties	Metric
Hardness, Brinell	146
Hardness, Knoop	166
Hardness, Rockwell B	79
Hardness, Vickers	152
Tensile Strength, Ultimate	<u>560</u> MPa
Tensile Strength, Yield	<u>235</u> MPa
Elongation at Break	55 %
Modulus of Elasticity	<u>193</u> GPa
Izod Impact	<u>150</u> J
Charpy Impact	<u>103</u> J

II. 3. Pengelasan

Pengelasan adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang dilakukan dalam keadaan lumer atau cair, dengan kata lain pengelasan adalah penyambungan setempat dari dua logam dengan menggunakan energi panas. Pengelasan merupakan salah satu bagian yang tidak terpisahkan dari proses manufaktur.

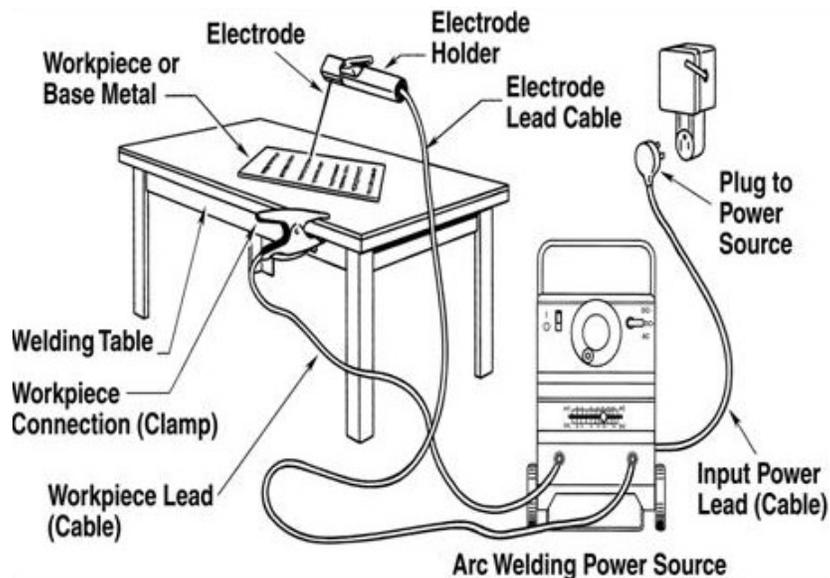
Pengelasan adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekan dan dengan atau tanpa logam tambahan dan menghasilkan sambungan yang kontinu (Wiryosumarto,2000).

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

SMAW merupakan proses penyambungan dua keping logam atau lebih, menjadi suatu sambungan yang tetap dengan menggunakan sumber panas listrik dan bahan tambah/pengisi berupa elektroda terbungkus. Pada proses las elektroda terbungkus, busur api listrik

yang terjadi antara ujung elektroda dan logam induk/benda kerja (*base metal*) akan menghasilkan panas. Klasifikasi elektroda las busur manual ini mengacu pada *American Welding Society Specification* (Syadek, dkk, 2019).

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 benda bekerja, selebihnya melekat pada pemegang elektroda, seperti yang terlihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 2. 2 Meja Kerja Las (Arifin, 2019).

Sebagaimana dalam AWS (*American Welding Society*), prinsip dari SMAW adalah menggunakan panas dari busur untuk mencairkan

logam dasar dan ujung sebuah *consumable* elektroda tertutup dengan tegangan listrik yang dipakai 23-45 Volt, dan untuk pencairan digunakan arus listrik hingga 500 ampere yang umum digunakan berkisar antara 80–200 Ampere. Dimana dalam proses SMAW dapat terjadi oksidasi, hal ini perlu dicegah karena oksidasi metal merupakan senyawa yang tidak mempunyai kekuatan mekanis. Adapun untuk mencegah hal tersebut maka bahan penambah las dilindungi dengan selapis zat pelindung yang disebut flux atau slag yang ikut mencair ketika pengelasan. Tetapi karena berat jenisnya 6 kali lebih ringan dari bahan metal yang dicairkan, cairan flux akan mengapung diatas cairan metal, sekaligus mengisolasi metal tersebut sehingga tidak teroksidasi dengan udara luar. Sewaktu membeku, flux akan ikut membeku dan tetap melindungi metal dari reaksi oksidasi (Arifin, 2019).

2. Elektroda

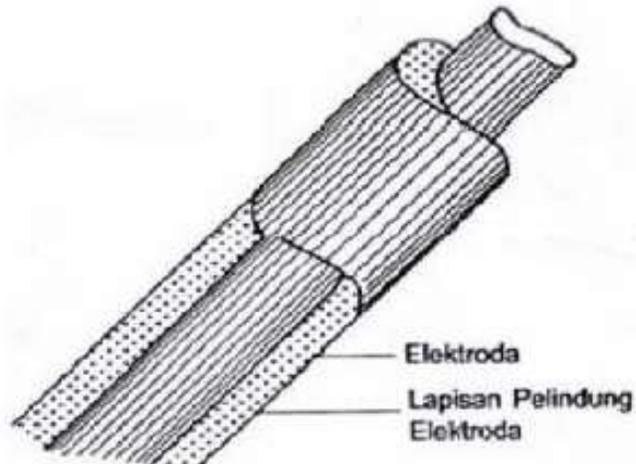
Pengelasan dengan menggunakan las busur listrik memerlukan kawat las (elektroda) yang terdiri dari satu inti terbuat dari logam yang dilapisi lapisan dari campuran kimia. Fungsi dari elektroda sebagai pembangkit dan sebagai bahan tambah (Wiryosumarto, 2000).

Elektroda terdiri dari dua bagian yaitu bagian yang berselaput (fluks) dan tidak berselaput yang merupakan pangkal untuk menjepitkan tang las. Fungsi dari fluks adalah untuk melindungi logam cair dari lingkungan udara, menghasilkan gas pelindung, menstabilkan busur (Wiryosumarto, 2000).

Bahan *fluks* yang digunakan untuk jenis E7018 adalah serbuk besi dan hidrogen rendah. Jenis ini kadang disebut jenis kapur. Jenis ini menghasilkan sambungan dengan kadar hidrogen rendah sehingga kepekaan sambungan terhadap retak sangat rendah, ketangguhannya sangat memuaskan (Wiryosumarto, 2000).

Hal yang kurang menguntungkan adalah busur listriknya kurang mantap, sehingga butiran yang dihasilkan agak besar

dibandingkan jenis lain. Dalam pelaksanaan pengelasan memerlukan juru las yang sudah berpengalaman. Sifat mampu las fluks ini sangat baik maka biasa digunakan untuk konstruksi yang memerlukan tingkat pengaman tinggi (Wiryosumarto, 2000).



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

AWS Classification		E308L	E309Mo-17
Tensile Strength, min	Ksi	75	80
	Mpa	520	550
Elongation min, %		35	30
Heat Treatment		none	none

Tabel 2. 6 Komposisi kimia elektroda (AWS A5.4/A5.4M:2006).

AWS Classification		E308L	E309Mo-17
C	Komposisi (%)	0,04	0,04
Cr		18,0-21,0	22,0-25,0
Ni		9,0-11,0	12,0-14,0
Mo		0,75	2,0-3,0
Mn		0,5-2,5	0,5-2,5
Si		1,00	1,00
P		0,04	0,04
S		0,03	0,03
N		-	-
Cu		0,75	0,75

3. *Heat Input*

Pencairan logam induk dan logam pengisi memerlukan energi yang cukup. Energi yang dihasilkan dalam operasi pengelasan dihasilkan dari bermacam-macam sumber tergantung pada proses pengelasannya. Pada pengelasan busur listrik, sumber energi berasal dari listrik yang diubah menjadi energi panas. Energi panas ini sebenarnya hasil kolaborasi dari arus las, tegangan las dan kecepatan pengelasan. Parameter ketiga yaitu kecepatan pengelasan ikut mempengaruhi energi pengelasan karena proses pemanasannya tidak diam akan tetapi bergerak dengan kecepatan tertentu. Pada proses pengelasan terdapat tiga daerah seperti terlihat pada gambar logam las (Lukmanul Hakim, 2020).

Kualitas hasil pengelasan dipengaruhi oleh energi panas yang berarti dipengaruhi tiga parameter yaitu arus las, tegangan las dan

kecepatan pengelasan. Hubungan antara ketiga parameter itu menghasilkan energi pengelasan yang sering disebut *heat input*. Energy panas dari las busur dapat dihitung dari input listrik dan diekspresikan dalam bentuk jumlah dari panas las per unit panjang las, sebagai berikut: (Daryanto, 2013).

$$H = 0,8 \frac{E \times I}{V}$$

(H) Heat Input (Joule)

(E) Tegangan (Volt)

(V) Kecepatan pengelasan (mm/min)

(I) Arus pengelasan (Ampere)

Dari persamaan itu dapat dijelaskan beberapa pengertian antara lain, jika kita menginginkan masukan panas yang tinggi maka parameter yang dapat diukur yaitu arus las dapat diperbesar atau kecepatan las diperlambat. Besar kecilnya arus las dapat diukur langsung pada mesin las. Tegangan las umumnya tidak dapat diatur secara langsung pada mesin las, tetapi pengaruhnya terhadap masukan panas tetap ada (Lukmanul Hakim, 2020).

II. 4. *Dissimilar Metal Welding (DMW)*

Pengelasan logam berbeda adalah suatu proses pengelasan yang dilakukan pada dua jenis logam atau paduan logam yang berbeda. Pengelasan logam berbeda (*dissimilar metal welding*) merupakan pengembangan 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 pengelasan logam berbeda, 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 pengelasan logam berbeda (*dissimilar metal welding*) 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.

Sifat mekanis logam termasuk pengujian tarik untuk mengetahui kekuatan tarik sambungan logam berbeda dengan menggunakan filler metal E 309Mo-17 setelah mengalami proses pengelasan, sehingga diperoleh suatu harga yang menunjukkan seberapa besar penurunan kekuatan tarik karena pengaruh panas pengelasan. Harga kekerasan suatu bahan adalah menyatakan kemampuan bahan tersebut untuk menahan deformasi tekanan persatuan luas. Pada sambungan las tingkat kekerasan yang dicapai pada daerah logam las, daerah HAZ sangat tergantung pada sifat mampu keras bahan dalam pendinginan yang relatif cepat.

Permasalahan yang dihadapi pada penggabungan dua logam berbeda adalah perbedaan titik lebur, koefisien muai, sifat fisis dan mekanis dari logam tersebut. Pengenceran logam pengisi dan pembentukan senyawa intermetalik pada antar muka yang 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 (Wiryo Sumarto, 2000).

II. 5. Heat Treatment / Perlakuan Panas

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 ke suatu media pendingin sesuai dengan kondisi dan spesifikasi bajanya (Syamsul Hadi, 2016).

Proses perlakuan panas dapat didefinisikan suatu proses mengubah sifat logam dengan cara mengubah struktur mikro melalui proses pemanasan dan pengaturan kecepatan pendinginan dengan atau tanpa merubah komposisi kimia logam yang bersangkutan. Tujuan proses perlakuan panas untuk menghasilkan sifat-sifat logam yang diinginkan. Perubahan sifat logam akibat proses perlakuan panas dapat mencakup keseluruhan bagian dari logam atau sebagian dari logam. (Novianto, 2008)

Perlakuan panas adalah proses pemanasan dan pendinginan fisiknya tanpa perlu mengubah bentuk produknya. Proses manufaktur atau proses pembentukan dimana terjadi proses pemanasan dan pendinginan juga mengacu pada proses perlakuan panas (Novianto, 2008).

1. Jenis-jenis *Heat Treatment*

Ada beberapa proses-proses pada perlakuan pada *Heat Treatment* yaitu sebagai berikut:

a. *Quenching* (Pengerasan)

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 kedalam media pendingin, tergantung pada kecepatan pendinginan yang kita inginkan untuk mencapai kekerasan baja. Ini mencegah proses suhu rendah, seperti transformasi fase, dari terjadi hanya menyediakan jendela sempit waktu di mana reaksi ini menguntungkan kedua termodinamika dan kinetis diakses, dapat mengurangi kristalinitas dan dengan demikian meningkatkan ketangguhan dari kedua paduan dan plastik (dihasilkan melalui polimerisasi).

Pada waktu pendinginan yang cepat pada fase austenit tidak sempat berubah menjadi ferit atau perlit karena tidak ada kesempatan bagi atom-atom karbon yang telah larut dalam austenit untuk mengadakan pergerakan difusi dan bentuk sementit oleh karena itu terjadi fase lalu yang martensit, ini berupa fase yang sangat keras dan bergantung pada keadaan karbon (Affandi Yusuf, 2013).

b. Annealing

Merupakan perlakuan panas yang digunakan untuk meningkatkan keuletan, menghilangkan tegangan dalam, menghaluskan ukuran butir, dan meningkatkan sifat mampu mesin. Tahapan dari proses *annealing* ini dimulai dengan memanaskan logam (paduan) sampai temperatur tertentu, menahan pada temperatur tertentu tadi selama beberapa waktu tertentu agar tercapai perubahan yang diinginkan lalu mendinginkan logam atau paduan tadi dengan laju pendinginan yang cukup lambat.

Tujuan proses *annealing*:

1. Melunakkan material logam
2. Menghilangkan tegangan dalam/sisa
3. Memperbaiki butir-butir logam

Proses *annealing* terdiri dari beberapa tipe yang diterapkan untuk mencapai sifat-sifat tertentu sebagai berikut:

1. Full Annealing

Merupakan proses perlakuan panas untuk menghasilkan perlite yang kasar (*coarse pearlite*) tetapi lunak dengan pemanasan sampai austenisasi dan didinginkan dengan dapur, memperbaiki ukuran butir, serta berguna dalam beberapa hal juga memperbaiki *machinability*.

2. Spheroidized annealing

Setiap metode dimana *spheroid* terbentuk disebut anil *spheroidized*. Jika produk anil berisi gelembung-

gelembung dari *cementite* dalam matriks ferrite pada mikro dan itu disebut sebagai sebuah benda yang bulat. Secara umum mikro ini dibentuk oleh berbagai cara, yaitu:

- a) *Hardening* dan suhu *tempering*
- b) Menyelenggarakan produk pada suhu dibawah suhu A1
- c) Konduktivitas thermal sekitar A1

Dalam proses ini baja dingin dipanaskan pada suhu sekitar 525°C yaitu tepat dibawah temperatur rekristalisasi. Jadi karena pemanasan ini, tidak ada perubahan dalam struktur mikrokristal. Spesimen disimpan pada suhu sekitar 2-3 jam dan kemudian mengalami pendinginan udara karena tidak ada perubahan struktur mikro proses. Pemanasan ini tidak memiliki pengaruh yang merugikan terhadap kekerasan dan kekuatan bahan. Proses *annealing* mengurangi mikro deformasi produk selama proses permesinan (Affandi Yusuf, 2013).

c. *Normalizing*

Normalizing adalah suatu proses pemanasan logam hingga mencapai fase austenit yang kemudian didinginkan secara perlahan-lahan dalam media pendingin udara. Hasil pendingin ini berupa perlit dan ferit namun hasilnya jauh lebih mulus dari *annealing*. Prinsip dari proses *normalizing* adalah untuk melunakkan logam. Namun pada baja karbon tinggi atau baja paduan tertentu dengan proses ini belum tentu memperoleh baja yang lunak mungkin berupa pengerasan dan ini tergantung dari kadar karbon.

Tujuan dari proses *normalizing* ini adalah untuk memperhalus butir, memperbaiki mampu mesin, menghilangkan tegangan sisa, dan memperbaiki sifat mekanik baja karbon struktural dan baja-baja paduan rendah.

Secara umum proses *normalizing* ini dilakukan dengan dengan cara memanaskan baja 850°C sampai 900°C, kemudian setelah suhu merata didinginkan di udara.

Manfaat dari proses *normalizing* ini adalah antara lain:

1. Menghilangkan struktur yang berbutir kasar yang diperoleh dari proses pengerjaan yang sebelumnya di alami oleh baja.
2. Mengeliminasi struktur yang kasar yang diperoleh dari akibat pendinginan yang lambat pada proses *annealing*.
3. Menghaluskan ukuran ferit dan perlit.
4. Memodifikasi dan menghaluskan struktur cor *dendritic*.
5. Penormalan dapat mencegah distorsi dan memperbaiki mampu mesin-mesin baja paduan yang dikarburasi karena temperatur penormalan lebih tinggi dari temperatur pengkarbonan.
6. Penormalan dapat memperbaiki sifat-sifat mekanik (Affandi Yusuf, 2013).

d. *Tempering*

Tempering adalah pemanasan kembali antara 100-400°C, yang bertujuan untuk menurunkan kekerasan, pendinginan dilakukan di udara. Dalam proses *tempering* atom-atom akan berganti menjadi suatu campuran fasa-fasa ferrit dan sementit yang stabil. Melalui tempering kekuatan tarik akan menurun sedang keuletan dan ketangguhan akan meningkat. Untuk proses *quenching* setelah *hardening* dilakukan mendadak, sedangkan setelah *tempering* pendinginan dilakukan dengan udara. Proses pendinginan ini jelas akan berakibat berubahnya struktur logam yang di *quenching*.

Tempering dibagi dalam beberapa bagian, yaitu:

a. *Tempering* suhu rendah (150-300°C)

Tujuannya untuk mengurangi tegangan kerut dan kerapuhan baja. Digunakan pada alat kerja yang tak mengalami beban berat seperti alat potong dan mata bor kaca.

b. *Tempering* suhu menengah (300-500°C)

Tujuannya menambah keuletan dan sedikit mengurangi kekerasan. Digunakan pada alat kerja yang mengalami beban berat seperti palu, pahat dan pegas.

c. *Tempering* suhu tinggi (500-650°C)

Tujuannya untuk memberikan daya keuletan yang besar dan kekerasannya menjadi lebih rendah. Digunakan pada roda gigi, poros, dan batang penggerak (Affandi Yusuf, 2013).

2. ***Post weld Heat Treatment (PWHT)***

Post Weld Heat Treatment (PWHT) adalah pemanasan kembali daerah las setelah pengelasan selesai dilakukan, hal ini bertujuan untuk melunakkan daerah yang terkena pengaruh las (Hestiawan dan Suryono, 2014). PWHT juga merupakan 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 pasca las sering dilaksanakan untuk tujuan menghilangkan tegangan sisa. ASME *Boiler Pressure Vessel Code* menyebut perlakuan panas pasca 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 :

a. Mengurangi tegangan sisa (*residual stress*).

- b. Mengurangi kekerasan di daerah pengelasan dan daerah *Heat Affected Zone* (HAZ).
- c. Meningkatkan ketangguhan (*toughness*).
- d. Mengeluarkan hidrogen 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* (Vlack, 1981).

Heat treatment pasca pengelasan tujuan utamanya untuk meningkatkan sifat mekanik dari logam, meningkatkan ketahanan korosi terutama korosi tegangan, dan memperkecil pengaruh terjadinya retak pada daerah las.

Proses PWHT ini dilakukan dengan pemanasan lokal di dekat daerah pengelasan. Parameter-parameter yang harus diperhatikan dalam PWHT adalah:

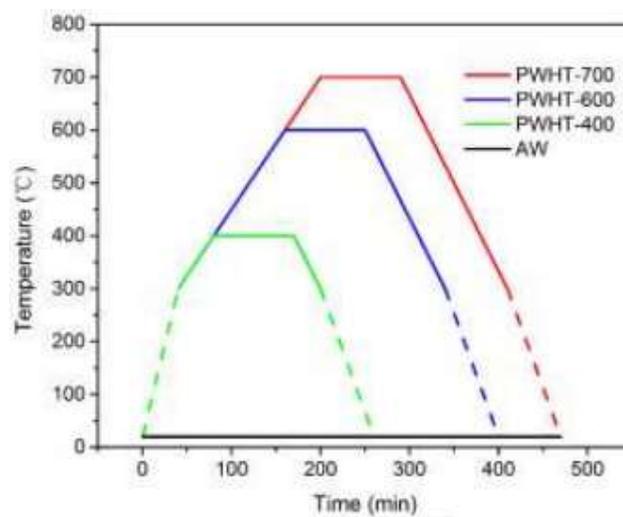
- a. *Heating Rate*: proses pemanasan sampai temperatur diatas atau dibawah temperatur kritis suatu material.
- b. *Holding Temperature*: proses penahanan material pada temperatur pemanasan untuk memberikan kesempatan adanya perubahan struktur mikro.
- c. *Cooling Rate*: proses pendinginan material dengan kecepatan tertentu tergantung pada sifat akhir material yang dibutuhkan (Novemry Yusuf, 2008).

Dalam melakukan PWHT ada beberapa faktor penting yang harus diperhatikan agar tujuan dari PWHT ini dapat tercapai. Berikut ini adalah faktor penting tersebut:

- a. *Expansion Area*: Proses pemanasan akan mengakibatkan terjadinya pemuaian dan ekspansi material. Sehingga harus diperhatikan bahwa saat *stress relief* material tersebut tidak mengalami *restraint*

- b. *Insulasi*: Area sekitar daerah yang akan di PWHT harus ditutup dilapisi dengan *ceramic fiber* untuk menjaga kestabilan suhu
- c. *Cleaning Material*: Permukaan material harus bersih
- d. *Support Material*: Proses pemanasan akan mengakibatkan pelunakan material sehingga diperlukan *support* agar tidak terjadi *distorsi* (Novemry Yusuf, 2008).

Berikut adalah diagram dari *Heating Treatment* (Perlakuan panas) yang ditampilkan dalam gambar 2.4



Gambar 2. 4 Proses PWHT (Chengze Zhang, 2017).

II. 6. Minyak Kimia (*Dromus Oil / Cutting Oil*).

Minyak kimia (*Dromus oil*) merupakan suatu minyak mineral hasil penyulingan dan adaptif yang komposisi dan sifat kimianya tertera pada tabel 2.7 *Dromus Oil* memberikan pendinginan yang sangat baik, pelumasan dan perlindungan karat digunakan dalam berbagai pengerolan dan pengerjaan mesin terutama dalam proses pemesinan perkakas. *Dromus oil* mempunyai kelarutan tingkat tinggi terhadap air sehingga dapat diemulsikan dengan rasio air, selain dari pada itu *dromus oil* juga tidak memiliki ampas ataupun larutan yang kasar yang dapat merusak alat potong dan juga spesimen benda kerja, *dromus oil* biasanya dicampurkan dengan air sebanyak 5:1 sampai 10:1 misalnya 5 liter air dicampurkan dengan 1 liter *dromus oil*, dengan demikian sangat memungkinkan

dimanfaatkan sebagai pendinginan pada besi saat terjadinya pemakanan pada proses pengerjaan berlangsung.

Dromus Oil 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 dilihat dari fungsi media pendingin pada umumnya, ada yang di gunakan untuk membersihkan benda, anti koros, melumasi benda, dan bahkan pemisah antara beram dan benda kerja. Namun secara umum dapat dikatakan bahwa fungsi utama dari media pendingin untuk melumasi dan mendinginkan

Tabel 2. 7 Komposisi dan Sifat Kimia *Dromus Oil*.

No	Komposisi		Chemical properties
	Name	Proportion	
1	Sodium sulphonate	1-4.9 %	Initial boiling :>100 0C
2	Polyolefin ether	1-3 %	Flash point :>100 0C
3	Alkyl amide	1-3 %	Density : 930 Kg/m3 at 150C
4	Long chain alkenyl amide borate	1-24 %	Kinematic viscositty 400 mm2/sec

(Sumber: Karmin dan Muchtar Ginting, 2012:3)

II. 7. Pengujian *Non Destructive Testing* (NDT)

Dibalik keunggulan proses pengelasan yang begitu banyak, akan tetapi dalam proses pengelasan logam hasilnya tidak selalu bagus, hal ini terjadi dipengaruhi oleh banyak faktor baik yang sengaja maupun yang tidak disengaja. Untuk menangani hal tersebut maka diperlukan adanya inspeksi hasil pengelasan agar sesuai dengan keinginan dan aman untuk digunakan. Metode untuk meng inspeksi hasil lasan salah satunya adalah dengan uji tidak merusak (NDT) metode *dye penetrant* (Endramawang, dkk, 2017).

Non Destructive Testing (Uji Tidak Merusak) adalah salah satu pengujian yang dapat dilakukan pada suatu material, komponen, struktur, atau mengukur beberapa karakteristik tanpa merusak komponen atau

material benda uji tersebut. Metode NDT bertujuan untuk mencari dan mengetahui karakteristik dan kondisi material, serta kekurangan yang mungkin menyebabkan komponen mengalami kegagalan, mencegah ledakan pipa dan berbagai kegagalan yang kurang terlihat tetapi dapat mengganggu kinerja unit. Test ini dilakukan dengan cara yang tidak mempengaruhi fungsi komponen, karena NDT memungkinkan bagian dan material yang akan diperiksa dan diukur tanpa harus merusak. Karena pemeriksaan dilakukan tanpa mengganggu struktur dan fungsi utama komponen. NDT memberikan keseimbangan yang sangat baik antara kontrol kualitas dan efektifitas biaya, sehingga secara umum NDT dapat dilakukan untuk inspeksi pada kondisi lingkungan terbuka maupun tertutup (Faizal M, 2018)

1. Metode Liquid Penetrant Test (*Dye Penetrant*)

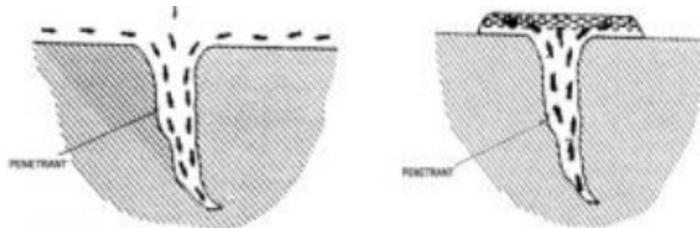
Metode Liquid Penetrant Test (dye penetrant) merupakan metode NDT yang paling sederhana namun mempunyai keunggulan berupa kecepatan dan keakuratan dalam mendeteksi efek yang ada di permukaan. Metode ini digunakan untuk menemukan cacat di permukaan terbuka dari komponen solid, baik logam maupun non logam, seperti keramik dan plastik fiber. Melalui metode ini, cacat pada material akan terlihat lebih jelas dengan melihat indikasi pada permukaan benda uji setelah disemprotkan developer yang kemudian di sket untuk dijadikan pelaporan kerja yang nantinya akan diterjemahkan untuk *acceptance criteria* (Endramawang, dkk, 2017).

Uji liquid penetrant ini dapat digunakan untuk mengetahui diskontinuitas halus pada permukaan seperti retak, berlubang atau kebocoran. Pada prinsipnya metode pengujian dengan liquid penetrant memanfaatkan daya kapilaritas (Faizal M, 2018).

Liquid penetrant dengan warna tertentu (merah) meresap masuk ke dalam diskontinuitas, kemudian liquid penetrant dikeluarkan dari dalam diskontinuitas dengan menggunakan cairan pengembang (developer) yang warnanya kontras dengan liquid penetrant (putih).

Terdeteksinya diskontinuitas adalah dengan timbulnya bercak-bercak merah (liquid penetrant) yang keluar dari dalam diskontinuitas (Faizal M, 2018).

Diskontinuitas yang mampu dideteksi dengan pengujian ini adalah diskontinuitas yang bersifat terbuka dengan prinsip kapilaritas. Deteksi diskontinuitas dengan cara ini tidak terbatas pada ukuran, bentuk arah diskontinuitas, struktur bahan maupun komposisinya. Liquid penetrant dapat meresap kedalam celah diskontinuitas yang sangat kecil. Pengujian penetrant tidak dapat mendeteksi kedalaman dari diskontinuitas. Proses ini banyak digunakan untuk menyelidiki keretakan permukaan (*surface cracks*), kekeroposan (*porosity*), lapisan-lapisan bahan, dll. Penggunaan uji liquid penetrant tidak terbatas pada logam *ferrous* dan *non ferrous* saja tetapi juga pada keramik, plastik, gelas, dan benda-benda hasil metalurgi serbuk (Faizal M, 2018).



Gambar 2. 5 Proses kapilaritas (Faizal M, 2018).

Keretakan atau kekeroposan yang ada dapat dideteksi jika keretakan tersebut merambat hingga ke permukaan benda. Sedangkan keretakan yang ada dibawah permukaan benda, tidak akan terdeteksi dengan menggunakan metoda pengujian ini.

1. Pada permukaan yang terlalu kasar atau berpori-pori juga dapat mengakibatkan indikasi palsu.
2. Metoda pengujian ini tidak dianjurkan untuk menyelidiki benda-benda hasil powder metallurgy yang kurang padat (Faizal M, 2018).

Liquid penetrant bila dilihat dari cara pembersihannya dapat diklasifikasikan menjadi tiga macam metode dan ketiganya memiliki perbedaan yang mencolok. Pemilihan salah satu sistem bergantung pada faktor-faktor berikut ini:

1. Kondisi permukaan benda kerja yang diselidiki
2. Karakteristik umum *discontinuity* / keretakan logam
3. Waktu dan tempat penyelidikan
4. Ukuran benda kerja (Faizal M, 2018).

2. Standar Penerimaan Penetran

Dalam pengujian penetrant dapat dinyatakan bahwa material tersebut dapat diterima apabila permukaannya bebas dari:

a. *Relevant linear indication*

Suatu cacat dikatakan memiliki indikasi linier dan akan direject apabila pada cacat tersebut memiliki panjang lebih dari 3 kali lebarnya dan yang besarnya lebih dari 1/16 in. (1,6 mm).

b. *Relevant rounded indication*

Suatu cacat dikatakan memiliki indikasi lingkaran apabila pada cacat tersebut memiliki panjang kurang dari 3 kali lebarnya.

1. Material tersebut akan dihapus apabila memiliki panjang atau lebar indikasi lingkaran lebih dari 3/16 (4,8 mm).
2. Material tersebut akan dihapus apabila memiliki 4 atau lebih indikasi lingkaran yang tersusun dalam satu baris, dengan jarak

II. 8. Pengujian Sifat Mekanik dan Struktur Mikro

1. Uji Impak

Uji Pukul adalah pembebanan yang sangat cepat. Uji pukul dilaksanakan pada bahan yang mengalami pukulan atau benturan, seperti kecelakaan / atau benturan helm. Uji pukul untuk mengukur ketangguhan suatu bahan atas pembebanan pukul / kejut. Uji pukul telah distandarkan oleh Charpy dan Izod. Dalam uji tersebut sepotong spesimen ditabrak suatu ayunan bandul dan energi yang dibutuhkan untuk merusaknya adalah yang diukur. Kedua uji pukul melibatkan

pengukuran yang sama, tetapi berbeda bentuk spesimennya. Keduanya menggunakan bandul (pendulum) yang mengayun ke bawah dari suatu ketinggian untuk memukul spesimen dan merusaknya sebagaimana Gambar 2.7 Untuk Izod memakai penjepit spesimen tinggi awal dan akhir menggunakan notasi h_0 dan h , sedangkan untuk Charpy memakai penahan spesimen tinggi awal dan akhir menggunakan notasi h dan h' . Bandul mempunyai sisi pisau (*knife edge*) untuk menabrak spesimen yang lengannya bersumbu pada poros (*pivot*) yang dilengkapi dengan jarum penunjuk sudut (*scale*) berawal dari posisi mula (*initial position*) setinggi h_0 dan setelah menabrak / memukul spesimen bandul terus menurun hingga mencapai ketinggian h , maka energi yang digunakan untuk merusaknya adalah, (Syamsul Hadi, 2016).

Prinsip pengukuran secara skematis ditunjukkan pada gambar 2.6 dimana sebagian energi akan diserap dinyatakan dalam satuan joule dan dibaca langsung pada skala (dial) petunjuk yang telah dikalibrasi yang terdapat di mesin penguji. Nilai kekuatan impak (HI) suatu bahan yang diuji dengan metode Charpy diberikan oleh:

$$HI = E/A$$

$$E = mgh_0 - mgh$$

Dimana: HI= Harga Impak

A= luas penampang

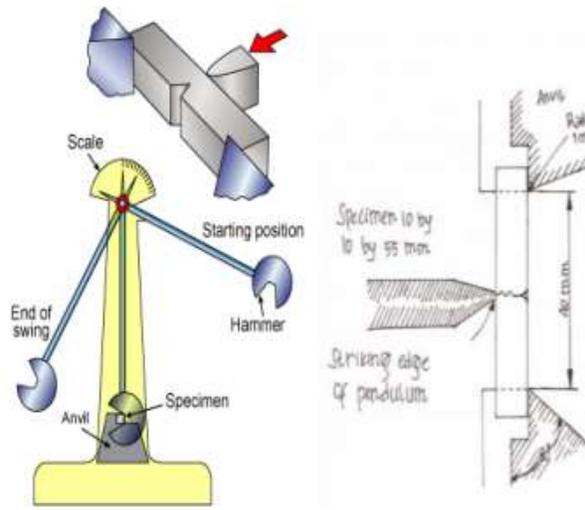
E= Energi Impak

M= Massa bandul

G= Gravitasi

H_0 = Tinggi awal bandul

H= Tinggi akhir bandul



Gambar 2. 6 Prinsip Pengukuran Impak Pada Charpy Test (A. Jalil, 2017).

Pengujian impak merupakan salah satu upaya untuk mensimulasikan kondisi operasi material yang sering ditemui dalam perlengkapan transportasi atau konstruksi dimana beban tidak selamanya terjadi secara perlahan-lahan melainkan secara tiba-tiba (A. Jalil, 2017).

Pada pengujian impak banyaknya energi yang diserap oleh bahan untuk terjadinya perpatahan merupakan ukuran ketahanan impak atau ketangguhan bahan tersebut. Material yang ulet akan menunjukkan harga impak yang besar dengan menyerap energi potensial dari pendulum beban yang berayun dari suatu ketinggian tentu akan menumbuk benda uji sehingga benda uji mengalami perubahan bentuk (A. Jalil, 2017).

Jenis perpatahan menjadi salah satu tolak ukur dari hasil pengujian impak, diantara jenis-jenis perpatahan pada pengujian impak sebagai berikut:

a. Patah Getas

Patahan yang terjadi pada benda yang getas, misalnya: besi tuang, dapat dianalisis Permukaan rata dan mengkilap, potongan

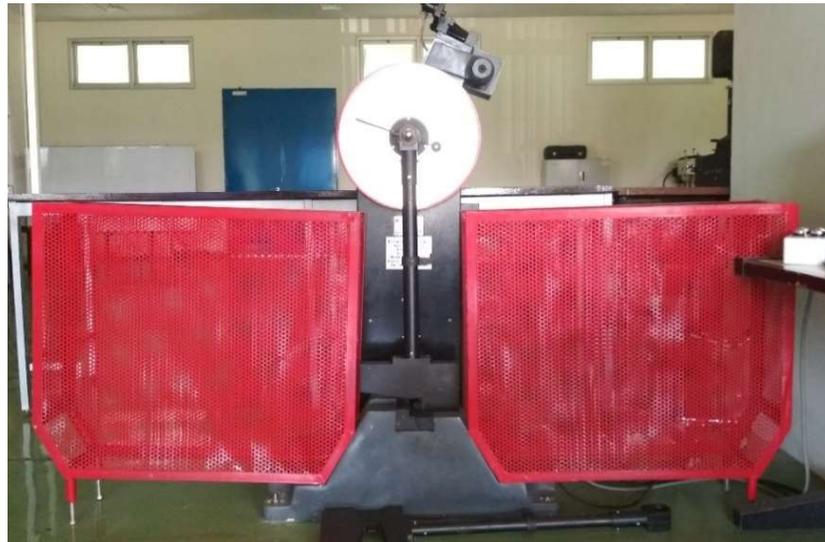
dapat dipasangkan kembali, keretakan tidak dibarengi deformasi, nilai pukulan takik rendah (A. Jalil, 2017).

b. Patah Ulet

Patahan yang terjadi pada benda yang lunak, misalnya: baja lunak, tembaga, dapat dianalisis Permukaan tidak rata buram dan berserat, pasangan potongan tidak bisa dipasang lagi, terdapat deformasi pada keretakan, nilai pukulan takik tinggi (A. Jalil, 2017).

c. Patah Campuran

Patahan yang terjadi pada bahan yang cukup kuat namun ulet, misalnya pada baja temper Gabungan patahan getas dan patahan liat, permukaan kusam dan sedikit berserat, potongan masih dapat dipasangkan, ada deformasi pada retakan (A. Jalil, 2017).

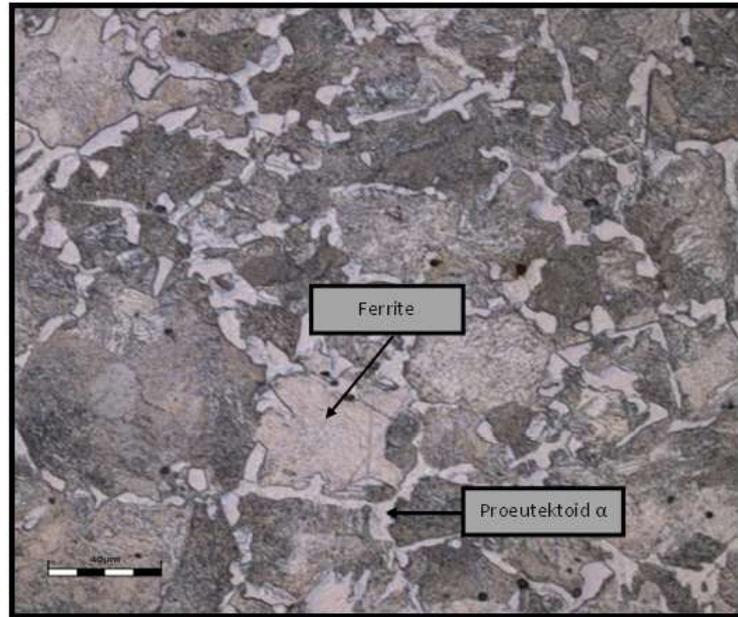


Gambar 2. 7 Mesin uji impak (Lab. Metalurgi Fisik UNHAS).

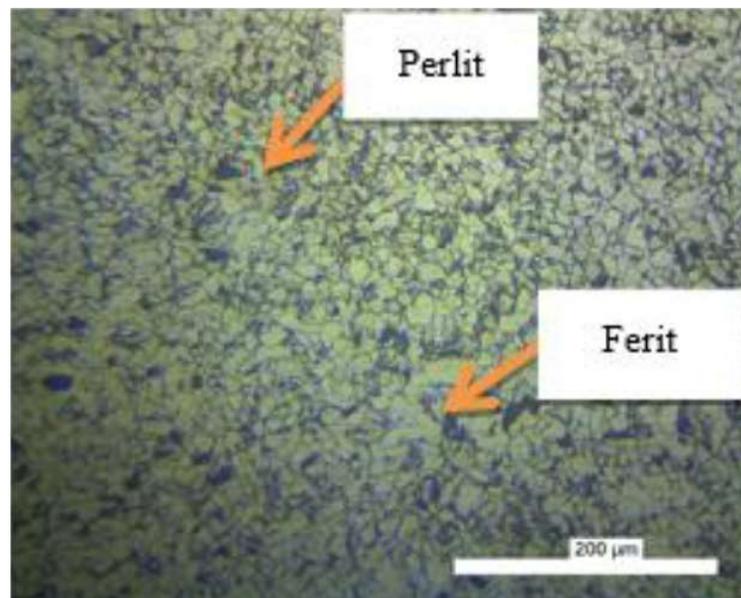
2. Uji Struktur Mikro

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

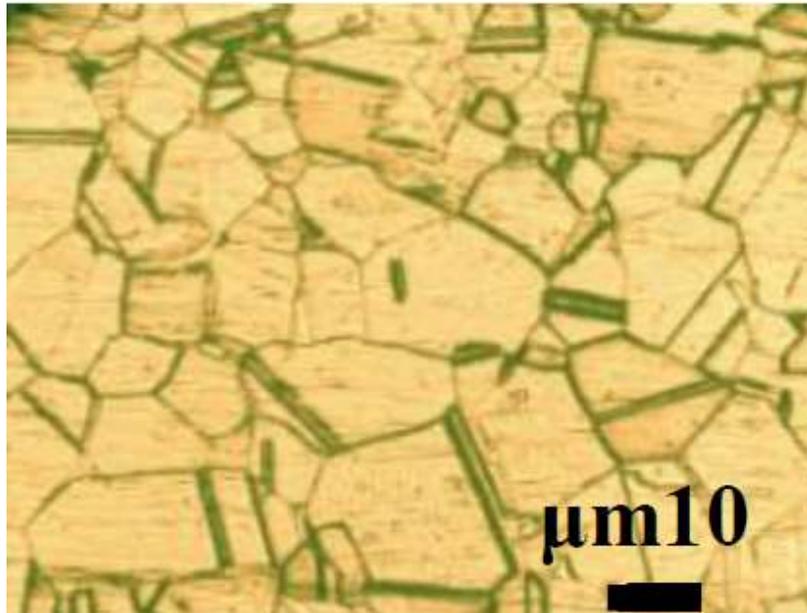
sebagai karakteristik bahan. Contoh foto struktur mikro perlit besi cor kelabu sebagaimana pada Gambar 2.19 berikut.



Gambar 2. 8 Struktur mikro AISI 1030 (Nurul Ichsan, 2020).



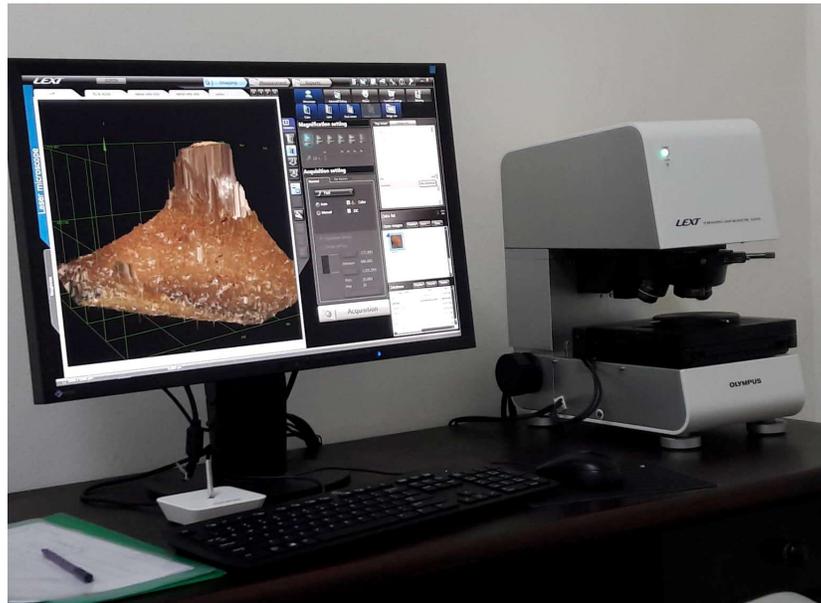
Gambar 2. 9 Struktur mikro raw materials ASTM A36 (Bajajar Sulistiyo, 2021)



Gambar 2. 10 Struktur mikro raw materials AISI 316L (Mirza Pramudia, 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. 11 Mikroskop optik untuk logam (Lab. Metalurgi Fisik UNHAS).