

SKRIPSI

**ANALISA PENGARUH VARIASI ARUS AMPERE PENGELASAN SMAW
SAMBUNGAN BAJA KAMPUH V BAJA ST 37 TERHADAP SIFAT
MEKANIS**



Disusun oleh:

**NAMA : ROMY ATHOYA NURMANDAKA
NIM : 1811176**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN S-1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2023**

LEMBAR PERSETUJUAN

SKRIPSI
ANALISA PENGARUH VARIASI ARUS AMPERE PENGELASAN SMAW
SAMBUNGAN BAJA KAMPUH V BAJA ST 37 TERHADAP SIFAT
MEKANIS



DISUSUN OLEH :

NAMA : ROMY ATHOYA NURMANDAKA
NIM : 1811176

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin S-1



Dr. I Komang Astana Widi, ST, MT.
NIP. Y. 1030400405

Diperiksa / Disetujui



Gerald Adityo Pohan, ST, M Eng.
NIP. P 1031500492

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

NAMA : ROMY ATHOYA NURMANDAKA
NIM : 1811176

Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin S-1, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang.

Menyatakan

Bahwa Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi saya yang berjudul “ANALISA PENGARUH VARIASI ARUS AMPERE PENGELASAN SMAW SAMBUNGAN BAJA KAMPUH V BAJA ST 37 TERHADAP SIFAT MEKANIS” adalah skripsi hasil karya sendiri, bukan menjiplak atau menduplikat serta tidak mengutip atau menyadur sebagian atau sepenuhnya dari hasil karya orang lain kecuali yang telah disebutkan dari sumber aslinya.

Malang, 5 september 2023



Romy Athoya N
NIM 1811176

LEMBAR ASISTENSI LAPORAN SKRIPSI

Nama : Romy Athoya Nurmandaka
 NIM : 1811176
 Jurusan : Teknik Mesin S-1
 Fakultas : Teknologi Industri
 Dosen Pembimbing : Gerald Adityo Pohan ST,M.Eng
 Judul Skripsi : ANALISA PENGARUH VARIASI ARUS AMPERE
 PENGELASAN SMAW SAMBUNGAN BAJA KAMPUH
 V BAJA ST 37 TERHADAP SIFAT MEKANIS
 Nilai : 75.50 (B+)

| No. | Kegiatan | Paraf Dosen | Paraf Mahasiswa |
|-----|---|---|---|
| 1. | Diskusi Pengajuan Judul |  |  |
| 2. | Persetujuan Judul Oleh Koordinator Bidang Ilmu dan Dosen Pembimbing |  |  |
| 3. | Penyusunan Proposal Skripsi BAB I, II, dan III |  |  |
| 4. | Perbaikan Proposal Skripsi BAB I, II, dan III |  |  |
| 5. | Persetujuan Proposal Skripsi BAB I, II, dan III |  |  |
| 6. | Seminar Proposal Skripsi BAB I, II, dan III |  |  |
| 7. | Penyusunan Laporan Skripsi BAB IV dan V |  |  |
| 8. | Perbaikan Laporan Skripsi BAB IV dan V |  |  |
| 9. | Persetujuan Laporan Skripsi Bab IV dan V |  |  |
| 10. | Seminar Hasil Laporan Skripsi BAB I, II, III, IV dan V |  |  |

Diperiksa
 Dosen Pembimbing



Gerald adityo Pohan , ST , M.Eng
 NIP.P .1031500492



PT. BNI (PERSERO) MALANG
BANK NAGA MALANG

PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting) Fax (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI

Nama : Romy Athoya Nurmandaka
NIM : 18.11.176
Jurusan / Bidang : Teknik Mesin / Material
Program Studi : Teknik Mesin S-1
Judul Skripsi : **ANALISA PENGARUH VARIASI ARUS AMPERE
PENGELASAN SMAW SAMBUNGAN BAJA
KAMPUH V BAJA ST 37 TERHADAP SIFAT
MEKANIS**

Dipertahankan Dihadapan Tim Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1) Pada

Hari : Rabu
Tanggal : 30 Agustus 2023
Telah Dievaluasi Dengan Nilai : 75.50 (B+)

PANITIA UJIAN SKRIPSI

KETUA

Dr. Komang Astana Widi, ST.,MT,
NIP.Y.1030400405

SEKRETARIS

Febi Rahmadiano, ST.MT
NIP.P.1031500490

ANGGOTA PENGUJI

PENGUJI I

Arif Kurniawan, ST.,MT,
NIP.P.1031500491

PENGUJI II

Rosadila febritasari, ST.MT
NIP.P.1032200602

ANALISA PENGARUH VARIASI ARUS AMPERE PENGELASAN SMAW SAMBUNGAN BAJA KAMPUH V BAJA ST 37 TERHADAP SIFAT MEKANIS

Romy Athoya Nurmandaka¹, Gerald Adityo Pohan²

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional
Malang

Jl. Raya Karanglo km 2, Malang 65145

Email: Romymilenium@gmail.com

ABSTRAK

Baja ST 37 termasuk baja karbon rendah yang setara dengan AISI 1045, dengan komposisi Mangan :0,8%, Silikon: 0,3 %. Secara umum Baja ST 37 dapat digunakan langsung tanpa mengalami perlakuan panas, kecuali jika diperlukan pemakaian khusus. Arti ST itu sendiri adalah singkatan dari steel kimia karbon ; 0. Sedangkan angka 37 menunjukkan batas minimum untuk kekuatan tarik 37 kg/mm^2 . Oleh karena itu perlu dilakukan penyelidikan yang lebih lanjut mengenai sifat mekanis dari baja ST 37. Metode penelitian ini merupakan metode eksperimen dengan melakukan Analisa variasi pengaruh arus ampere 80A, 90A dan 100A pengelasan SMAW sambungan baja kampuh V baja ST 37 terhadap sifat mekanis. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian kekerasan, pengujian bending dan pengujian micro. Untuk pengujian kekerasan dan uji micro yang dilakukan pada daerah logam induk (BM), daerah terkena panas atau heat affective zone (HAZ), dan daerah sambungan las weld line (WM). Dan uji bending sendiri untuk menentukan mutu suatu material secara visual. Proses pengujian material dengan cara ditekan untuk mendapatkan hasil berupa data tentang kekuatan lengkung (bending) suatu material yang diuji. Langkah terakhir adalah menyimpulkan hasil yang mencakup poin-poin penting yang sesuai dengan tujuan penelitian.

Kata Kunci : Baja ST 37, Pengujian Kekerasan, Pengujian Bending, Pengujian Micro, Pengelasan SMAW

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kepada Tuhan yang Maha Esa atas rahmat karunia, bimbingan, dan penyertaan-Nya selama ini. Dengan ketekunan dan juga pendampingan-Nya, saya sebagai mahasiswa Teknik Mesin S-1 Institut Teknologi Nasional Malang dapat menyelesaikan tugas akhir berupa skripsi dengan judul **“ANALISA PENGARUH VARIASI ARUS AMPERE PENGELASAN SMAW SAMBUNGAN BAJA KAMPUH V BAJA ST 37 TERHADAP SIFAT MEKANIS”** yang tentunya sebagai syarat kelulusan dan sebagai penerapan ilmu selama masa perkuliahan.

Penyusunan skripsi ini tentu tidak lepas dari adanya bantuan dari berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu saya sebagai penyusun skripsi ini, ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE selaku Rektor Institut Teknologi Nasional (ITN) Malang.
2. Ibu Dr. Ellysa Nursanti, ST. MT selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional (ITN) Malang.
3. Bapak Dr. I Komang Astana Widi, ST., MT sebagai Ketua Prodi Teknik Mesin S-1, Institut Teknologi Nasional (ITN) Malang.
4. Bapak Gerald Adityo Pohan ST, M.Eng. Selaku Dosen Pembimbing penyusunan Skripsi.
5. Kedua Orangtua yang selalu mendoakan dan mendukung penulis selama menempuh pendidikan di Teknik Mesin Institut Teknologi Nasional Malang.
6. Bapak dan Ibu dosen pengajar beserta karyawan di Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Nasional Malang atas segala bimbingan dan arahan selama penulis menempuh pendidikan.
7. Sahabat dan teman-teman terdekat yang selalu mendukung dan membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi.

Penyusun menyadari sebagai manusia biasa, pasti tidak akan pernah bisa sempurna. Maka dari itu, masih banyak kekurangan dalam penyusunan skripsi ini. Untuk itu penyusun mengharapkan kritik dan saran dari bapak/ibu dosen yang berguna untuk menyempurnakan isi skripsi ini. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penyusun maupun bagi pembaca dalam melakukan setiap

DAFTAR ISI

| | |
|---|-------------------------------------|
| LEMBAR PERSETUJUAN..... | Error! Bookmark not defined. |
| PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN | Error! Bookmark not defined. |
| LEMBAR ASISTENSI LAPORAN SKRIPSI | Error! Bookmark not defined. |
| BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI | iv |
| ABSTRAK | vi |
| KATA PENGANTAR | vii |
| DAFTAR ISI..... | viii |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| DAFTAR TABEL..... | xii |
| BAB 1 PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Batasan Masalah..... | 2 |
| 1.4 Tujuan Penelitian..... | 3 |
| 1.5 Manfaat Penelitian..... | 3 |
| 1.6 Metodologi Penelitian | 3 |
| 1.7 Sistematika Penulisan..... | 4 |
| BAB II LANDASAN TEORI | 5 |
| 2.1 Baja..... | 5 |
| 2.1.1 Baja ST 37 | 6 |
| 2.2 Pengelasan (Welding)..... | 6 |
| 2.3 SMAW (Las Shilded Metal Arc Welding) | 7 |
| 2.4 Siklus Termal Daerah Las | 9 |
| 2.5 Retak Pada Daerah Las..... | 10 |
| 2.5.1 Jenis Retak Las | 10 |
| 2.5.2 Penyebab Retak Las | 11 |
| 2.6 Jenis Sambungan Las | 12 |
| 2.7 Jenis Elektroda..... | 12 |
| 2.8 Elektroda | 14 |
| 2.8.1 AWS E6013 | 14 |
| 2.8.2 Elektroda AWS E7018 Spesifikasi Elektroda AWS E 7018..... | 14 |
| BAB III METODE PENELITIAN..... | 15 |
| 3.1 Diagram Alur Penelitian..... | 15 |

| | | |
|--|--|----|
| 3.2 | Bahan Yang Digunakan..... | 16 |
| 3.3 | Alat Yang Digunakan | 16 |
| 3.4 | Cara Pembuatan Spesimen | 17 |
| 3.5 | Proses Pengelasan..... | 18 |
| 3.6 | Prosedur Penelitian | 19 |
| 3.6.1 | Uji Bending | 19 |
| 3.6.2 | Uji Kekerasan..... | 20 |
| 3.6.3 | Uji Micro..... | 23 |
| 3.7 | Specimen hasil Pengujian..... | 25 |
| BAB IV PENGOLAHAN DATA DAN PEMBAHASAN..... | | 26 |
| 4.1 | PENGUJIAN MIKRO..... | 26 |
| 4.1.1 | Struktur Micro Daerah Lasan | 27 |
| 4.1.2 | Struktur Mikro Hasil Pengelasan Dengan Ampere 80 A..... | 28 |
| 4.1.3 | Struktur Mikro Hasil Pengelasan Dengan Ampere 90 A..... | 29 |
| 4.1.4 | Struktur Mikro Hasil Pengelasan Dengan Ampere 100 A..... | 30 |
| 4.1.5 | Tabel % Perlit Dan % Ferit..... | 31 |
| 4.1.6 | Tabel Rata-Rata Nilai Kekerasan HR _B | 32 |
| 4.1.7 | Grafik Presentase Ferit dan Perlit | 32 |
| 4.1.8 | Analisa dan Pembahasan | 32 |
| 4.2 | PENGUJIAN BENDING | 34 |
| 4.2.1 | Data Hasil Pengujian Uji Bending..... | 35 |
| 4.2.2 | Angka Pengujian Bending Variasi Arus..... | 36 |
| 4.2.3 | Diagram Grafik Uji Bending | 36 |
| 4.2.4 | Analisa dan Pembahasan | 36 |
| 4.3 | PENGUJIAN KEKERASAN..... | 37 |
| 4.3.1 | Data Hasil Pengujian | 38 |
| 4.3.2 | Angka Pengujian Kekerasan Specimen Variasi Arus..... | 39 |
| 4.3.3 | Diagram grafik Uji Kekerasan | 40 |
| 4.3.4 | Analisa dan Pembahasan | 40 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN..... | | 42 |
| 1. | Kesimpulan : | 42 |
| 2. | Saran :..... | 42 |
| DAFTAR PUSTAKA | | 43 |
| LAMPIRAN..... | | 44 |
| | Lampiran 1 Biodata Penulis | 44 |
| | Lampiran 2 Lembar data Pengujian | 45 |

| | |
|--|----|
| Lampiran 3 Dokumentasi Alat dan Bahan Pengelasan | 51 |
| Lampiran 4 Dokumentasi Pengujian | 53 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2. 1 : SMAW (Shield Manual Arc Welding) | 7 |
| Gambar 2. 2 : Siklus Termal Dalam Daerah HAZ..... | 9 |
| Gambar 2. 3 : Retak Dingin | 10 |
| Gambar 2. 4 : Retak Panas | 10 |
| Gambar 2. 5 : Macam - Macam Bentuk Kampuh | 12 |
| | |
| Gambar 3. 1 : Diagram Alur Penelitian | 15 |
| Gambar 3. 2 : Bentuk Kampuh V..... | 17 |
| Gambar 3. 3 : Pembuatan Kampuh V | 17 |
| Gambar 3. 4 : Pembuatan Root Face Pada Kampuh | 18 |
| Gambar 3. 5 : Proses Pengelasan Kampuh V..... | 19 |
| Gambar 3. 6 : Skema Pengujian Bending | 19 |
| Gambar 3. 7 : Skema Pengujian Tekuk Face Bend pada Transversal Bending | 20 |
| Gambar 3. 8 : Skema pengujian Kekerasan | 21 |
| | |
| Gambar 4. 1 : Uji Mikro..... | 26 |
| Gambar 4. 2 : Foto makro lokasi pengambilan struktur mikro spesimen las dengan bahan ST. 37 | 26 |
| Gambar 4. 3 : Struktur mikro spesimen ST. 37 hasil sambungan las dengan variasi 80 A (a. Base Metal, B. Haz, dan c. Weld metal) | 28 |
| Gambar 4. 4 : Struktur mikro spesimen ST. 37 hasil sambungan las dengan variasi 90 A (a. Base Metal, B. Haz, dan c. Weld metal) | 29 |
| Gambar 4. 5 : Struktur mikro spesimen ST. 37 hasil sambungan las dengan variasi 90 A (a. Base Metal, B. Haz, dan c. Weld metal | 30 |
| Gambar 4. 6 : Persentase Ferit dan Perlit..... | 32 |
| Gambar 4. 7 : Uji Bending | 34 |
| Gambar 4. 8 : Skema Pengujian Bending | 34 |
| Gambar 4. 9 : Skema Pengujian Tekuk Face Bend pada Transversal Bending | 35 |
| Gambar 4. 10 : Diagram Grafik Uji Bending..... | 36 |
| Gambar 4. 11 : Uji Kekerasan..... | 37 |
| Gambar 4. 12 : Skema Pengujian Kekerasan | 38 |
| Gambar 4. 13 : Diagram Grafik Pengujian Kekerasan | 40 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 3. 1 : Rockwell Hardness Scales | 22 |
| Tabel 4. 1 : Struktur Mikro Daerah Las Dengan Bahan ST. 37..... | 27 |
| Tabel 4. 2 : Presentase Perlit Dan Ferit..... | 28 |
| Tabel 4. 3 : % Perlit Dan % Ferit | 32 |
| Tabel 4. 4 : Rata-Rata Nilai Kekerasan HRB | 32 |
| Tabel 4. 5 : Tabel uji bending | 35 |
| Tabel 4. 6 : Hasil rata rata uji bending | 36 |
| Tabel 4. 7 : Hasil Pengujian Kekerasan | 39 |
| Tabel 4. 8 : Hasil rata rata uji kekerasan..... | 39 |

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan teknologi di bidang konstruksi, pengelasan merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari pertumbuhan dan peningkatan industri, karena mempunyai peranan yang sangat penting dalam rekayasa dan reparasi produksi logam. Hampir pada setiap pembangunan suatu konstruksi dengan logam melibatkan unsur pengelasan.

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam industri telah mendorong peningkatan dalam permintaan terhadap penyambungan logam yang semakin banyak dan disesuaikan dengan kebutuhan untuk memenuhi keperluan aplikasi baru. Industri pembuatan pesawat terbang, perkapalan, mobil dan industri pengangkutan merupakan contoh industri yang sekarang mengaplikasikan bahan-bahan dan tipe dalam proses penyambungan pengelasan yang memiliki sifat tahan karat, kuat, tahan terhadap keausan fatigue serta ekonomis sebagai bahan baku industrinya. Hal ini mendorong pengembangan teknologi proses pengelasan dengan penyambungan berbeda jenis logam.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pengelasan logam dengan variasi arus pada sambungan las SMAW. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental yaitu bahan baja ST 37 menggunakan mesin las SMAW dengan elektroda E 7018 dan E6013 dengan variasi arus 80 A , 90 A dan 100 A. Jenis sambungan yang digunakan sambungan tumpul dengan kampuh V dengan specimen sesuai standar AWS. Selanjutnya dilakukan pengujian meliputi, pengujian bending , pengujian kekerasan dan pengujian micro.

1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian diatas, maka perumusan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh variasi arus ampere pada proses pengelasan SMAW pada baja ST 37 terhadap uji mikro ?
2. Bagaimana pengaruh variasi arus ampere pada proses pengelasan SMAW pada baja ST 37 terhadap uji bending ?
3. Bagaimana pengaruh variasi arus ampere pada proses pengelasan SMAW pada baja ST 37 terhadap kekerasan ?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini sistematis maka ruang lingkup permasalahan perlu dibatasi guna menghindari penambahan masalah yang melebar dan tidak terarah pada permasalahan utama maka perlu adanya batasan-batasan sebagai berikut :

1. Bahan Logam yang dipakai adalah baja paduan jenis Baja ST 37.
2. Dengan menggunakan Elektroda baja AWS E 7018 dan E 6013 diameter elektroda \varnothing 2.6 mm.
3. Proses pengelasan menggunakan Shielded Metal Arc Welding (SMAW) dengan arus 80 ampere , 90 ampere dan 100 ampere.
4. Proses penyambungan logam menggunakan tipe But Joint.
5. Pengujian yang diberikan Uji Bending, Uji Kekerasan dan Pengamatan Mikro.
6. Proses pendinginan cepat diabaikan.
7. Kecepatan pengelasan diabaikan.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari pelaksanaan penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi arus ampere yang digunakan terhadap hasil sambungan daerah pengelasan dengan Baja ST 37.
2. Untuk mengetahui pengaruh variasi arus ampere pada proses pengelasan SMAWBaja ST 37 terhadap kekuatan Bending.
3. Untuk mengetahui pengaruh variasi arus ampere pada proses pengelasan SMAWBaja ST 37 terhadap uji kekerasan.
4. Untuk mengetahui pengaruh variasi arus ampere pada proses pengelasan SMAWBaja ST 37 terhadap mikro.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Bagi pengguna, penelitian ini di harapkan dapat memberikan informasi dan pengetahuan tentang pengaruh arus pada proses pengelasan sambungan tumpul kampuh V pada Baja ST 37.
2. Bagi bidang keilmuan, penelitian ini di harapkan dapat memberikan pengetahuan yang baru tentang sifat mekanik hasil proses las.
3. Diharapkan dapat dijadikan acuan bagi penelitian selanjutnya, khususnya proses pengelasannya dengan menggunakan material lainnya dengan perbedaan spesifikasi material.

1.6 Metodologi Penelitian

1. Metode Literature

Melakukan studi literatur terkait jurnal-jurnal penelitian pengelasan serta bahan material Baja ST 37

2. Metode Eksperimental

Metode ini yaitu melakukan proses penelitian dan pengambilan data langsung di lapangan untuk dijadikan data yang akan diolah lebih lanjut.

1.7 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Menejelaskan tentang latar belakang penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan yang diberikan dari hasil penelitian.

BAB II LANDASAN TEORI

Memberikan penjelasan tentang material baja ST 37, jenis elektroda yang digunakan dan spesifikasinya serta memberikan penjelasan mengenai pengelasan sambungan tumpul; . Dari dasar teori diharapkan dapat menunjang penelitian yang dilakukan.

BAB III METODE PENELITIAN

Menerangkan rancangan penelitian yang akan dilakukan untuk memperoleh data.

BAB IV PENGOLAHAN DATA DAN PEMBAHASAN

Merupakan rangkaian dari data yang berkaitan dengan hasil penelitian yang dilaksanakan dan dibahas berdasarkan fakta dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

BAB V KESIMPULAN

Merupakan hasil ringkasan dari proses penelitian yang dilakukan, kesimpulan mencakup hasil penelitian yang telah dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Baja

Baja (steel) adalah paduan antara (Fe) dan karbon dengan kandungan kurang lebih 1.7 %. Produk ini secara teknik dan dinyatakan sebagai baja karbon. Pembuatan baja dapat dilakukan dengan konventor, dapur simens martin dan dapur listrik. Baja juga dapat dilakukan perlakuan, baik panas maupun dingin.

Baja merupakan salah satu jenis logam yang banyak digunakan dengan unsur karbon sebagai salah satu dasar campurannya. Di samping itu baja juga mengandung unsur- unsur lain seperti sulfur (S), fosfor (P), silikon (Si), mangan (Mn), dan sebagainya yang jumlahnya dibatasi. Sifat baja pada umumnya sangat dipengaruhi oleh prosentase karbon dan struktur mikro. Struktur mikro pada baja karbon dipengaruhi oleh perlakuan panas dan komposisi baja. Karbon dengan unsur campuran lain dalam baja membentuk karbid yang dapat menambah kekerasan, tahan gores dan tahan suhu baja. Perbedaan prosentase karbon dalam campuran logam baja karbon menjadilah satu cara mengklasifikasikan baja. Berdasarkan kandungan karbon, baja dibagi menjadi tiga macam, yaitu :

- 1) Baja karbon rendah Baja karbon rendah (low carbon steel) mengandung karbon dalam campuran baja karbon kurang dari 0,3%. Baja ini bukan baja yang keras karena kandungan karbonnya yang rendah kurang dari 0,3%C. Baja karbon rendah tidak dapat dikeraskan karena kandungan karbonnya tidak cukup untuk membentuk struktur martensit (Amanto, 1999).
- 2) Baja karbon menengah Baja karbon sedang mengandung karbon 0,3% C – 0,6%C (medium carbon steel) dan dengan kandungan karbonnya memungkinkan baja untuk dikeraskan sebagian dengan perlakuan panas (heat treatment) yang sesuai. Baja karbon sedang lebih keras serta lebih kuat dibandingkan dengan baja karbon rendah (Amanto, 1999).
- 3) Baja karbon tinggi Baja karbon tinggi mengandung 0,6%C – 1,5%C dan memiliki kekerasan tinggi namun pada grafik tegangan regangan. Berkebalikan dengan baja karbon rendah, pengerasan dengan perlakuan

panas pada baja karbon tinggi tidak memberikan hasil yang optimal dikarenakan terlalu banyaknya martensit sehingga membuat baja menjadi getas. Keuletannya lebih rendah, hampir tidak dapat diketahui jarak tegangan lumernya terhadap tegangan proporsional.

2.1.1 Baja ST 37

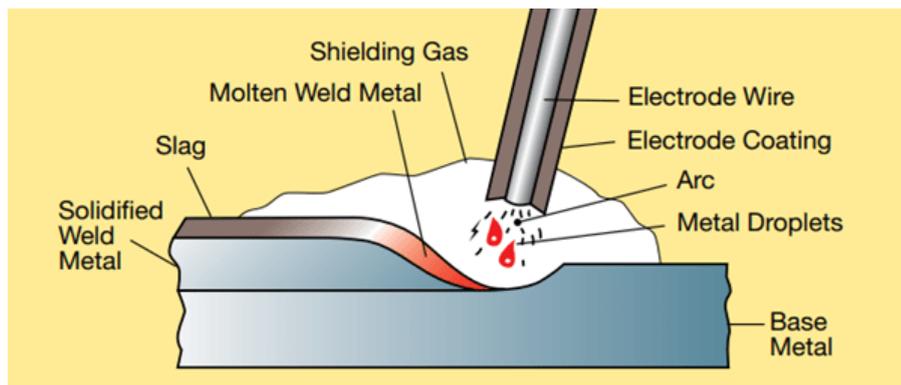
Baja ST 37 adalah baja karbon sedang yang setara dengan AISI 1045, dengan komposisi Mangan : 0,8 % , Silikon : 0,3 % . Secara umum Baja ST 37 dapat digunakan langsung tanpa mengalami perlakuan panas, kecuali jika diperlukan pemakaian khusus. Arti St itu sendiri adalah singkatan dari steel kimia karbon ; 0, (baja). Sedangkan angka 37 menunjukkan batas minimum untuk kekuatan tarik 37 kN/mm².

2.2 Pengelasan (Welding)

Pengelasan (Welding) adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan. Pengelasan atau Welding didefinisikan oleh DIN (Deutsche Industrie Normen) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dengan kata lain, pengelasan adalah suatu proses penyambungan logam menjadi satu akibat panas atau tanpa pengaruh tekanan atau dapat juga didefinisikan sebagai ikatan metalurgi yang ditimbulkan oleh gaya tarik menarik antarlogam. Mengelas adalah suatu aktifitas menyambung dua bagian benda atau lebih dengan cara memanaskan atau menekan atau gabungan dari keduanya sedemikian rupa sehingga menyatu seperti benda utuh. Penyambungan bisa dengan atau tanpa bahan tambah (Filler Metal) yang sama atau berbeda titik cair maupun strukturnya. Kebutuhan las yang semakin berkembang berbanding lurus dengan perkembangan pada pengelasan, misalnya pada metode pengelasan. Metode pengelasan yang ada sekarang ini sudah mengalami perkembangan. Dijabarkan tentang berbagai macam las dan tahun penemuannya menurut (Alip, 1989).

2.3 SMAW (Las Shilded Metal Arc Welding)

Proses pengelasan (welding) merupakan salah satu proses penyambungan material (material joining). Adapun untuk definisi dari proses pengelasan yang mengacu pada AWS (American Welding Society), proses pengelasan adalah proses penyambungan antara metal atau non-metal yang menghasilkan satu bagian yang menyatu, dengan memanaskan material yang akan disambung sampai pada suhu pengelasan tertentu, dengan atau tanpa penekanan, dan dengan atau tanpa logam pengisi. Logam pengisi yang ada di dalam elektroda dibungkus oleh slag yang akan menjadi pelindung logam lasan saat proses pengelasan berlangsung. Las SMAW biasa disebut juga dengan istilah MMA (Manual Metal Arc) atau stick welding. Diagram proses pengelasan SMAW dapat dilihat pada ilustrasi berikut.



Gambar 2. 1 : SMAW (Shield Manual Are Welding)

Sumber : Harsono Wiryosumarto, Toshi Okumura. 2008.

TeknologiPengelasan Logam. Jakarta : PT Balai
Pustaka (Persero)

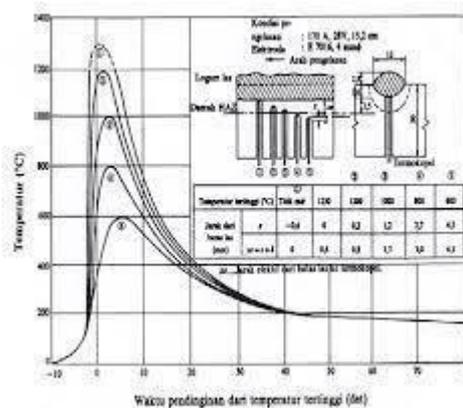
Kata shielded metal arc welding (SMAW) merujuk pada proses penyambungan dua buah logam atau penambahan logam pada permukaan logam yang ada. Masing-masing kata dalam SMAW memiliki makna, shielded maksudnya kemampuan untuk menghilangkan udara di sekitar lasan agar terhindar dari efek-efek yang menurunkan kualitas lasan.

Dalam hal lain, kata shielded di sini juga dapat ditunjukkan pada inti elektroda yang terbungkus dengan flux. Kata metal maksudnya adalah inti dari elektroda berupa logam atau batang konduktor yang kemudian mencair dan mengisi kolam las; arc atau busur mengacu pelepasan plasma yang merubah energi listrik menjadi panas. Sedangkan kata welding menunjukkan penyambungan logam dilakukan secara fusi.

- Pada proses pengelasan terdapat tiga daerah seperti terlihat pada
- a) Logam induk (base metal), merupakan bagian logam dasar dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahanperubahan struktur dan sifat.
 - b) Logam las, merupakan bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan membeku.
 - c) Daerah pengaruh panas atau heat affected zone (HAZ), merupakan logam dasar yang bersebelahan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat. Selain ketiga pembagian tersebut masih ada satu daerah khusus yang membatasi antara logam las dengan daerah pengaruh panas yang disebut batas las atau daerah fusi (fusion line) [Wiryosumarto, 1996].

2.4 Siklus Termal Daerah Las

Siklus Termal Daerah Las Siklus termal las adalah proses pemanasan dan pendinginan pada daerah lasan, Siklus termal las suatu proses pemanasan dan pendinginan di daerah lasan. Karena itu banyak sekali usaha-usaha pendekatan untuk menentukan lamanya waktu pendinginan tersebut. Pendekatan ini biasanya dinyatakan dalam bentuk rumus empiris. Struktur mikro dan sifat mekanik dari daerah HAZ sebagian besar tergantung pada lamanya pendinginan dari temperatur 800°C sampai 500°C. Sedangkan retak dingin, di mana hidrogen memegang peranan penting, terjadinya sangat tergantung oleh lamanya pendinginan dari temperatur 800°C sampai 300°C atau 100°C.



Gambar 2. 2 : Siklus Termal Dalam Daerah HAZ

Sumber : Sutejo (2004)

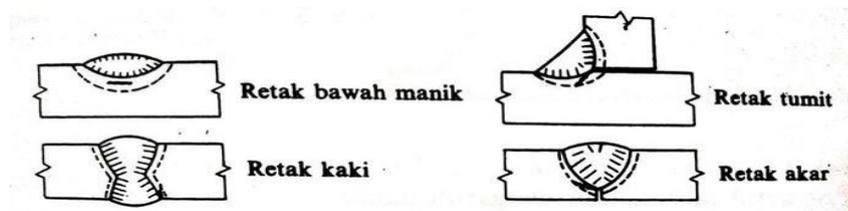
sebagai contoh dapat dilihat pada Gambar. 2.2 , menunjukkan siklus termal daerah lasan. Pada Gambar 2.2 dapat dilihat siklus termal dari beberapa tempat dalam daerah HAZ dengan kondisi pengelasan tetap. Lamanya pendinginan dalam suatu daerah temperatur tertentu dari suatu siklus termal las sangat mempengaruhi kualitas sambungan, karena itu banyak sekali usaha-usaha pendekatan untuk menentukan lamanya waktu pendinginan tersebut.

2.5 Retak Pada Daerah Las

2.5.1 Jenis Retak Las

Retak las dapat dibagi dalam dua kelompok yaitu kelompok retak dingin dan retak panas. Retak dingin adalah retak yang terjadi di daerah las pada suhu di bawah suhu transformasi martensit (M_s) yang tingginya kira-kira 300°C , sedangkan retak panas adalah retak yang terjadi pada suhu di atas 550°C .

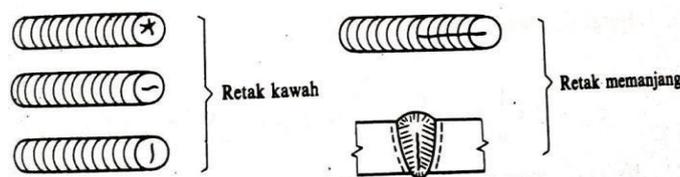
Retak dingin dapat terjadi tidak hanya pada daerah HAZ, tetapi juga pada logam las. Retak dingin pada daerah pengaruh panas sering terjadi pada :retak bawah manik, retak kaki, retak tumit dan retak akar.



Gambar 2. 3 : Retak Dingin

Sumber : Harsono Wiryosumarto, Toshi Okumura. 2008. Teknologi Pengelasan Logam.
Jakarta : PT Balai Pustaka (Persero)

Retak panas yaitu retak karena pembebanan tegangan pada daerah pengaruh panas yang terjadi pada suhu antara 550°C - 700°C dan retak yang terjadi pada suhu di atas 900°C yang terjadi pada peristiwa pembekuan logam las. Retak panas yang sering terjadipada logam las karena pembekuan biasanya berbentuk retak kawah, dan retak memanjang. Pada pengelasan baja tahan karat austenit, biasanya terjadi retak panas di daerah HAZ dan logam las. Retak panas karena pembebasan tegangan pada umumnya terjadi pada daerah kaki di dalam daerah pengaruh panas.



Gambar 2. 4 : Retak Panas

Sumber : Harsono Wiryosumarto, Toshi Okumura. 2008.
TeknologiPengelasan Logam.
Jakarta : PT Balai Pustaka (Persero)

2.5.2 Penyebab Retak Las

Retak dingin di daerah pengaruh panas atau HAZ biasanya terjadi antara beberapa menit sampai 48 jam sesudah pengelasan. Karena itu retak ini disebut juga retak lambat. Retak dingin disebabkan oleh 3 hal berikut :

a. Struktur daerah pengaruh panas (HAZ).

Struktur dari daerah pengaruh panas ditentukan oleh komposisi kimia dari logam induk dan kecepatan pendinginan dari daerah las. Retak dingin di daerah HAZ dalam pengelasan baja biasanya terjadi pada daerah martensit. Pengaruh dari unsur paduan terhadap kepekaan retak dingin dari daerah HAZ biasanya dapat dilihat dari harga ekuivalen karbon dari unsur-unsur yang dikandung (C_{ek}) dan harga parameter retak (P_{CM}). Dalam hal ini jika nilai dari C_{ek} dan P_{CM} turun, maka kepekaan terhadap retak dingin dari daerah pengaruh panas juga turun. Kekuatan baja yang turun karena turunnya C_{ek} dan P_{CM} dapat diperbaiki dengan mengatur jenis dan banyaknya unsur yang dicampurkan pada waktu pembuatan baja. Selain itu dapat juga diperbaiki dengan memilih kondisi pengerolan, misal dilakukan pada suhu rendah atau memilih dan mengatur proses perlakuan panas yang digunakan.

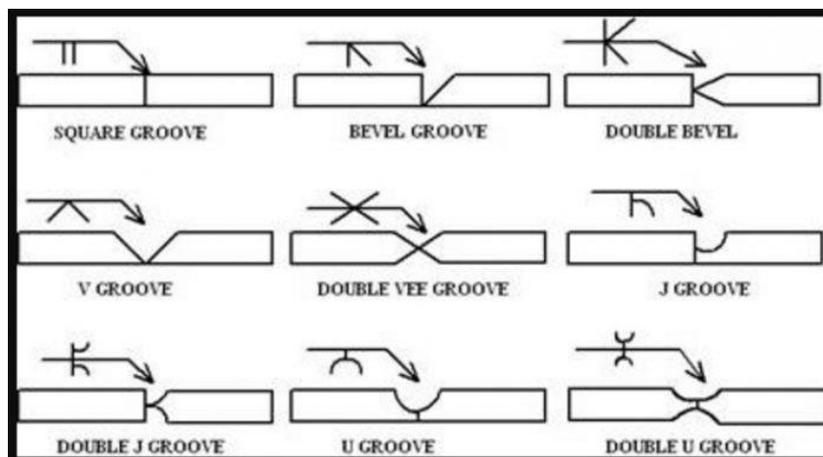
b. Hidrogen difusi dalam daerah las.

Retak las juga dipengaruhi oleh adanya difusi hidrogen dari logam las ke dalam daerah pengaruh panas. Pada waktu logam las mencair, logam ini menyerap hidrogen dengan jumlah besar yang dilepaskan dengan cara difusi pada suhu rendah karena pada suhu tersebut kelarutan hidrogen menurun. Hidrogen yang didifusikan ini menyebabkan terjadinya retak di daerah pengaruh panas. Logam ini menyerap hidrogen dengan jumlah besar yang dilepaskan dengan cara difusi pada suhu rendah karena pada suhu tersebut kelarutan hidrogen menurun. Hidrogen yang didifusikan ini menyebabkan terjadinya retak di daerah pengaruh panas.

2.6 Jenis Sambungan Las

Jenis Sambungan Pengelasan adalah tipe sambungan material atau plat yang digunakan untuk proses pengelasan. Jenis sambungan las mempunyai beberapa macam yang menjadi jenis sambungan utama yaitu Butt Joint, Fillet (T) Joint, Corner Joint, Lap Joint dan Edge Joint.

Sambungan butt joint adalah jenis sambungan tumpul, dalam aplikasinya jenis sambungan ini terdapat berbagai macam jenis kampuh atau groove yaitu V groove (kampuh V), single bevel, J groove, U Groove, Square Groove untuk melihat *macam macam kampuh las* lebih detail silahkan lihat gambar berikut ini.



Gambar 2. 5 : Macam - Macam Bentuk Kampuh

Sumber :

<https://www.pengelasan.net/sambungan-las/>

2.7 Jenis Elektroda

Elektroda adalah konduktor yang dilalui arus listrik dari satu media ke yang lain, biasanya dari sumber listrik ke perangkat atau bahan. Elektroda dapat mengambil beberapa bentuk yang berbeda, termasuk kawat, piring, atau tongkat, dan yang paling sering terbuat dari logam, seperti tembaga, perak, timah, atau seng, tetapi juga dapat dibuat dari bahan konduktor listrik nonlogam, seperti grafit. Elektroda yang digunakan dalam pengelasan, listrik, baterai, obat-obatan, dan industri untuk proses yang melibatkan elektrolisis. Elektroda Las untuk Mild Steel (Baja Lunak/ baja umum).

Kawat las smaw jenis ini ditunjukkan dengan kode Exxxx (4 angka).

Sebagai contoh kawat las dengan kode elektroda E6013, cara membacanya adalah sebagai berikut :

E = elektroda untuk jenis las SMAW

E60xx = dua digit pertama (angka 60) menunjukkan kekuatan tariknya dalam Ksi (kilopound-square-inch). Angka 60 berarti kekuatan tariknya 60 ksi, jika angkanya 70 berarti 70 ksi. Dalam ukuran "psi" (pound square inch) sama dengan 70000 psi, dimana 1 Ksi = 1000psi.

Exx1x = digit ketiga (angka 1) adalah posisi pengelasan. kode angka 1 – untuk semua posisi

kode angka 2 – untuk posisi flat dan horizontal kpde angka 3 – hanya untuk posisi flat.

Exxx3 = digit keempat (angka 3) menunjukkan:

jenis salutan

penetrasi busur

arus las

serbuk besi (%)

Contoh lain misalnya jenis kawat las E7018, artinya:

E: Elektroda,

70 : kekuatan tarik 70000psi,

1 : dapat digunakan semua posisi (datar, horisontal, vertikal dan overhead)

8 : penetrasi las sedang, daya AC/DC, kandungan selaputnya serbuk besi 25%-40%, hidrogen rendah.

Dengan kekuatan tarik yang cukup kuat sebesar 70000psi (70 kgf/mm²), elektroda (kawat las) jenis E70xx banyak diaplikasikan untuk pengelasan pipa bertekanan (pressure pipe), furnace (tungku), konstruksi dan lain-lain.

Sedangkan jenis E60xx karena kuat tariknya hanya 60.000psi (60 kgf/mm²)

biasanya hanya untuk tagweld dan pengelasan non tekanan / pressure, misalnya untuk pagar tralis dan lain-lain.

2.8 Elektroda

2.8.1 AWS E6013

Spesifikasi Elektroda AWS E 6013

Penekanan desain fluks dirancang untuk menghasilkan slag pembekuan yang cepat namun fluida sehingga memudahkan semua pengelasan posisi termasuk vertikal ke bawah. Rutil seimbang, fluks selulosa yang mengandung elemen paduan dan deoksidasi diekstrusi ke kawat baja ringan dengan campuran silikat yang memastikan kekuatan dan stabilitas lapisan.

Elektroda dilas dengan busur stabil halus pada AC dan DC. Hujanrintik-rintik minimal. Jahitan las halus, cerah, dan bergelombang rata. Untuk pengelasan bawah dan vertikal ke bawah gunakan ampere menuju ujungatas dan untuk pengangkatan vertikal dan overhead ke arah bawah kisaran. Pelepasan terak sangat baik dan pemulihan logam hingga 90% sehubungan dengan berat kawat inti.

Baja karbon-mangan ringan dan sedang hingga setebal 15 mm dengan UTS maks 500 N / mm². Nilai umum:

BS 1449 plate and sheet, BS 4360 grades 43A and 43C, Lloyds A & D ship steel BS 4360 grade 50B Lloyds grades AH and DH, BS 3059 and BS 3601 grade 320-410, API5L A-B and X42.

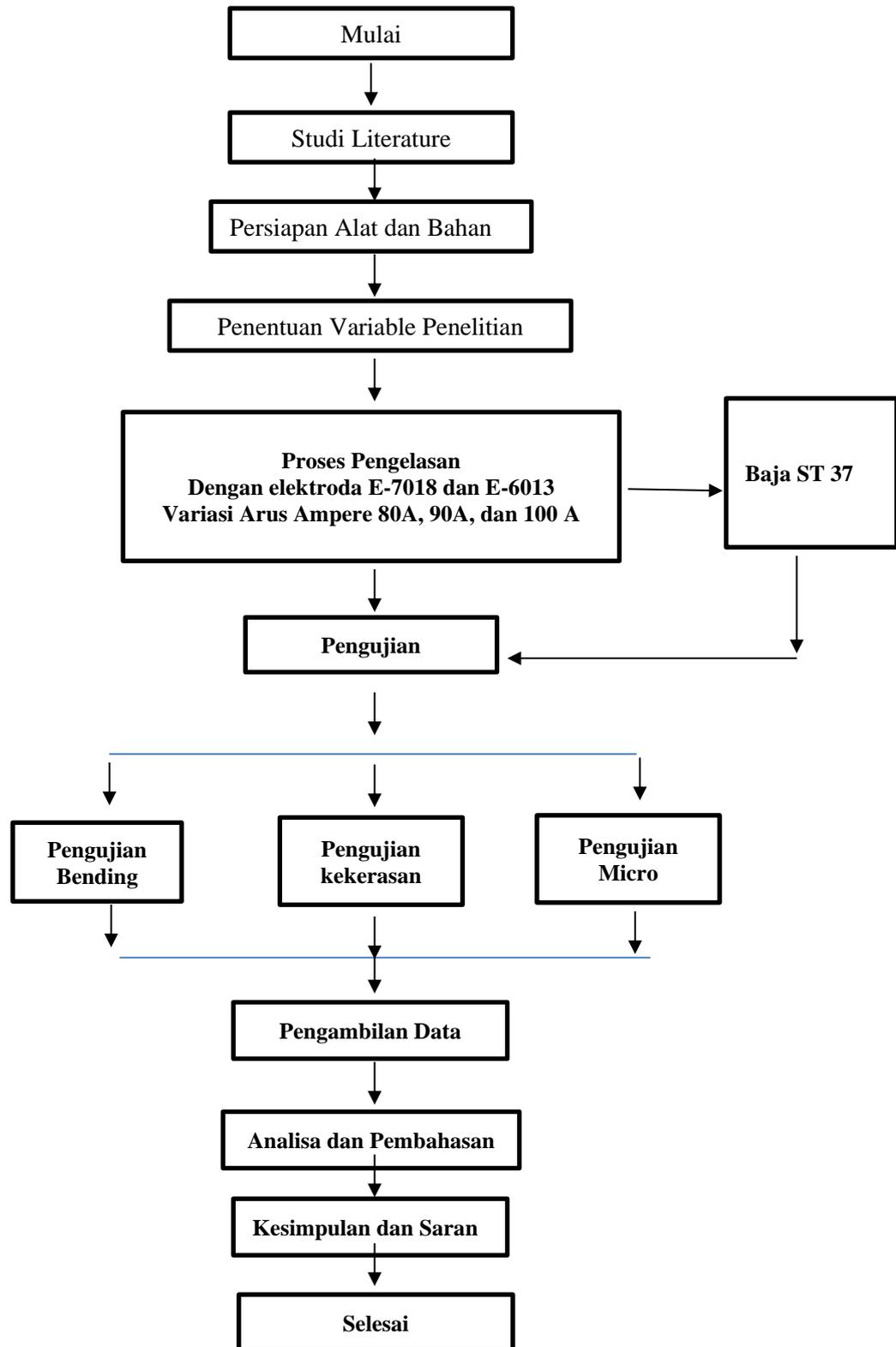
2.8.2 Elektroda AWS E7018

Spesifikasi Elektroda AWS E 7018

E 7018 kategori kawat las standart AWS SFA 5.1: E 7018 dengan coating type basic yang memiliki alur las yang ulet, dan bebas terjadi keretakan bahan pada baja yang memiliki kadar karbon hingga 0,4 %. Efisiensi Pengelasan 120 % , karakter pengelasannya sangat baik pada segala posisi. Alur las memiliki keuletan yang sangat baik. Kawat las dapat digunakan sebagai buffer layer pada baja karbon tinggi.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alur Penelitian



3.2 Bahan Yang Digunakan

1.4 Baja ST 37

Baja ST 37 memiliki komposisi 5 % , Mangan : 0,8 % , Silikon : 0,3 % . Secara umum Baja ST 37 dapat digunakan langsung tanpa mengalami perlakuan panas, kecuali jika diperlukan pemakaian khusus. Arti St itu sendiri adalah singkatan dari steel kimia karbon ; 0, (baja). Sedangkan angka 37 menunjukkan batas minimum untuk kekuatan tarik 37 kg/mm^2 .

2.4 Elektroda

Dalam analisa ini filler atau elektroda yang digunakan adalah elektroda AWS E 7018 dan elektroda AWS E 6013. Dimana penggunaan elektroda jenis ini untuk menambah kekuatan dari hasil sambungan pengelasan.

3.3 Alat Yang Digunakan

a) Alat Pembuatan Spesimen :

- Sikat Kawat
- Gerinda
- Perlengkapan Mesin Las (Inverter)
- Ragum
- Penggaris
- Jangka Sorong / Vernier Caliper
- Sarung Tangan

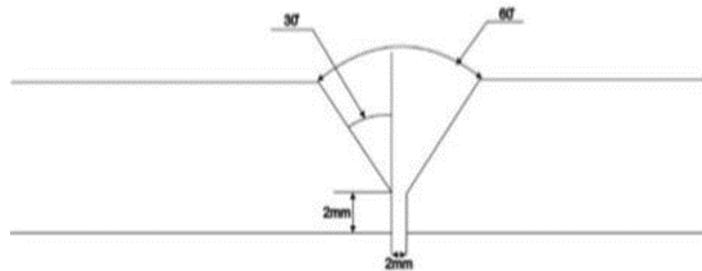
b) Alat Penelitian :

- Mesin uji bending
- Mesin uji kekerasan
- Mesin uji struktur mikro
- Alat tulis untuk mencatat data hasil pengujian

3.4 Cara Pembuatan Spesimen

1.5 Pemotongan bahan

- Persiapan alat dan bahan
- Potong logam baja ST 37
- Bentuk sudut kampuh menggunakan mesin bubut dan frais dengansudut yang sudah ditentukan pada sisi panjang logam atau bisa menggunakan gerinda.



V Groove (Kampuh V)

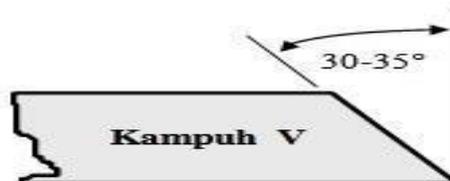
Gambar 3. 1 : Bentuk Kampuh V

Sumber : <https://www.builder.id/kampuh-las/>

2.5 Pembentukan spesimen uji

Pembuatan persiapan las dapat di lakukan dengan beberapa teknik, tergantung bentuk sambungan dan kampuh yang akan dikerjakan. Teknik yang biasa dilakukan dalam membuat persiapan las, khususnya untuk sambungan tumpul dilakukan dengan mesin frais atau gerinda. Untuk membuat kampuh – V dilakukan dengan langkah- langkah sebagai berikut :

- Potong sisi pelat dengan sudut (bevel) antara 30 – 35 derajat dengan menggunakan pemotong oksi asetelin , mesin frais ataupun gerinda.



Gambar 3. 2 : Pembuatan Kampuh V

Sumber : <https://www.builder.id/kampuh-las/>

→ Buat “root face” selebar 1 – 2 mm secara merata dengan menggunakan mesin gerinda dan atau kikir rata. Kesamaan tebal / lebar permukaan “root face” akan menentukan hasil penetrasi pada akar (root)

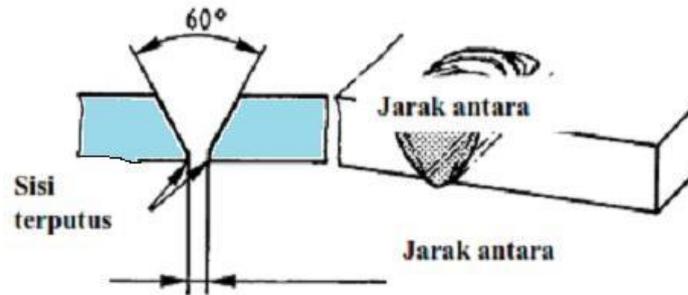


Gambar 3. 3 : Pembuatan Root Face Pada Kampuh
Sumber : <https://www.builder.id/kampuh-las/>

3.5 Proses Pengelasan

1. periksa kesiapan peralatan kerja, termasuk perlengkapan keselamatan dan kesehatan kerja las.
2. siapkan 2 buah bahan /pelat baja lunak ukuran yang kedua sisi panjangnya telah dibevel 30 derajat – 35 derajat.
3. Bersihkan bahan dan hilangkan sisi-sisi tajamnya dengan kikir atau grinda.
4. Buat root face selebar 1 – 3 mm dengan menggunakan grinda dan kikir, dan yakinkan bahwa kedua bevel tersebut sama besar dan rata/sejajar satu sama lainnya.
5. Atur arus pengelasan tiap tahapan sesuai dengan jenis dan diameter elektroda yang digunakan antara 50 – 120 Amper.
6. Atur peletakan benda kerja sesuai dengan posisi pengelasan
7. Variasi arus yang digunakan 80 A , 90 A dan 100 A
8. Buat las catat sepanjang 10 – 15 mm pada kedua ujung bahan dan yakinkan bahwa kedua kepingan tersebut rapat dan sejajar dengan jarak root gap 1 – 3 mm.
9. Las lapisan akar dengan ayunan
10. Bersihkan kampuh lapisan akar

11. Las lapisan tengah dengan ayunan
12. Bersihkan kampuh lapisan tengah
13. Las lapisan penutup dengan ayunan
14. Bersihkan kampuh hasil pengelasan



Persiapan untuk kampuh – V

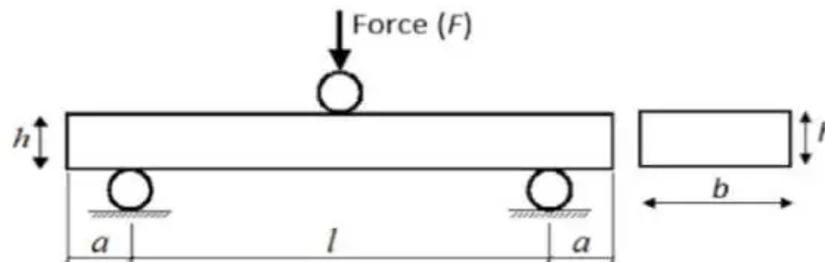
Gambar 3. 4 : Proses Pengelasan Kampuh V

3.6

3.6 Prosedur Penelitian

3.6.1 Uji Bending

Pengertian Uji tekuk (bending test) merupakan salah satu bentuk pengujian untuk menentukan mutu suatu material secara visual. Proses pembebanan menggunakan mandrel atau pendorong yang dimensinya telah ditentukan untuk memaksa bagian tengah bahan uji atau spesimen tertekuk diantara dua penyangga yang dipisahkan oleh jarak yang telah ditentukan.



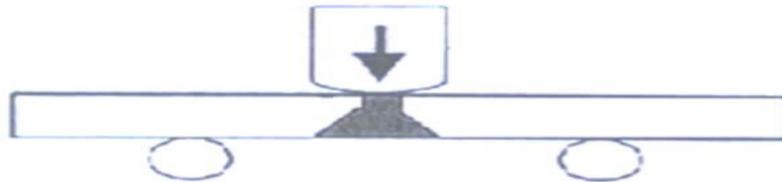
Gambar 3. 5 : Skema Pengujian Bending

Setelah menekuk, permukaan spesimen yang berbentuk cembung harus diperiksa dari kemungkinan adanya retak atau cacat permukaan yang lain. Apabila spesimen mengalami patah (fracture) setelah ditekuk, maka spesimen dinyatakan gagal uji (rejected). Untuk eksperimen disini digunakan metode

Face Bend.

Face Bend (Bending di permukaan las)

Dikatakan face bend jika permukaan las mengalami tegangan tarik dan akar las mengalami tegangan tekan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Pengamatan dilaksanakan pada permukaan las yang mengalami tegangan tarik, apakah muncul retak atau tidak. Jika muncul retak dimanakah letaknya, apakah di weld metal, HAZ atau fusion line (garis perbatasan WM dan HAZ).



Gambar 3. 6 : Skema Pengujian Tekuk Face Bend pada Transversal Bending

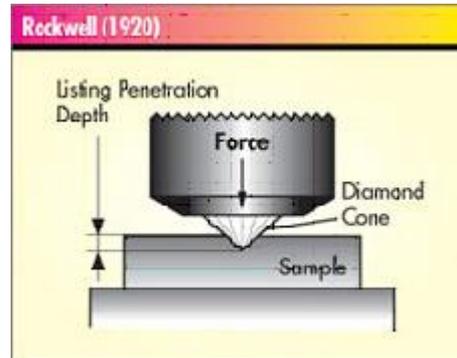
Uji Lengkung (bending test) merupakan salah satu bentuk pengujian untuk menentukan mutu suatu material secara visual. Selain itu Uji bending digunakan untuk mengukur kekuatan material akibat pembebanan dan kekenyalan dari specimen. Tahapan pengujian bending adalah sebagai berikut :

- Mengukur dimensi spesimen meliputi panjang, lebar dan tebal.
- Menyiapkan spesimen uji bending.
- Mengeset lebar tumpuan sesuai dengan benda spesimen
- Mengeset tumpuan tepat pada tengah tengah indikator.
- Pemasangan spesimen uji pada tumpuan
- Mengeset indikator hingga menempel pada spesimen uji dan mengeset skala beban pada dial indicator pada posisi nol.
- Pembebanan bending dengan kecepatan konstan.
- Mencatat besarnya penambahan beban yang terjadi pada spesimen setiap terjadi penambahan defleksi sampai terjadi kegagalan.

3.6.2 Uji Kekerasan

Uji Kekerasan adalah salah satu sifat mekanik (Mechanical properties) dari suatu material. Kekerasan suatu material harus diketahui khususnya untuk material yang dalam penggunaannya akan mengalami gesekan (frictional force) dan deformasi plastis. Deformasi plastis sendiri suatu keadaan dari suatu

material ketika material tersebut diberikan gaya maka struktur mikro dari material tersebut sudah tidak bisa kembali ke bentuk asal artinya material tersebut tidak dapat kembali ke bentuknya semula. Lebih ringkasnya kekerasan didefinisikan sebagai kemampuan suatu material untuk menahan beban indentasi atau penetrasi (penekanan).



Gambar 3. 7 : Skema pengujian Kekerasan

pengujian yang paling efektif untuk menguji kekerasan dari suatu material, karena dengan pengujian ini kita dapat dengan mudah mengetahui gambaran sifat mekanis suatu material. Meskipun pengukuran hanya dilakukan pada suatu titik, atau daerah tertentu saja, nilai kekerasan cukup valid untuk menyatakan kekuatan suatu material. Dengan melakukan uji keras, material dapat dengan mudah di golongan sebagai material ulet atau getas. Untuk Eksperimen disini digunakan metode Rockwell.

Rockwell (HR / RHN)

Pengujian kekerasan dengan metode Rockwell bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap indentor berupa bola baja ataupun kerucut intan yang ditekankan pada permukaan material uji tersebut.

Untuk mencari besarnya nilai kekerasan dengan menggunakan metode Rockwell dijelaskan pada gambar 4, yaitu pada langkah 1 benda uji ditekan oleh indentor dengan beban minor (Minor Load F_0) setelah itu ditekan dengan beban mayor (major Load F_1) pada langkah 2, dan pada langkah 3 beban mayor diambil sehingga yang tersisa adalah minor load dimana pada kondisi 3 ini indentor ditahan seperti kondisi pada saat total load F yang terlihat pada Gambar 4.

Besarnya minor load maupun major load tergantung dari jenis material yang akan di uji, jenis-jenisnya bisa dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3. 1 : Rockwell Hardness Scales

| Scale | Indentor | F0 (kgf) | F1 (kgf) | F (kgf) | E | Jenis Material Uji |
|-------|------------------|----------|----------|---------|-----|--|
| A | Diamond cone | 10 | 50 | 60 | 100 | Extremely hard materials, tugsen carbides, dll |
| B | 1/16" steel ball | 10 | 90 | 100 | 130 | Medium hard materials, low dan medium carbon steels, kuningan, perunggu, dll |
| C | Diamond cone | 10 | 140 | 150 | 100 | Hardened steels, hardened and tempered alloys |
| D | Diamond cone | 10 | 90 | 100 | 100 | Annealed kuningan dan tembaga |
| E | 1/8" steel ball | 10 | 90 | 100 | 130 | Beryllium copper, phosphor bronze, dll |
| F | 1/16" steel ball | 10 | 50 | 60 | 130 | Aluminium sheet |
| G | 1/16" steel ball | 10 | 140 | 150 | 130 | Cast iron, aluminium alloys |
| H | 1/8" steel ball | 10 | 50 | 60 | 130 | Plastik dan soft metals seperti timah |
| K | 1/8" steel ball | 10 | 140 | 150 | 130 | Sama dengan H scale |
| L | 1/4" steel ball | 10 | 50 | 60 | 130 | Sama dengan H scale |
| M | 1/4" steel ball | 10 | 90 | 100 | 130 | Sama dengan H scale |
| P | 1/4" steel ball | 10 | 140 | 150 | 130 | Sama dengan H scale |
| R | 1/2" steel ball | 10 | 50 | 60 | 130 | Sama dengan H scale |
| S | 1/2" steel ball | 10 | 90 | 100 | 130 | Sama dengan H scale |
| V | 1/2" steel ball | 10 | 140 | 150 | 130 | Sama dengan H scale |

Dibawah ini merupakan rumus yang digunakan untuk mencari besarnya kekerasan dengan metode Rockwell.

$$HR = E - e$$

Dimana :

F0 = Beban Minor(*Minor Load*) (kgf)

F1 = Beban Mayor(*Major Load*) (kgf)

F = Total beban (kgf)

e = Jarak antara kondisi 1 dan kondisi 3 yang dibagi dengan 0.002 mm

E = Jarak antara indentor saat diberi minor load dan zero reference line yang untuk tiap jenis indentor berbeda-beda yang bias dilihat pada table 1

HR = Besarnya nilai kekerasan dengan metode hardness

Pengujian Kekerasan (hardness test) merupakan suatu proses yang bertujuan untuk mengetahui ketahanan suatu material terhadap deformasi pada daerah lokal atau permukaan material. Tahapan pengujian Kekerasan adalah sebagai berikut :

- Mempersiapkan spesimen bahan uji.
- Pasang spesimen bahan uji ke anvil.
- Atur alfa pada sudut yang sudah ditentukan.
- Lepas kunci pada hammer dari strating position.
- Catat hasil beta pada scale pada alat uji.

3.6.3 Uji Micro

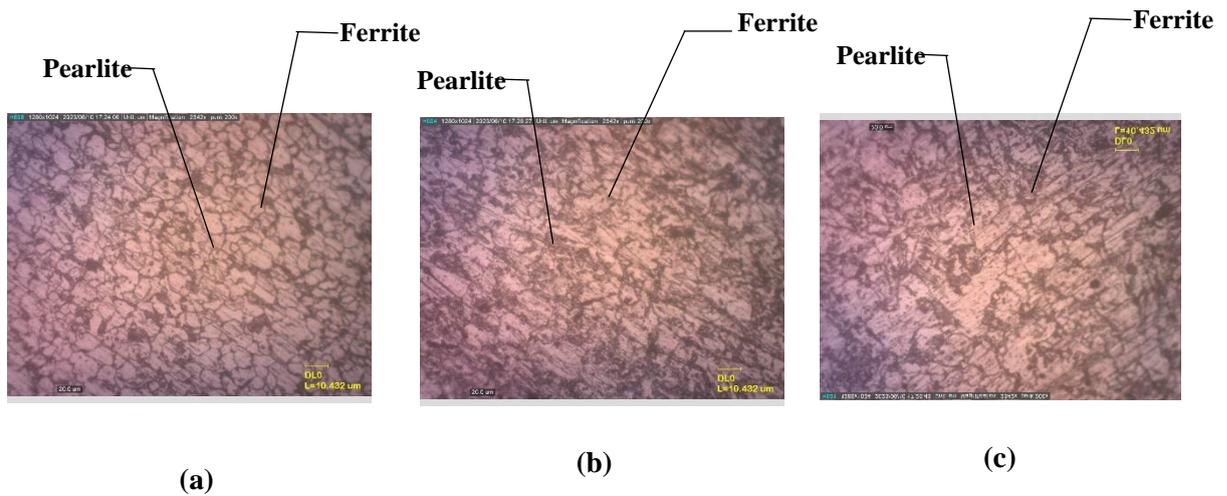
Ferit (Ferrite)

Ferit mengandung sangat sedikit (atau tidak ada) karbon dalam zat besi. Ferit adalah nama yang diberikan untuk kristal besi murni yang lunak dan ulet. Pendinginan lambat dari baja karbon rendah di bawah suhu kritis menghasilkan struktur ferit. Ferit tidak mengeras bila didinginkan dengan cepat. Ferit sangat lembut dan sangat magnetik. Ferrit, atau α -ferrit (α -Fe) atau besi alfa, adalah istilah ilmu material untuk besi murni dengan struktur kristal body-centered cubic (B.C.C). Struktur kristalin ini memberikan sifat magnetik baja baja dan besi tuang, dan merupakan contoh sederhana dari bahan ferromagnetik.

Perlit (Pearlite)

Perlit adalah paduan eutektoid dari ferit dan sementit. Perlit terjadi terutama pada baja karbon rendah dalam bentuk campuran mekanik ferit dan sementit dalam perbandingan 87:13. Kekerasannya meningkat dengan proporsi perlit dalam bahan besi. Pearlite relatif kuat, keras dan ulet, sedangkan ferit lemah, lunak dan ulet. Perlit berbentuk seperti lapisan terang dan gelap secara bergantian. Lapisan-lapisan ini bergantian antara ferit (terang) dan sementit (gelap). Ketika dilihat dengan bantuan mikroskop, permukaan memiliki penampilan seperti pearl (mutiara) mutiara, karenanya disebut perlit. Baja keras adalah campuran dari perlit dan sementit sedangkan baja lunak adalah campuran dari ferit dan perlit.

Karena kandungan karbon meningkat melebihi 0,2% pada suhu di mana ferit pertama kali ditolak dari penurunan austenit sampai, pada atau di atas 0,8% karbon, tidak ada ferit bebas, yang ditolak dari austenit. Baja ini disebut baja eutektoid, dan merupakan struktur perlit di dalam komposisinya. Karena besi yang memiliki berbagai persentase kadar karbon (hingga 6%) dipanaskan dan didinginkan.



Gambar 3.9 Struktur Perlit dan Ferite

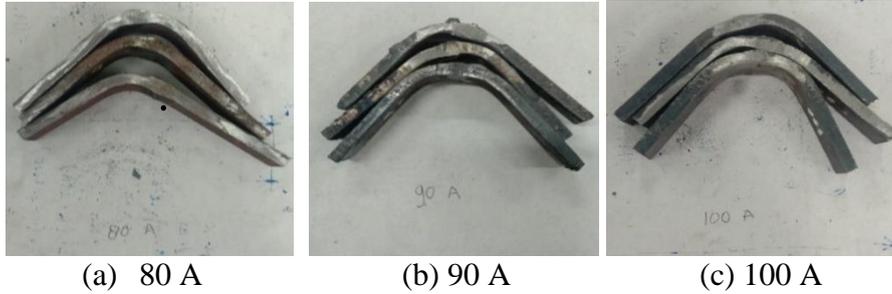
Langkah-langkah pengujian mikro sebagai berikut :

- Mempersiapkan bahan.
- Pembentukan resin untuk spesimen bahan.
- Frinding dan polishing.
- Etching.
- Melakukan pengamatan dimikroskop dan pengambilan fotometalografi.
- Print out hasil pengujian mikro.

3.7 Specimen hasil Pengujian

Adapun hasil pengujian atau kerusakan yang diabaikan oleh pengujian yang dilakukan pada spesimen benda uji yakni sebagai berikut :

1.1 Pengujian bending



2.1 Pengujian Kekerasan



3.1 Pengujian micro



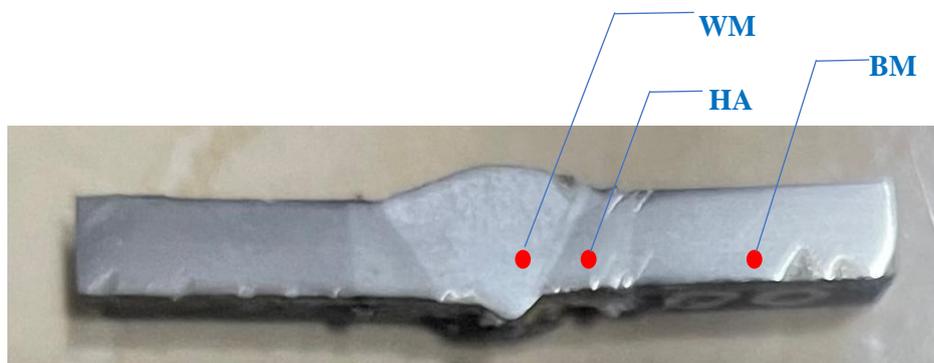
BAB IV PENGOLAHAN DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 PENGUJIAN MIKRO



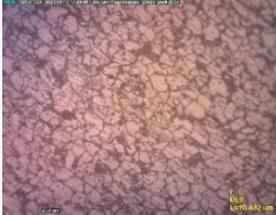
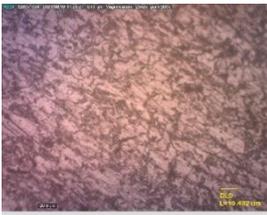
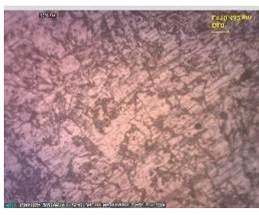
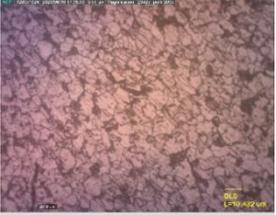
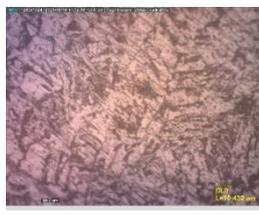
Gambar 4. 1 : Uji Mikro

Pengamatan yang dilakukan disini adalah pengamatan struktur mikro yang dilakukan pada daerah logam induk (BM), daerah terkena panas atau heat affective zone (HAZ), dan daerah sambungan las weld line (WM). Foto perbesaran yang diambil disini adalah 200 X. Dari pengamatan struktur mikro ini, dapat dilihat hasil struktur mikro daerah lasan yang terkandung dari hasil pengelasan. Berikut ini adalah gambar hasil pengamatan struktur mikro.



Gambar 4. 2 : Foto makro lokasi pengambilan struktur mikro spesimen las dengan bahan ST. 37

4.1.1 Struktur Micro Daerah Lasan

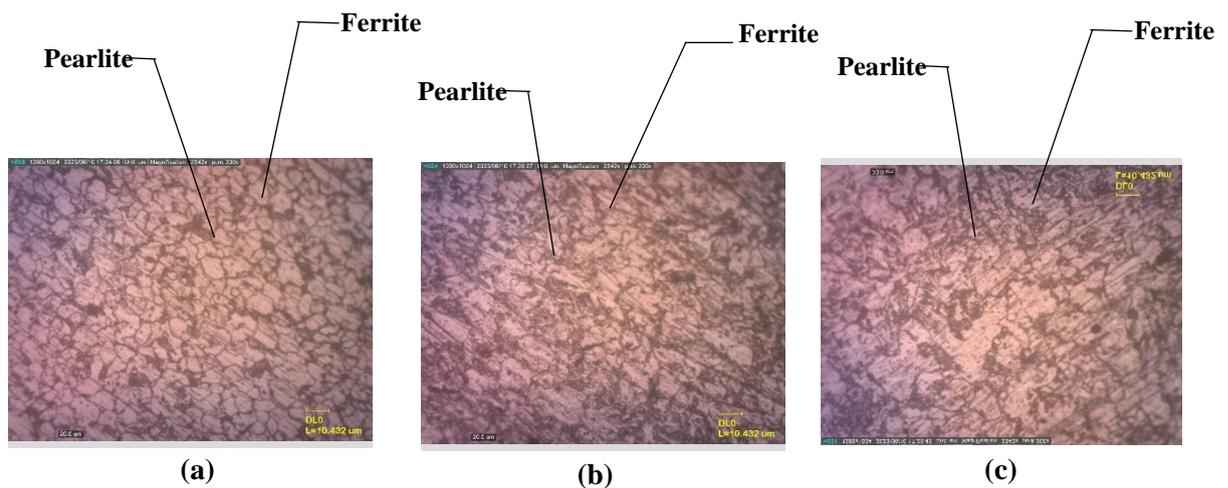
| No. | Ampere | ST. 37 | | |
|-----|--------|--|---|--|
| | | BM | HAZ | WM |
| 1. | 80 |  <p>Ferite : 65,524 % Perlite: 34,476 %</p> |  <p>Ferite : 58,918 % Perlite: 41,082 %</p> |  <p>Ferite : 60,933 % Perlite: 39,067 %</p> |
| 2. | 90 |  <p>Ferite : 67,290 % Perlite: 32,710 %</p> |  <p>Ferite : 52,063 % Perlite: 47,937 %</p> |  <p>Ferite : 58,585 % Perlite: 41,415 %</p> |
| 3. | 100 |  <p>Ferite : 64,798 % Perlite: 35,202 %</p> |  <p>Ferite : 51,542 % Perlite: 48,458 %</p> |  <p>Ferite : 57,601 % Perlite: 42,399 %</p> |

Tabel 4. 1 : Struktur Mikro Daerah Las Dengan Bahan ST. 37

Tabel 4. 2 : Presentase Perlit Dan Ferit

| No. | Perlakuan | BASE METAL (BM) | | HAZ | | WELD METAL (WM) | | Urutan Sifat Mekanik |
|-----|-----------|-----------------|---------|----------|---------|-----------------|---------|----------------------|
| | | % Perlit | % Ferit | % Perlit | % Ferit | % Perlit | % Ferit | |
| 1. | 80 A | 34,476 | 65,524 | 41,082 | 58,918 | 39,067 | 60,933 | 3 |
| 2. | 90 A | 32,710 | 67,290 | 47,937 | 52,063 | 41,415 | 58,585 | 2 |
| 3. | 100 A | 35,202 | 64,798 | 48,458 | 51,542 | 41,213 | 58,787 | 1 |

4.1.2 Struktur Mikro Hasil Pengelasan Dengan Ampere 80 A

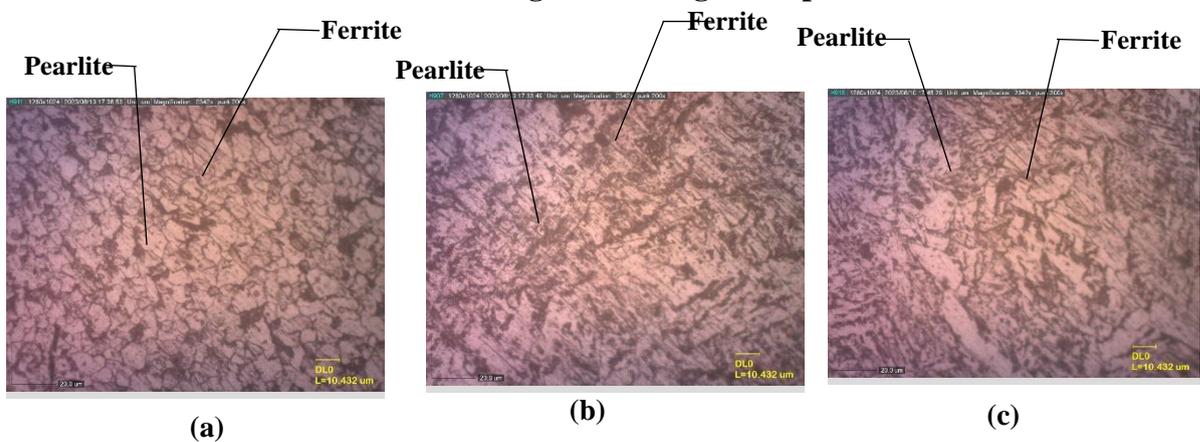


Gambar 4. 3 : Struktur mikro spesimen ST. 37 hasil sambungan las dengan variasi 80 A (a. Base Metal, B. Haz, dan c. Weld metal)

Menunjukkan hasil struktur mikro ST. 37 hasil pengelasan variasi 80 A pada logam induk (Base Metal/ BM) ST. 37. Fasa yang terbentuk pada daerah ini yaitu fasa ferit dan perlit. Presentase ferit yaitu 65,524 % dan perlit 34,476 %. Butir pada Logam Induk (Base Metal/ BM) dengan variasi 80 A mempunyai bentuk yang homogen dan dominan ferit. Fase martensit belum terlihat pada struktur mikro Base Metal dikarenakan kadar carbon yang

terkandung dalam ST. 37 rendah sehingga martensit yg terbentuk pun minim atau malah blm terbentuk. Butir dengan fasa ferit dan perlit terlihat pada daerah heat affected zone (HAZ) ST. 37. Karena daerah heat affected zone (HAZ) mendapatkan perlakuan yang berbeda yakni adanya suhu las ketika pengelasan berlangsung, maka dengan adanya pengaruh perlakuan suhu tersebut, daerah ini memiliki presentase perlit yang berbeda dari logam induknya, yaitu lebih besar dari daerah Base Metal dan Weld metalnya yaitu sebesar 41,082 % dan ferit 58,918 %, memang masih didominasi ferit fasanya akan tetapi karena perubahan presentase perlit menjadi lebih besar, maka kekerasannya pada daerah Haz jg meningkat dan lebih besar dibandingkan dengan daerah Base metal dan Weld Metal. Fasa pada daerah WM (*weld metal*) yaitu fasa ferit dan perlit. Presentase fasa pada daerah WM ferit 60,933 % dan perlit 39,067 %. Weld metal masih sama dengan daerah yang lain yaitu mengalami perubahan presentase ferit dan perlit dikarenakan pada daerah sambungan atau WM (*weld metal*) memiliki kecepatan pendinginan yang tinggi sehingga butirnya semakin halus dibandingkan dengan daerah Haz.

4.1.3 Struktur Mikro Hasil Pengelasan Dengan Ampere 90 A

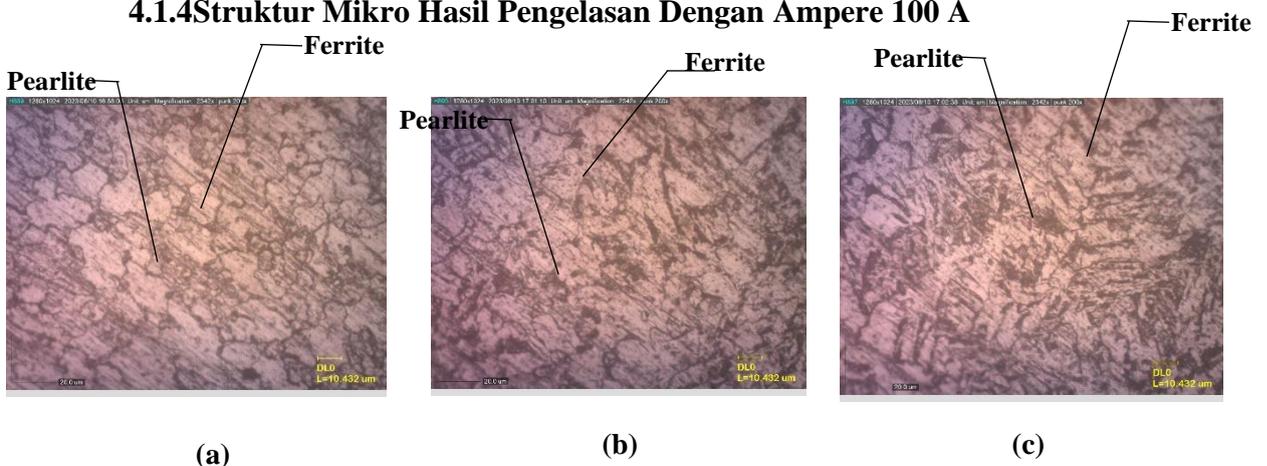


Gambar 4. 4 : Struktur mikro spesimen ST. 37 hasil sambungan las dengan variasi 90 A (a. Base Metal, B. Haz, dan c. Weld metal)

Struktur mikro ST. 37 hasil pengelasan variasi 90 A pada Logam Induk (Base Metal/ BM) ST. 37 yang ditunjukkan dalam diatas yaitu terbentuk fasa ferit dan perlit. Presentase ferit yaitu 67,290 % dan perlit 32,710 %. Butir pada Logam Induk (Base Metal/ BM) dengan variasi 90 A mempunyai bentuk

yang homogen dan dominan ferit. Fase martensit belum terlihat pada struktur mikro Base Metal dikarenakan kadar carbon rendah. Butir dengan fasa ferit dan perlit terlihat pada daerah heat affected zone (HAZ) ST. 37. Karena daerah heat affected zone (HAZ) terpengaruh suhu las ketika pengelasan berlangsung maka, daerah ini memiliki presentase perlit yang lebih besar yaitu sebesar 47,937 % dibandingkan dengan dari daerah Base Metal 32,710 %. dan Weld metal 41,415 % meskipun masih didominasi ferit fasanya 52,063 %. Pada daerah HAZ terjadi perubahan presentase perlit menjadi lebih besar, sehingga kekerasannya pada daerah Haz jg meningkat dan lebih besar dibandingkan dengan daerah Base metal dan Weld Metal. Fasa pada daerah WM (*weld metal*) yaitu fasa ferit dan perlit. Presentase fasa pada daerah WM ferit 58,585 % dan perlit 41,415 %. Weld metal masih sama dengan daerah yang lain yaitu mengalami perubahan presentase ferit dan perlit dikarenakan pada daerah sambungan atau WM (*weld metal*) memiliki kecepatan pendinginan yang tinggi sehingga butirnya semakin halus dibandingkan dengan daerah Haz.

4.1.4 Struktur Mikro Hasil Pengelasan Dengan Ampere 100 A



Gambar 4. 5 : Struktur mikro spesimen ST. 37 hasil sambungan las dengan variasi 90 A
(a. Base Metal, B. Haz, dan c. Weld metal)

Menunjukkan hasil struktur mikro ST. 37 hasil pengelasan variasi 100 A pada logam induk (Base Metal/ BM) ST. 37. Fasa yang terbentuk pada daerah ini yaitu fasa ferit dan perlit. Presentase ferit yaitu 64,798 % dan perlit 35,202 %. Butir pada Logam Induk (Base Metal/ BM) dengan variasi 100 A mempunyai bentuk yang homogen dan dominan ferit sehingga sifatnya ulet. Fase martensit belum terlihat pada struktur mikro Base Metal dikarenakan kadar carbon yang terkandung dalam ST. 37 rendah sehingga martensit yg terbentuk pun minim atau malah blm terbentuk. Butir dengan fasa ferit dan perlit terlihat pada daerah heat affected zone (HAZ) ST. 37. Karena daerah heat affected zone (HAZ) mendapatkan perlakuan yang berbeda yakni adanya suhu las ketika pengelasan berlangsung, maka dengan adanya pengaruh perlakuan suhu tersebut, daerah ini memiliki presentase perlit yang berbeda dari logam induknya, yaitu lebih besar dari daerah Base Metal dan Weld metalnya yaitu sebesar 48,458 % dan ferit 51,542 %, memang masih didominasi ferit fasanya akan tetapi karena perubahan presentase perlit menjadi lebih besar, maka kekerasannya pada daerah Haz jg meningkat dan lebih besar dibandingkan dengan daerah Base metal dan Weld Metal. Fasa pada daerah WM (*weld metal*) yaitu fasa ferit dan perlit. Presentase fasa pada daerah WM ferit 58,787 % dan perlit 41,213 %. Weld metal masih sama dengan daerah yang lain yaitu mengalami perubahan presentase ferit dan perlit dikarenakan pada daerah sambungan atau WM (*weld metal*) memiliki kecepatan pendinginan yang tinggi sehingga butirnya semakin halus dibandingkan dengan daerah Haz. Struktur mikro ST. 37 hasil pengelasan variasi 100 A pada daerah Haz mempunyai presentase perlit tertinggi dibandingkan dengan semua daerah pada 80 A dan 90 A. korelasninya yaitu kekerasan pada sambungan las dengan variasi ini mempunyai rata-rata nilai kekerasan tertinggi.

4.1.5 Tabel % Perlit Dan % Ferit

| No. | PERLAKUAN | BASE METAL (BM) | | HAZ | | WELD METAL (WM) | | URUTAN SIFAT MEKANIK |
|-----|-----------|-----------------|---------|----------|---------|-----------------|---------|----------------------|
| | | % PERLIT | % FERIT | % PERLIT | % FERIT | % PERLIT | % FERIT | |
| 1. | 80 A | 34,476 | 65,524 | 41,082 | 58,918 | 39,067 | 60,933 | 3 |
| 2. | 90 A | 32,710 | 67,290 | 47,937 | 52,063 | 41,415 | 58,585 | 2 |
| 3. | 100 A | 35,202 | 64,798 | 48,458 | 51,542 | 42,399 | 57,601 | 1 |

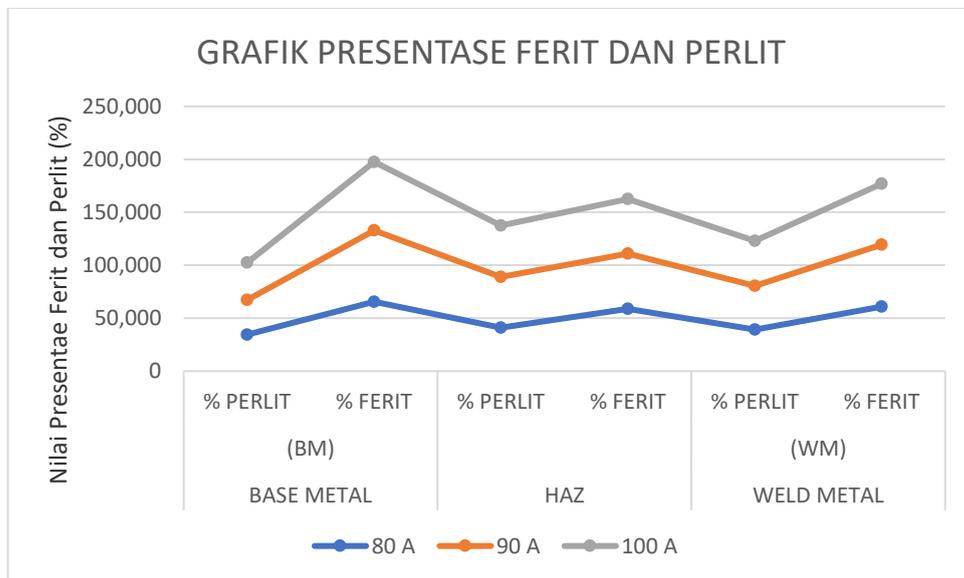
Tabel 4. 3 : % Perlit Dan % Ferit

4.1.6 Tabel Rata-Rata Nilai Kekerasan HR_B

| No | PERLAKUAN | NILAI KEKERASAN HR _B | | |
|----|-----------|---------------------------------|-------|-------|
| | | BM | HAZ | WM |
| 1 | 80 A | 55 | 63.67 | 59 |
| 2 | 90 A | 54.33 | 70 | 63.33 |
| 3 | 100 A | 55 | 72.67 | 63.67 |

Tabel 4. 4 : Rata-Rata Nilai Kekerasan HRB

4.1.7 Grafik Presentase Ferit dan Perlit



Gambar 4. 6 : Presentase Ferit dan Perlit

4.1.8 Analisa dan Pembahasan

Dari hasil pengujian struktur mikro pengelasan Sambungan baja ST. 37 dengan variasi ampere menghasilkan perubahan struktur butir dan fasa, dimana fasa pada BM ST. 37 (baja karbon rendah) hanya ferrite dan pearlite. Ferrite adalah fasa yang terbentuk pada suhu 300-700 °C. Fasa ferrite mempunyai sifat ulet dan memiliki kekerasan sekitar (70-100) BHN dan memiliki konduktivitas yang tinggi. Pearlite adalah campuran sementit dan ferrite. Banyak sedikitnya pearlite dipengaruhi karena kandungan karbon. Semakin sedikit kandungan karbon maka semakin sedikit kadungan pearlite. kemudian fasa pada HAZ ST. 37 yaitu juga Ferrite dan Pearlite. Akan tetapi terjadi perubahan daerah pearlite jadi lebih luas. Hal ini disebabkan karena adanya pengaruh ampere pada proses pengelasan tersebut. Daerah Haz sifatnya lebih keras karena didominasi oleh pearlite. Pada daerah WM ST. 37 Fasa yang terbentuk ferrite dan pearlite. presentase pearlite lebih besar diikuti dengan perubahan ukuran butir ferrite yang lebih mengecil dan sedikit luasannya. Sehingga hampir semua fasanya didominasi pearlite karena sedikitnya ferrite, Sifatnya keras. Susunan butir kristal menunjukkan pola aliran logam yang mengalami puntiran. Pola ini terbentuk karena adanya pengaruh pemutaran pada batang sehingga pada permukaan batang mengalami puntiran, dan terjadi deformasi selama proses pengelasan berlangsung yang merupakan gabungan tekanan, pemuntiran dan suhu. Butiran kecil dan semakin halus terlihat di daerah sambungan las WM (Weld metal) hal ini dikarenakan pada sambungan las memiliki kecepatan pendinginan yang tinggi. Sedangkan pada daerah Heat Affected Zone (HAZ) butirannya lebih besar, hal ini dikarenakan masukan panas dan kecepatan pendinginan yang rendah. ukuran butir pada BM (logam induk) membesar dikarenakan kecilnya pengaruh suhu dan tekanan pada daerah tersebut. Sehingga butir belum mengalami deformasi. Dari beberapa variasi kecepatan putar dan durasi penekanan didapatkan variasi dengan nilai kekuatan Tarik tertinggi sebesar 542,37 MPa dengan variasi kecepatan putar 4000 rpm dan durasi waktu penekanan 50 detik menghasilkan ukuran butir paling kecil pada daerah HAZ ST. 37 yaitu 6,317 μm dibandingkan dengan variasi yang lain, sifatnya keras karena butir berukuran kecil. Sedangkan variasi 3000 dan durasi penekanan 25 detik mempunyai nilai kekuatan Tarik

terendah yaitu sebesar 428,9 MPa dengan ukuran butir 24,813 μm . Semakin kecil ukuran butir maka kekerasannya meningkat.

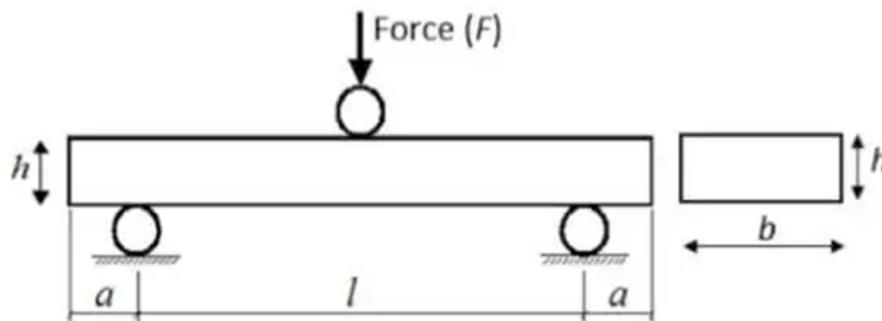
KESIMPULAN : SEMAKIN TINGGI AMPERE LAS MAKA PRESENTASE PERLIT JUGA MENINGKAT

4.2 PENGUJIAN BENDING



Gambar 4. 7 : Uji Bending

Uji Lengkung (bending test) merupakan salah satu bentuk pengujian untuk menentukan mutu suatu material secara visual. Proses pengujian material dengan cara ditekan untuk mendapatkan hasil berupa data tentang kekuatan lengkung (bending) suatu material yang diuji.

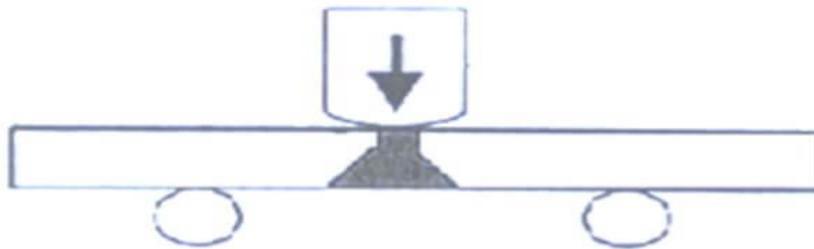


Gambar 4. 8 : Skema Pengujian Bending

Setelah menekuk, permukaan spesimen yang berbentuk cembung harus diperiksa dari kemungkinan adanya retak atau cacat permukaan yang lain. Apabila spesimen mengalami patah (fracture) setelah ditebuk, maka spesimen dinyatakan

gagal uji (rejected). Untuk eksperimen disini digunakan metode Face Bend. Face Bend (Bending di permukaan las)

Dikatakan face bend jika permukaan las mengalami tegangan tarik dan akar las mengalami tegangan tekan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Pengamatan dilaksanakan pada permukaan las yang mengalami tegangan tarik, apakah muncul retak atau tidak. Jika muncul retak dimanakah letaknya, apakah di weld metal, HAZ atau fusion line (garis perbatasan WM dan HAZ).



Gambar 4. 9 : Skema Pengujian Tekuk Face Bend pada Transversal Bending.

4.2.1 Data Hasil Pengujian Uji Bending

| NO | VARIASI pengelasan arus | Sampel | W (mm) | T (mm) | L (mm) | F (KN) | Hasil (MPA) |
|----|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------------|
| 1 | 80 A | A | 23.30 | 5.95 | 12.50 | 10610 | 76.49 |
| | | B | 24.45 | 5.96 | 12.50 | 7394 | 50.01 |
| | | C | 24.67 | 5.98 | 12.34 | 7256 | 49.03 |
| 2 | 90 A | A | 19.83 | 6.18 | 12.50 | 10375 | 84.33 |
| | | B | 21.38 | 5.77 | 12.26 | 10924 | 88.25 |
| | | C | 23.33 | 6.02 | 12.88 | 9384 | 66.68 |
| 3 | 100 A | A | 24.14 | 5.58 | 12.50 | 9512 | 70.60 |
| | | B | 22.21 | 6.10 | 12.50 | 9345 | 68.64 |
| | | C | 23.20 | 6.11 | 13.00 | 9571 | 66.68 |

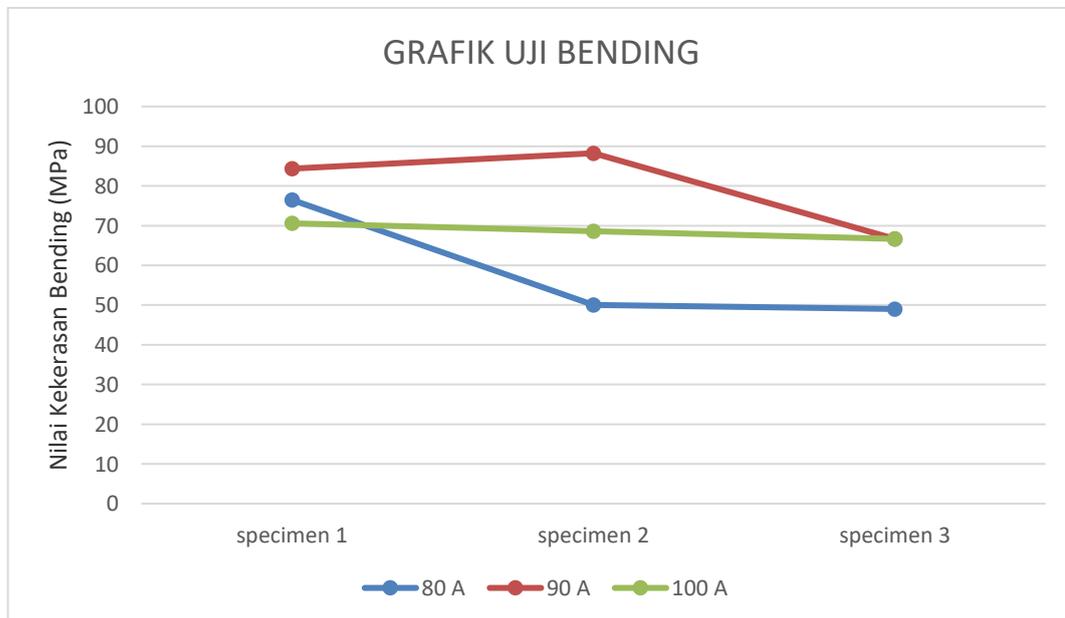
Tabel 4. 5 : Tabel uji bending

4.2.2 Angka Pengujian Bending Variasi Arus

| Variasi Arus Pengelasan | Sampel | Hasil (MPa) |
|-------------------------|-------------|-------------|
| 80 A | A | 76,49 |
| | B | 50,01 |
| | C | 49,03 |
| | Rata - rata | 58,34 |
| 90 A | A | 84,33 |
| | B | 88,25 |
| | C | 66,68 |
| | Rata - rata | 79,75 |
| 100 A | A | 70,60 |
| | B | 68,64 |
| | C | 66,68 |
| | Rata - rata | 68,64 |

Tabel 4. 6 : Hasil rata rata uji bending

4.2.3 Diagram Grafik Uji Bending



Gambar 4. 10 : Diagram Grafik Uji Bending

4.2.4 Analisa dan Pembahasan

Berdasarkan grafik 4.2.3 uji bending dengan variasi arus ampere

menunjukkan dimana harga bending rata rata arus 80 A memiliki nilai sebesar 58,34 N/mm². Sedangkan nilai harga bending rata-rata pada arus 90 A memiliki nilai 79,75 N/mm². dan pada arus 100 A memiliki harga nilai rata rata yaitu 66,64 N/mm².

Dari data diatas dapat dilihat bahwa nilai rata-rata tertinggi terdapat pada arus 90 A yang nilainya sebesar 79,75 N/mm², dan untuk nilai rata – rata terendah terdapat pada arus 80 A yakni memiliki harga nilai 58,34 N/mm². sedangkan untuk arus 100 A memiliki nilai 68,64 N/mm².

Berdasarkan dari hasil dan analisa di atas dapat disimpulkan bahwa benda uji dengan material baja ST 37 dengan kawat las E 6013 dan E 7018 dihasilkan uji bending terbaik pada pengelasan arus ampere 90A.

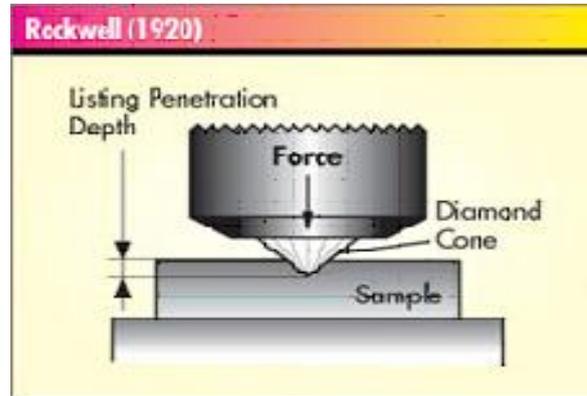
4.3 PENGUJIAN KEKERASAN



Gambar 4. 11 : Uji Kekerasan

Uji Kekerasan adalah salah satu sifat mekanik (Mechanical properties) dari suatu material. Kekerasan suatu material harus diketahui khususnya untuk material yang dalam penggunaannya akan mangalami pergesekan (frictional force) dan

deformasi plastis. Deformasi plastis sendiri suatu keadaan dari suatu material ketika material tersebut diberikan gaya maka struktur mikro dari material tersebut sudah tidak bisa kembali ke bentuk asal artinya material tersebut tidak dapat kembali ke bentuknya semula. Lebih ringkasnya kekerasan didefinisikan sebagai kemampuan suatu material untuk menahan beban indentasi atau penetrasi (penekanan).



Gambar 4. 12 : Skema Pengujian Kekerasan

Pengujian yang paling efektif untuk menguji kekerasan dari suatu material, karena dengan pengujian ini kita dapat dengan mudah mengetahui gambaran sifat mekanis suatu material. Meskipun pengukuran hanya dilakukan pada suatu titik, atau daerah tertentu saja, nilai kekerasan cukup valid untuk menyatakan kekuatan suatu material. Dengan melakukan uji keras, material dapat dengan mudah di golongkan sebagai material ulet atau getas. Untuk Eksperimen disini digunakan metode Rockwell.

Rockwell

Pengujian kekerasan dengan metode Rockwell bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap indentor berupa bola baja ataupun kerucut intan yang ditekan pada permukaan material uji tersebut.

Pengujian yang dilakukan disini dilakukan pada daerah logam induk (BM), daerah terkena panas atau heat affective zone (HAZ), dan daerah sambungan las weld line (WM).

| No | Variasi Arus | Spesimen | Kekerasan (HRB) | | |
|----|--------------|----------|-----------------|-----------|-------------|
| | | | HAZ | Logam Las | Logam Induk |
| | | A | 64 | 61 | 58 |

| | | | | | |
|---|-------|---|----|----|----|
| 1 | 80 A | B | 65 | 58 | 55 |
| | | C | 62 | 58 | 52 |
| 2 | 90 A | A | 71 | 62 | 55 |
| | | B | 69 | 66 | 54 |
| | | C | 70 | 62 | 54 |
| 3 | 100 A | A | 72 | 61 | 55 |
| | | B | 74 | 65 | 57 |
| | | C | 72 | 63 | 53 |

4.3.1 Data Hasil Pengujian

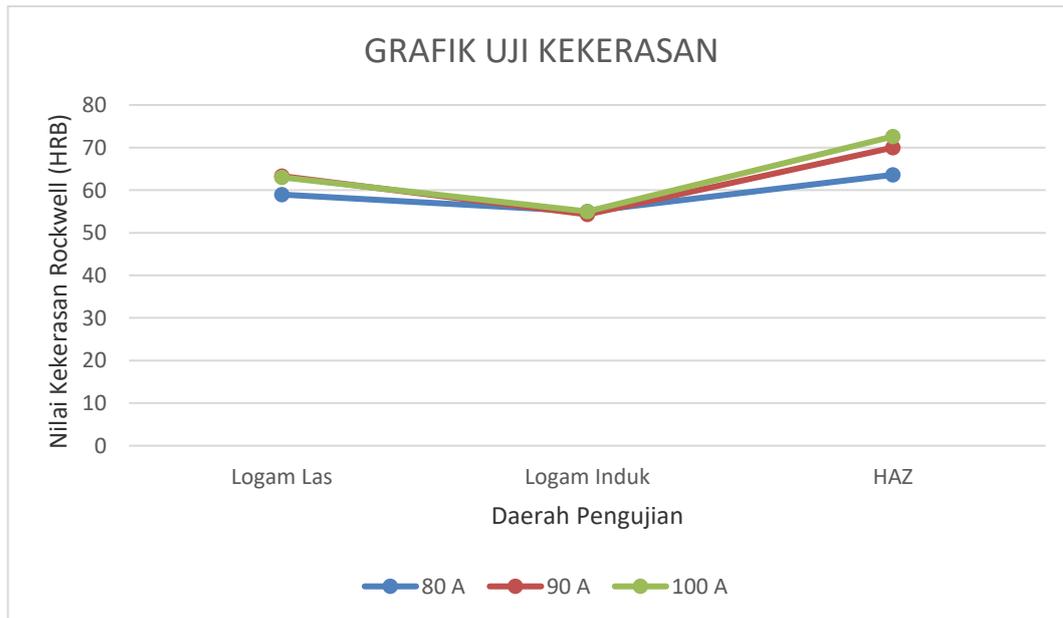
Tabel 4. 7 : Hasil Pengujian Kekerasan

4.3.2 Angka Pengujian Kekerasan Specimen Variasi Arus

| DAERAH PENGUJIAN | SPECIMEN | ANGKA KEKERASAN PADA TITIK PENGUJIAN | | |
|------------------|-------------|--------------------------------------|------|-------|
| | | 80 A | 90 A | 100 A |
| Logam Las | 1 | 61 | 62 | 61 |
| | 2 | 58 | 66 | 65 |
| | 3 | 58 | 62 | 63 |
| | Rata - Rata | 59 | 63,3 | 63 |
| HAZ | 1 | 64 | 71 | 72 |
| | 2 | 65 | 69 | 74 |
| | 3 | 62 | 70 | 72 |
| | Rata - Rata | 63,6 | 70 | 72,6 |
| Logam Induk | 1 | 58 | 55 | 55 |
| | 2 | 55 | 54 | 57 |
| | 3 | 52 | 54 | 53 |
| | Rata - Rata | 55 | 54,3 | 55 |

Tabel 4. 8 : Hasil rata rata uji kekerasn

4.3.3 Diagram grafik Uji Kekerasan



Gambar 4. 13 : Diagram Grafik Pengujian Kekerasan

4.3.4 Analisa dan Pembahasan

Dari hasil perhitungan kekerasan dengan variasi arus 80A, 90A , 100A mempunyai nilai kekerasan HAZ paling rendah pada arus 80A yang nilai nya sekitar 63,6 HRC. Sedangkan nilai tertinggi terdapat pada variasu arus 100 A yang nilai nya sekitaer 72,6 HRC. Angka ini naik sekitar 2,6 HRC pada variasu arus 90 A yang nilainya 70 HRC.

Penelitian uji kekerasan dengan variasi arus 80A, 90A, 100A pada daerah HAZ memberikan pengaruh nyata terhadap pengelasan pada daerah pengaruh panas (HAZ) semakin tinggi arus pengelasan, semakin tingi juga nilai kekerasan pada daerah pengaruh panas (HAZ)

Dari hasil perhitungan kekerasan dengan variasi arus pengelasan 80A,90A, 100A. Angka kekerasan tertinggi terdapat pada daerah logam las yaitu pada arus 90 A dengan nilai kekerasan 63,3 HRC. Angka ini naik sekitar 0,3 HRC dari pada arus 100 A yang nillai kekerasannya sekitar 63 HRC. Sedangkan nilai kekerasan logam las 80 A dengan nilai sekitar 59 HRC.

Sedangkan untuk perhitungan kekerasan logam induk dengan variasi arus 80A, 90A, 100A. mempunyai nilai kekerasan logam Induk pada arus 80A dan 100A nilainya sama yaitu 55 HRC. Nilai kekerasan Logam Induk ini lebih tinggi dengan variasi arus 90A yang memiliki nilai sekitar 54,3 HRB.

Dari Hasil dan analisa diatas dapat disimpulkan bahwa benda uji dengan material baja ST 37 dengan kawat las E6013 dan E 7018 semakin tinggi arus ampere yang digunakan akan semakin tinggi juga nilai kekerasan pada daerah las (HAZ).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan :

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa yang telah dilakukan pada baja ST 37 dengan proses pengelasan dengan variasi arus ampere dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- 1) Berdasarkan hasil penelitian dan analisa yang telah dilakukan pada baja ST 37 besarnya kuat arus listrik memberikan pengaruh nyata terhadap daerah pengaruh panas (HAZ) semakin tinggi arus pengelasan yang digunakan semakin tinggi juga nilai kekerasan pada daerah las (HAZ).
- 2) Berdasarkan hasil penelitian dan analisa yang telah dilakukan pada baja ST 37 dihasilkan nilai uji bending terbaik pada pengelasan ampere 90 A.
- 3) Berdasarkan hasil penelitian dan analisa yang telah dilakukan pada baja ST 37 semakin tinggi ampere las maka presentase perlit juga meningkat.

2. Saran :

Dalam proses penelitian yang telah dilakukan pada baja ST 37 yang disertai dengan variasi arus ampere dapat disarankan sebagai berikut :

- 1) Pada saat melakukan pengelasan prosedur pengelasan benar benar dilakukan dan alat pelindung digunakan sesuai dengan standart keselamatan kerja.
- 2) Pada saat pengelasan jangan melakukan pendinginan cepat karena pendinginan cepat akan mempengaruhi sifat mekanis logam.
- 3) Pada pengelasan baja karbon rendah dengan menggunakan elektroda E 6013 dan E 7018 sebaiknya jangan menggunakan arus terlalu besar dan kecil. Jika menggunakan arus terlalu besar akan mengalami kesulitan dalam mengelas dan elektroda akan cepat habis, begitu juga sebaiknya jika arus ampere yang digunakan terlalu kecil akan merubah sifat mekanis dari induk logam.

DAFTAR PUSTAKA

1. Widharto, S., 2001, Petunjuk Kerja Las, Pradnya Paramita, Jakarta
2. American Welding Society. 2004. Welding Handbook- Welding Process Part 1. Edisi 9. Volume 2. Miami, FL.
3. Hobart Institute of Welding Technology. 2012. Shielded Metal Arc Welding – Technical Guide. Ohio, USA.
4. American Welding Society, Eighth Edition, Welding Technology Volume 1 1991
5. ASTM E8/E8M-11. Standard Test Methods For Tension Testing Of Metallic Materials. USA, 2012
6. Santoso Joko, “Pengaruh Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik Dan Ketangguhan Las SMAW Dengan Elektroda E7018” Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. 2006.
7. Wiryosumarto. H, Okumura. T, Teknologi Pengelasan Logam, PT. Pradnya Paramitha, Jakarta Cetakan Ke 8. 2000
8. Wiryosumarto H., 1988, Teknik Pengelasan Logam, PT. Pradnya Paramita, Jakarta
9. Riyan Angrisca P, Pengaruh Kuat Arus Pengelasan dan Jenis Elektroda pada Pengujian Tarik Hasil Sambungan Las SMAW pada Baja ST 37, 2017.
10. Maman Suratman, Spd. 2001. Teknik Mengelas. Bandung. Pustaka Grafika.
11. ASTM. (2014). Designation : A370 - 03a Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products. In ASTM International (pp. 1–50).
12. Taskaya, S., Zengin, B., Kaymaz, K., & Askin, M. (2019). Elastic Stress Analysis of St 37 and St 70 Steels with Finite Element Method. International Journal of Materials Science and Applications, 8(6), 103.<https://doi.org/10.11648/j.ijmsa.20190806.1>
13. (American Society of Mechanical Engineers)
https://en.wikipedia.org/wiki/American_Society_of_Mechanical_Engineer

LAMPIRAN

Lampiran 1 Biodata Penulis



A. Biodata Penulis

Nama : Romy Athoya Nurmandaka
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Tempat/Tanggal Lahir : Pekalongan, 29 Agustus 2000
Agama : Islam
Alamat : Jl. Mayjend Sutoyo No. 102, RT/RW 003/001
kecamatan Wiradesa, Kabupaten Pekalongan.

No. Telp/HP : 085325679754
Email : Romymilenium@gmail.com
Nama Ayah : Nurman Soleh.
Nama Ibu : Sri ida Fitriana.

B. Riwayat Pendidikan

1. Tahun menamatkan pendidikan di SD 2011-2012
2. Tahun menamatkan pendidikan di SMP 2014-2015
3. Tahun menamatkan pendidikan di SMA 2017-2018

Tahun 2018-sekarang akan menamatkan pendidikan di Program Studi Teknik Mesin S-1 Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang.

Lampiran 2
Lembar data Pengujian



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI JURUSAN
TEKNIK MESIN
LABORATORIUM PENGUJIAN MATERIAL
Jl. Raya karanglo Km.2 Telp.(0341) 417636 Ext. 511 Malang

HASIL PENGUJIAN KEKERASAN

Nama : Romy Athoya N
NIM : 1811176
Universitas : Institut Teknologi Nasional Malang
Program Studi : Teknik Mesin S-1
Tanggal Pengujian : 20 Desember 2022
Spesimen : ST 37

| No | Variasi Arus | Spesimen | Kekerasan (HRB) | | |
|----|--------------|----------|-----------------|-----------|-------------|
| | | | HAZ | Logam Las | Logam Induk |
| 1 | 80 A | A | 64 | 61 | 58 |
| | | B | 65 | 58 | 55 |
| | | C | 62 | 58 | 52 |
| 2 | 90 A | A | 71 | 62 | 55 |
| | | B | 69 | 66 | 54 |
| | | C | 70 | 62 | 54 |
| 3 | 100 A | A | 72 | 61 | 55 |
| | | B | 74 | 65 | 57 |
| | | C | 72 | 63 | 53 |

Kepala Laboratorium Pengujian Material





INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI JURUSAN
TEKNIK MESIN
LABORATORIUM PENGUJIAN MATERIAL
Jl. Raya karanglo Km.2 Telp.(0341) 417636 Ext. 511 Malang

HASIL PENGUJIAN BENDING

Nama : Romy Athoya N
NIM : 1811176
Universitas : Institut Teknologi Nasional Malang
Program Studi : Teknik Mesin S-1
Tanggal Pengujian : 20 Desember 2022
Spesimen : ST 37

| No | Variasi Arus | Sampel | W (mm) | T (mm) | L (mm) | F (KN) | Hasil (MPa) |
|----|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------------|
| 1 | 80 A | A | 23.30 | 5.95 | 12.50 | 10610 | 76.49 |
| | | B | 24.45 | 5.96 | 12.50 | 7394 | 50.01 |
| | | C | 24.67 | 5.98 | 12.34 | 7256 | 49.03 |
| 2 | 90 A | A | 19.83 | 6.18 | 12.50 | 10375 | 84.33 |
| | | B | 21.38 | 5.77 | 12.26 | 10924 | 88.25 |
| | | C | 23.33 | 6.02 | 12.88 | 9384 | 66.68 |
| 3 | 100 A | A | 24.14 | 5.58 | 12.50 | 9512 | 70.60 |
| | | B | 22.21 | 6.10 | 12.50 | 9345 | 68.64 |
| | | C | 23.20 | 6.11 | 13.00 | 9571 | 66.68 |

Kepala Laboratorium Pengujian Material



Tito Arif Sutrisno, S.Pd, MT
NIP.P 103 21 00598



**LABORATORIUM UJI LOGAM
JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERDEKA MALANG**

SURAT KETERANGAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ir. Jumiadi, MT

NIDN : 0718056301

Menerangkan bahwa mahasiswa ITN yaitu

Nama : Romy Athoya N

NIM : 1811176

Telah melaksanakan pengujian/pengambilan data di Laboratorium Pengujian Logam Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang pada tanggal 30 Mei sd 06 Juni 2023 untuk keperluan penyusunan Skripsi/Tugas Akhir.

Demikian Surat Keterangan ini dibuat dengan sebenarnya.

Malang, 12 Juni 2023

Mengetahui,

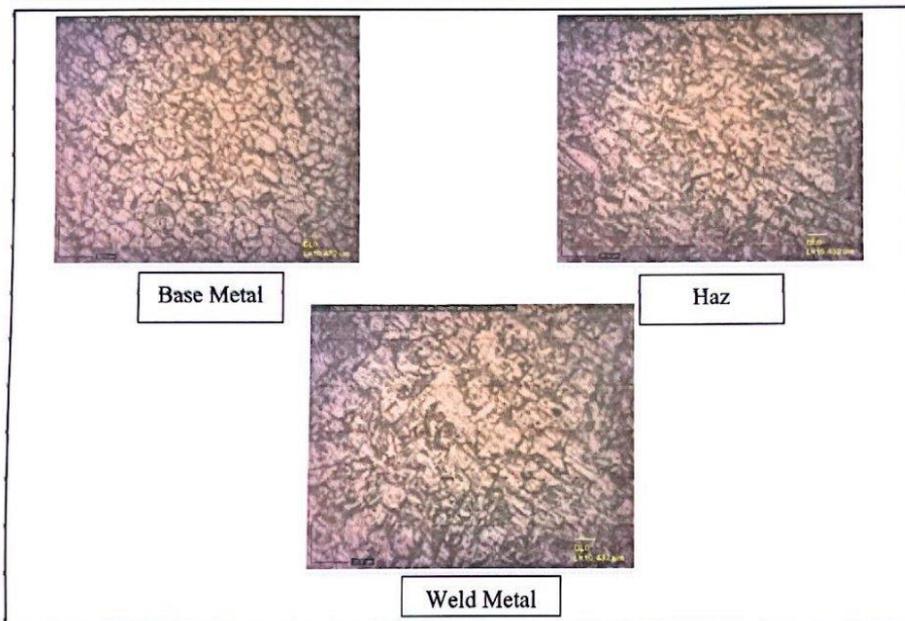
Kepala Laboratorium Uji Logam



Ir. Jumiadi, MT

NIDN. 0718056301

| | | |
|--|---|--|
|  | LABORATORIUM UJI LOGAM JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS MERDEKA MALANG | |
| | LEMBAR DATA PENGAMATAN STRUKTUR MIKRO | |
| Nama : Romy Athoya N NIM : 1811176 Institusi : ITN | | |
| Hari / tanggal : Jumat, 09 Juni 2023 Pukul : 13.00 WIB Standar Uji : ASTM (Mikrostruktur) Perlakuan : Pengelasan dengan Ampere 80 | | Jenis Mesin : Mikroskop Logam Pembesaran foto : 200 x Jenis etsa : Nital (5 ml HNO ₃ + 95 ml Alkohol 95%) Jenis bahan : Baja St 37 |



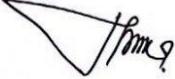
Mengetahui,
Kepala Laboratorium Uji Logam



FAKULTAS TEKNIK
 JURUSAN MESIN
 LABORATORIUM
 UJI - LOGAM

(Ir. Jumiadi, MT)

Dosen Pembimbing



(Pungky Eka Setyawan, ST.,MT)

| | | |
|---|---|--|
|  | LABORATORIUM UJI LOGAM JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS MERDEKA MALANG | |
| | LEMBAR DATA PENGAMATAN STRUKTUR MIKRO | |
| Nama : Romy Athoya N NIM : 1811176 Institusi : ITN | | |
| Hari / tanggal : Jumat, 09 Juni 2023 Pukul : 13.00 WIB Standar Uji : ASTM (Mikrostruktur) Perlakuan : Pengelasan dengan Ampere 90 | | Jenis Mesin : Mikroskop Logam Pembesaran foto : 200 x Jenis etsa : Nital (5 ml HNO ₃ + 95 ml Alkohol 95%) Jenis bahan : Baja St 37 |
| <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: 80px; margin: 0 auto;">Base Metal</div> </div> <div style="text-align: center;">  <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: 80px; margin: 0 auto;">Haz</div> </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: 100px; margin: 0 auto;">Weld Metal</div> </div> | | |

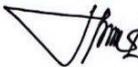
Mengetahui,
Kepala Laboratorium Uji Logam



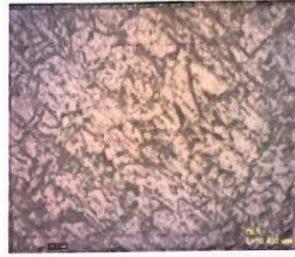
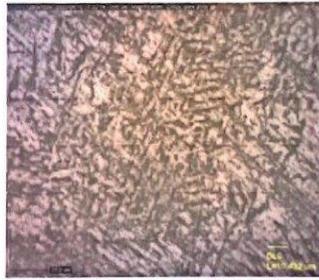
FAKULTAS TEKNIK
 JURUSAN MESIN
 LABORATORIUM
UJI - LOGAM

(Ir. Jumiadi, MT)

Dosen Pembimbing



(Pungky Eka Setyawan, ST.,MT)

| | | |
|---|---|--|
|  | LABORATORIUM UJI LOGAM JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS MERDEKA MALANG | |
| | LEMBAR DATA PENGAMATAN STRUKTUR MIKRO | |
| Nama : Romy Athoya N NIM : 1811176 Institusi : ITN | | |
| Hari / tanggal : Jumat, 09 Juni 2023 Pukul : 13.00 WIB Standar Uji : ASTM (Mikrostruktur) Perlakuan : Pengelasan dengan Ampere 100 | | Jenis Mesin : Mikroskop Logam Pembesaran foto : 200 x Jenis etsa : Nital (5 ml HNO ₃ + 95 ml Alkohol 95%) Jenis bahan : Baja St 37 |
| <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Base Metal</div> </div> <div style="text-align: center;">  <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Haz</div> </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Weld Metal</div> </div> | | |

Mengetahui,
Kepala Laboratorium Uji Logam



FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN MESIN
LABORATORIUM
UJI - LOGAM

(Ir. Jumadi, MT)

Dosen Pembimbing



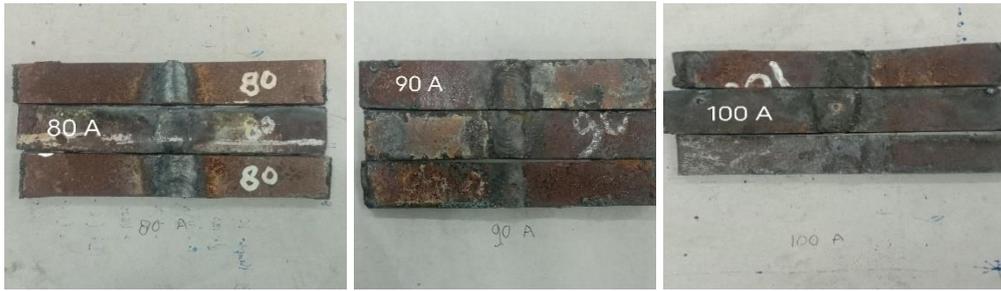
(Pungky Eka Setyawan, ST.,MT)

Lampiran 3 Dokumentasi Alat dan Bahan Pengelasan

1. Alat



2. Bahan



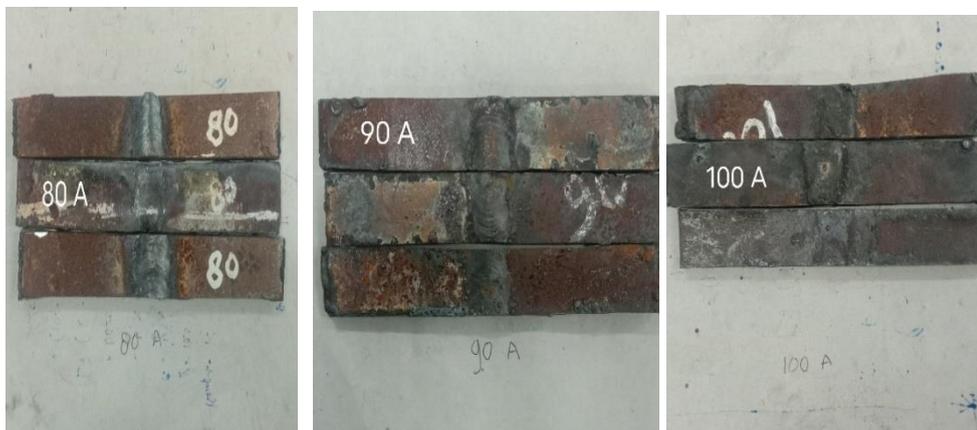
Lampiran 4 Dokumentasi Pengujian

1. Pengujian kekerasan

A. Alat



B. Spesimen

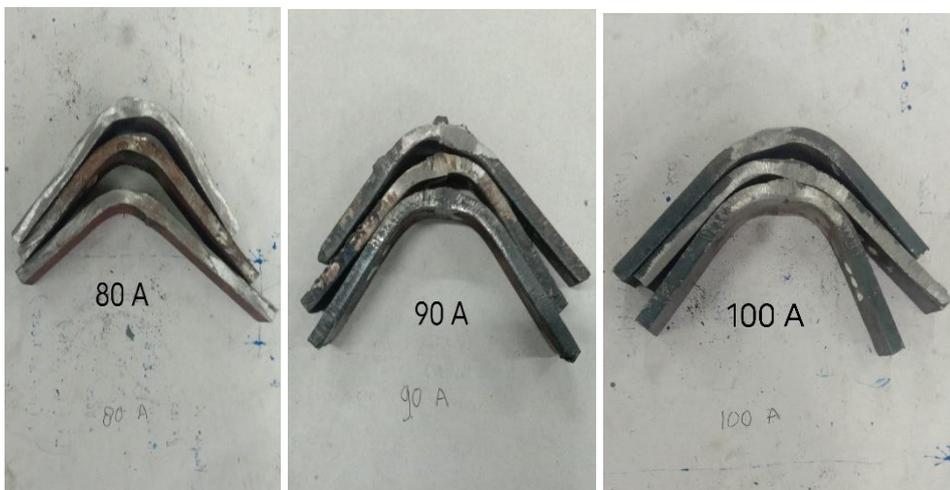


2. Pengujian Bending

A. Alat

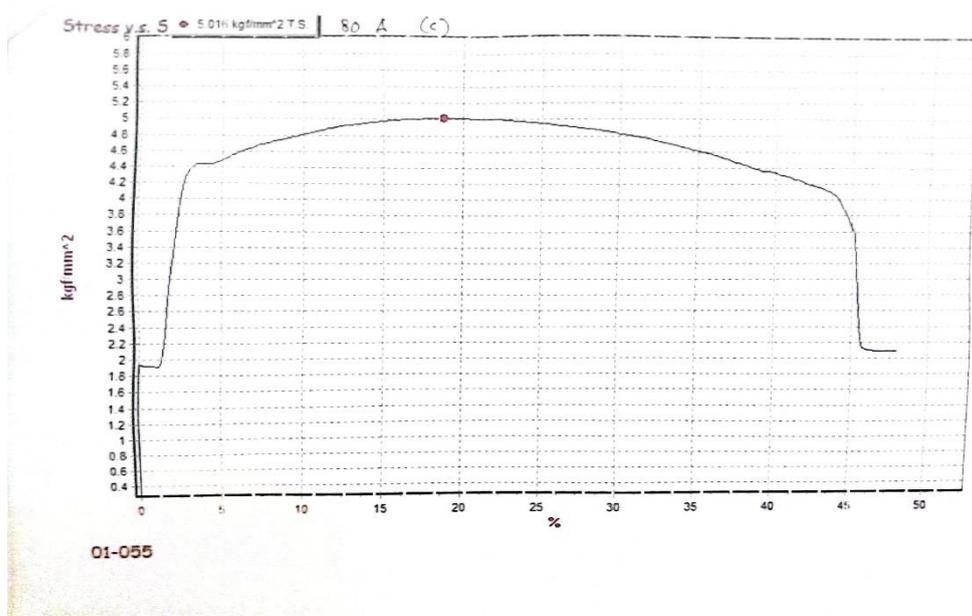
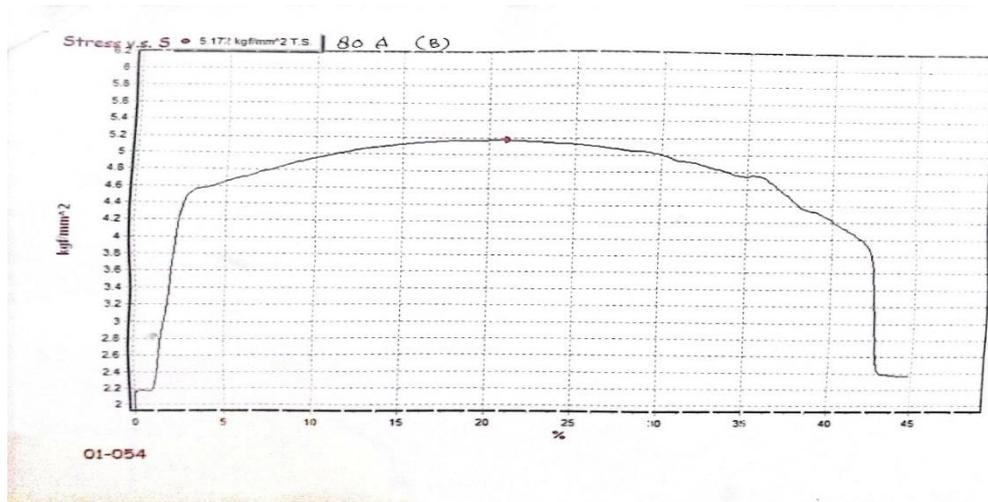
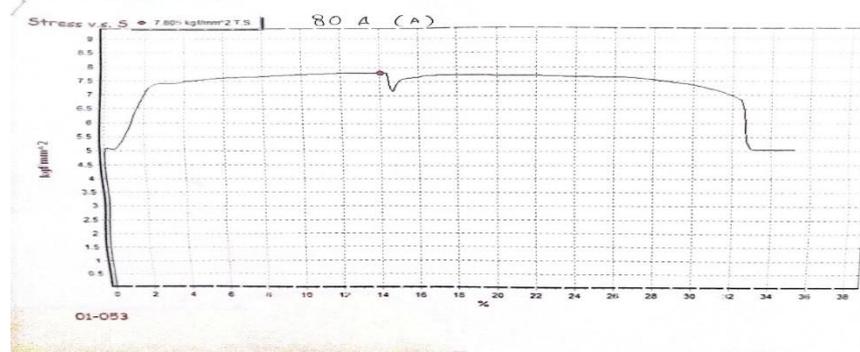


B. Specimen

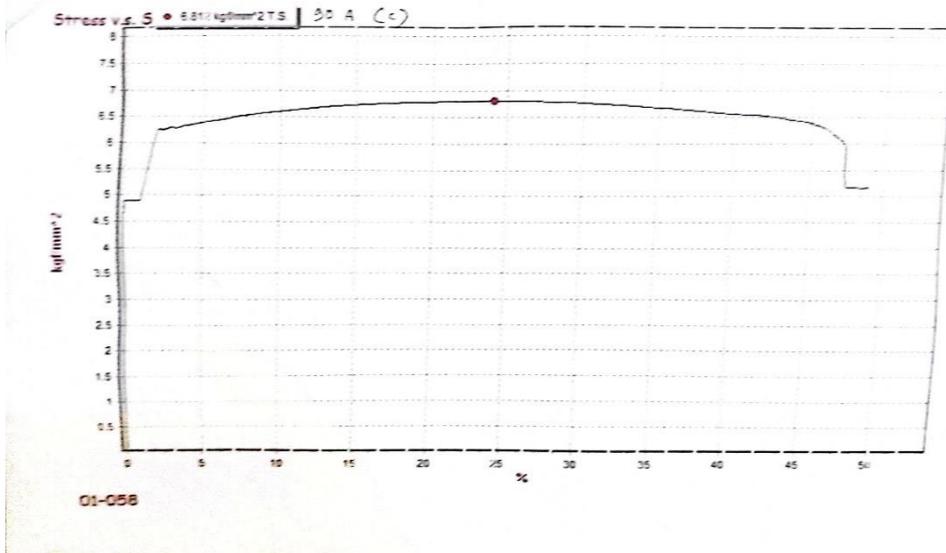
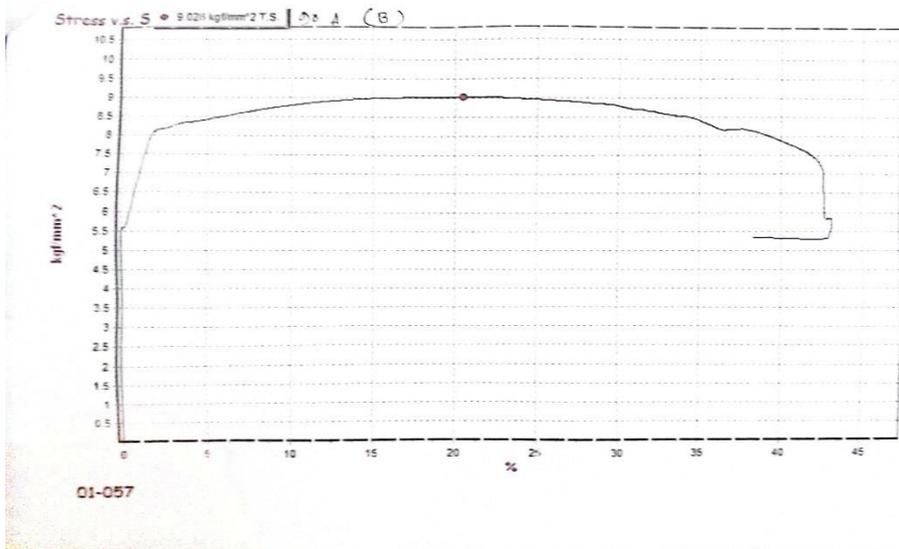
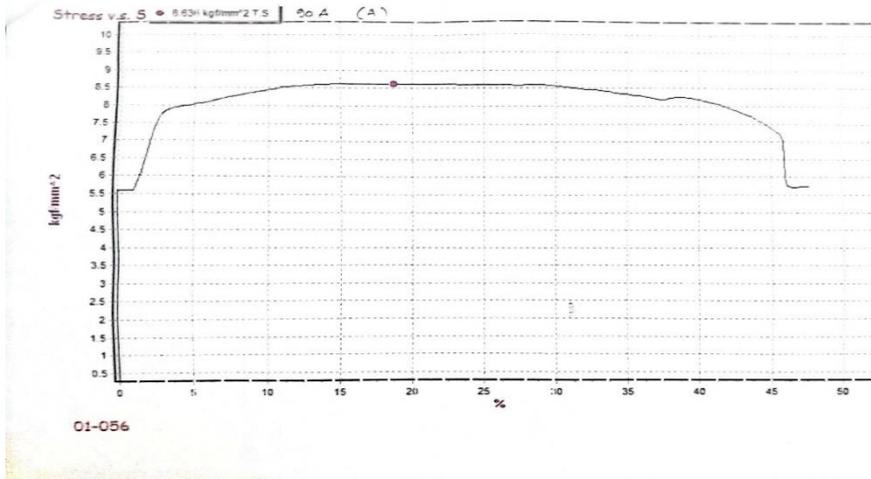


C. Data mentah grafik mentah uji bending

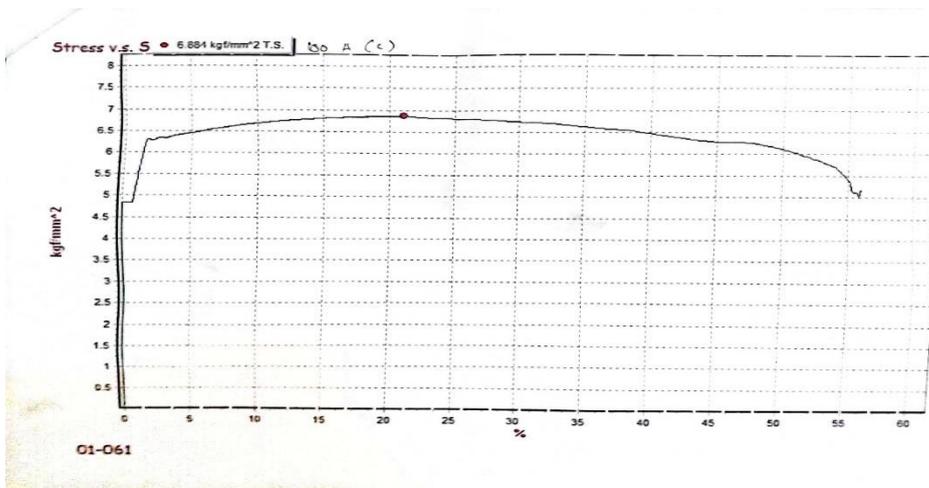
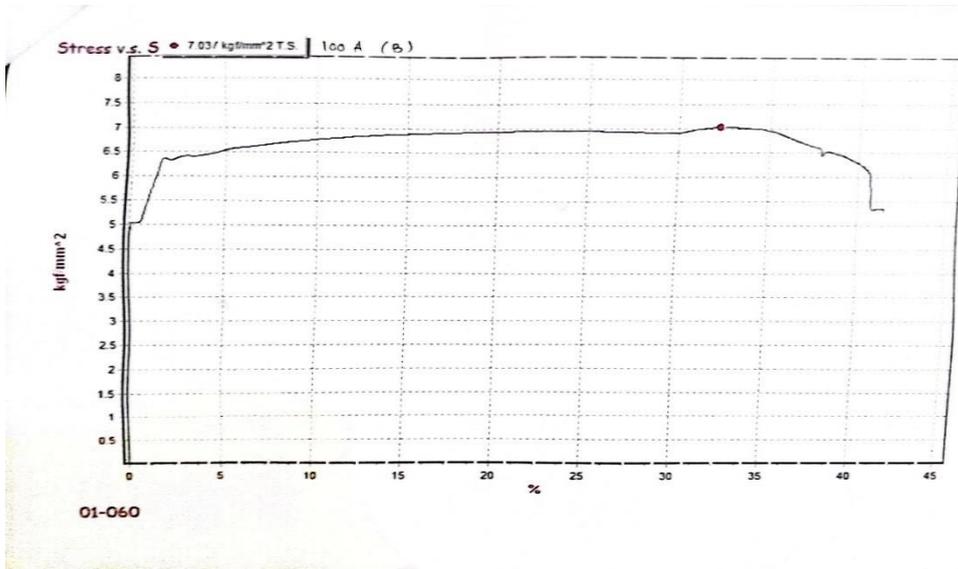
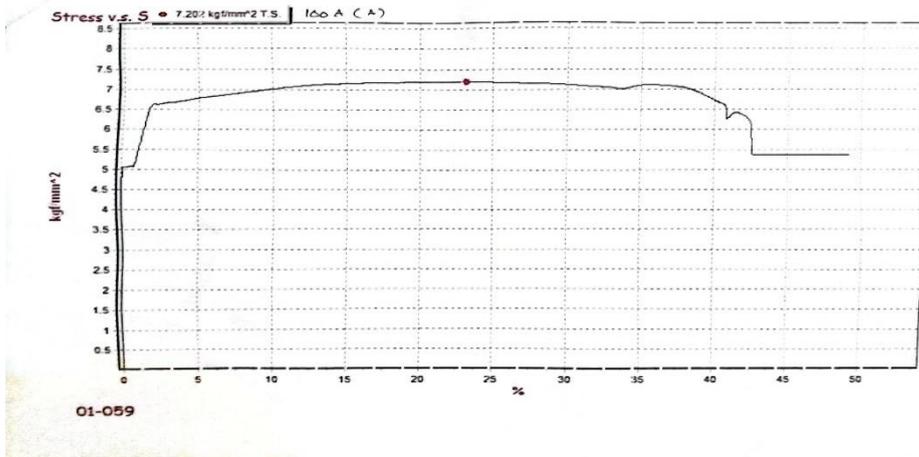
80 Ampere



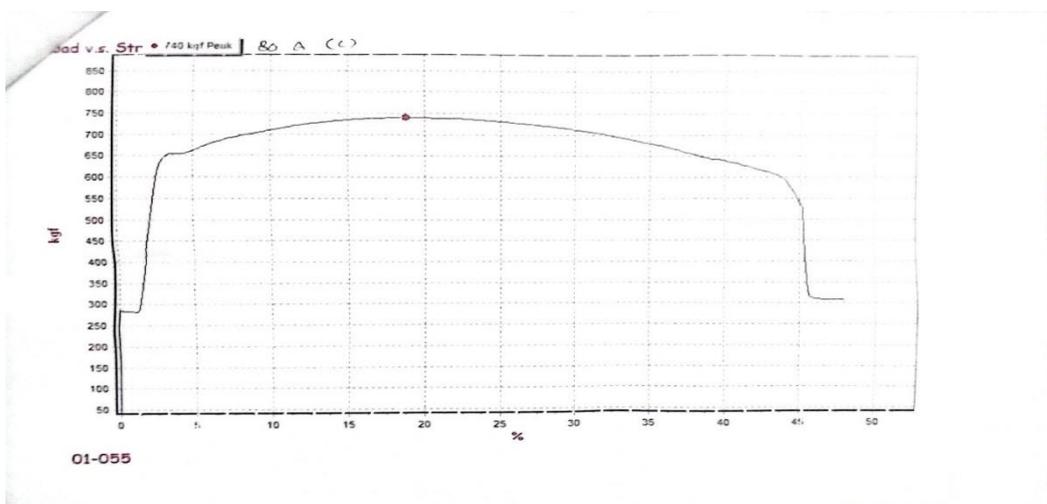
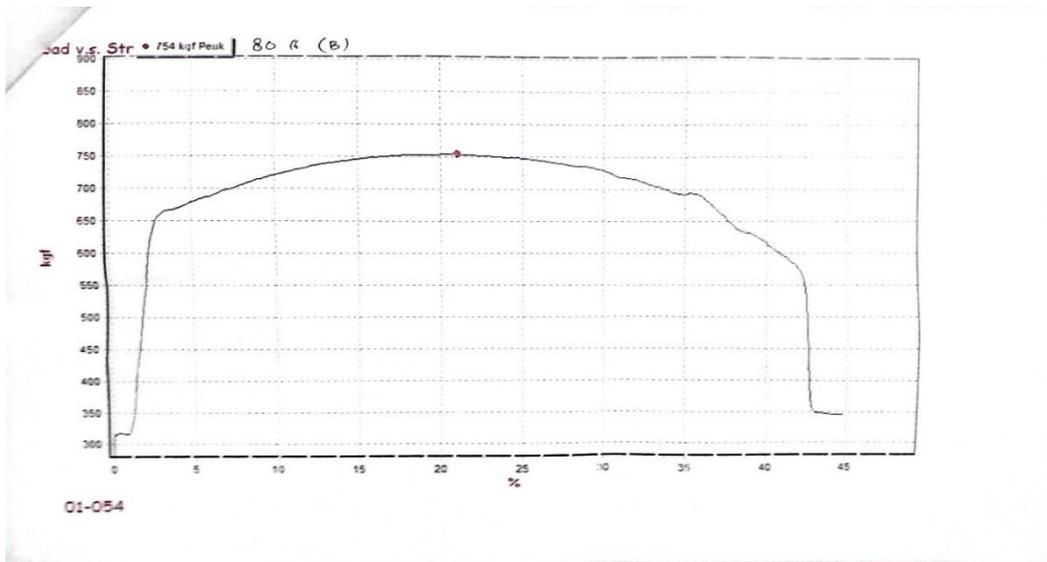
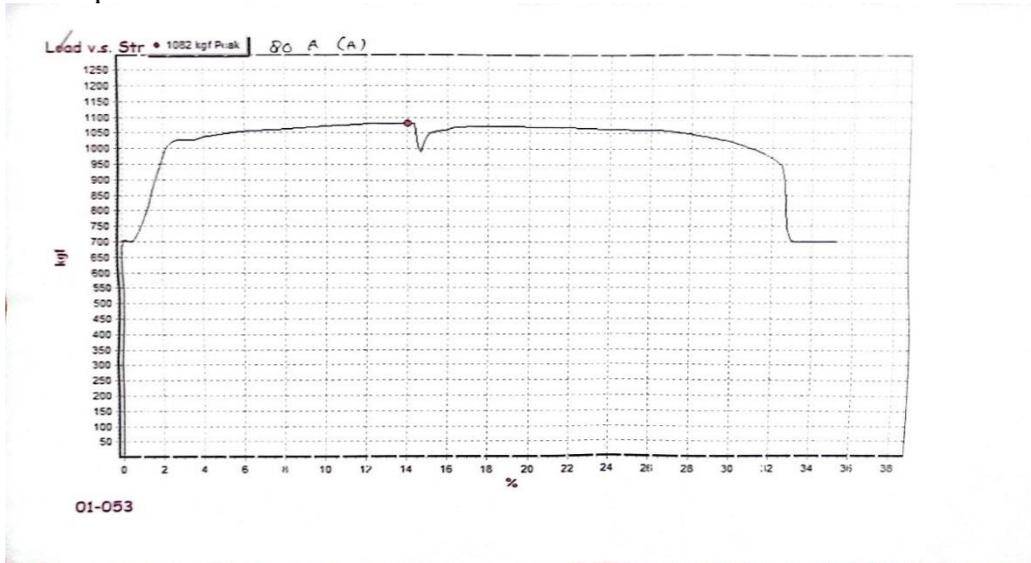
90 Ampere



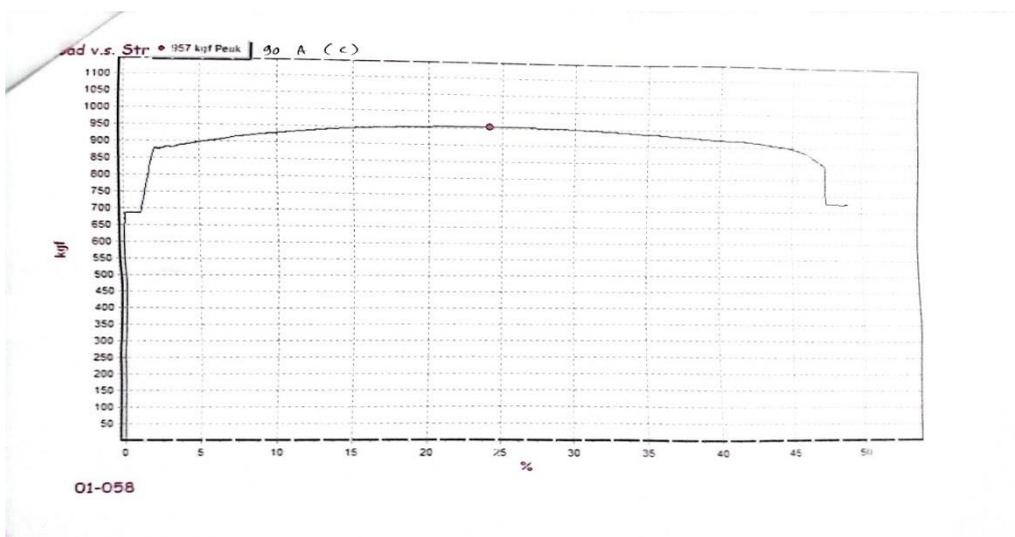
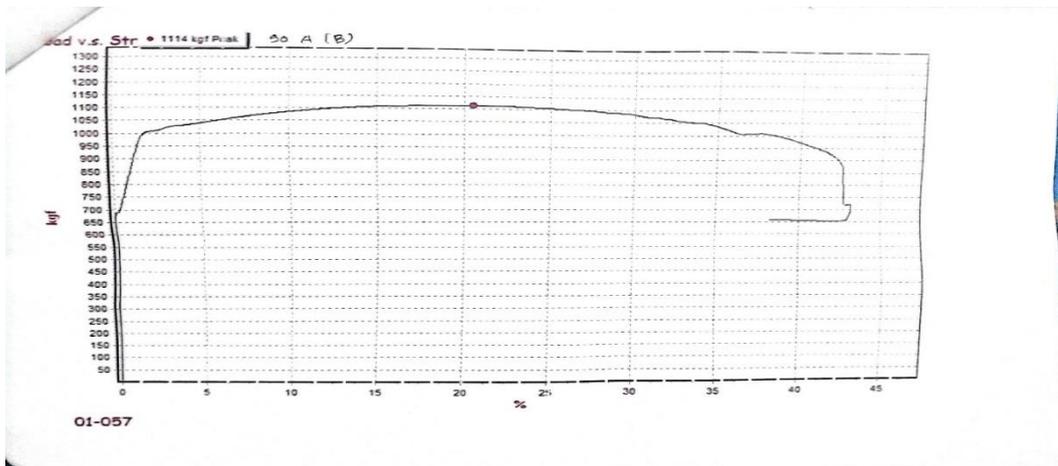
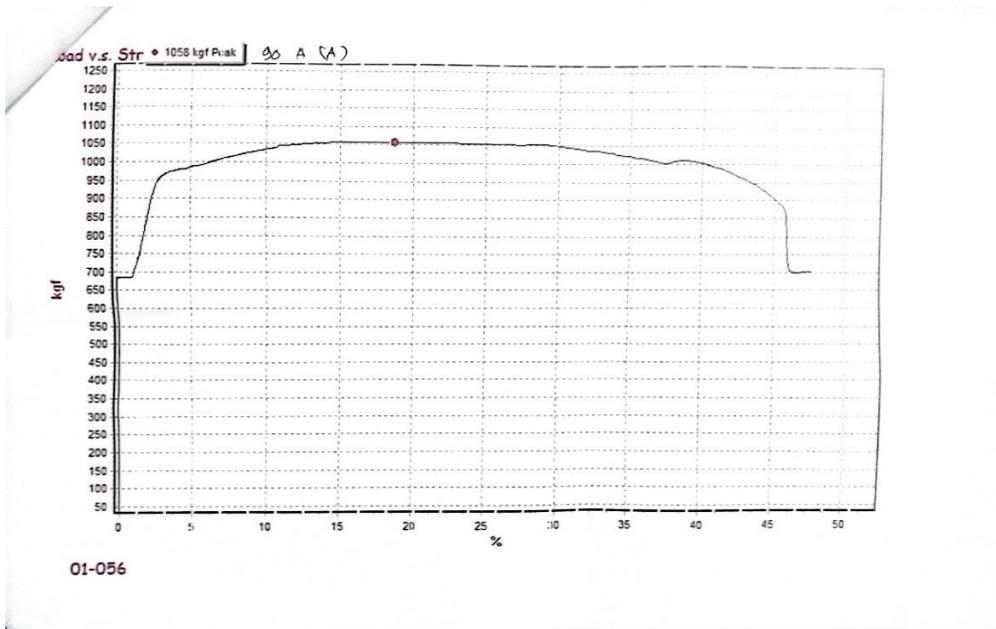
100 Ampere



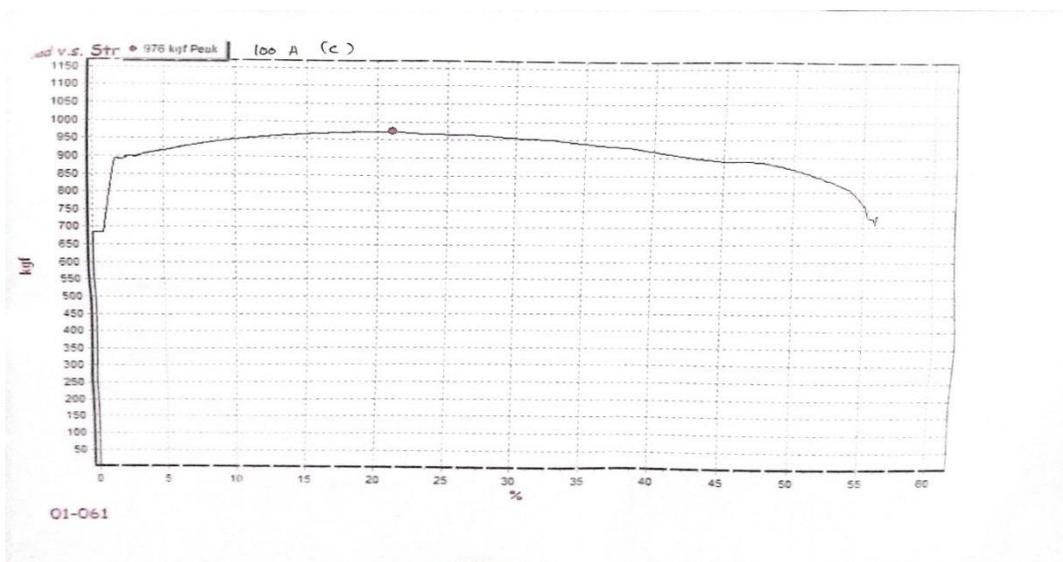
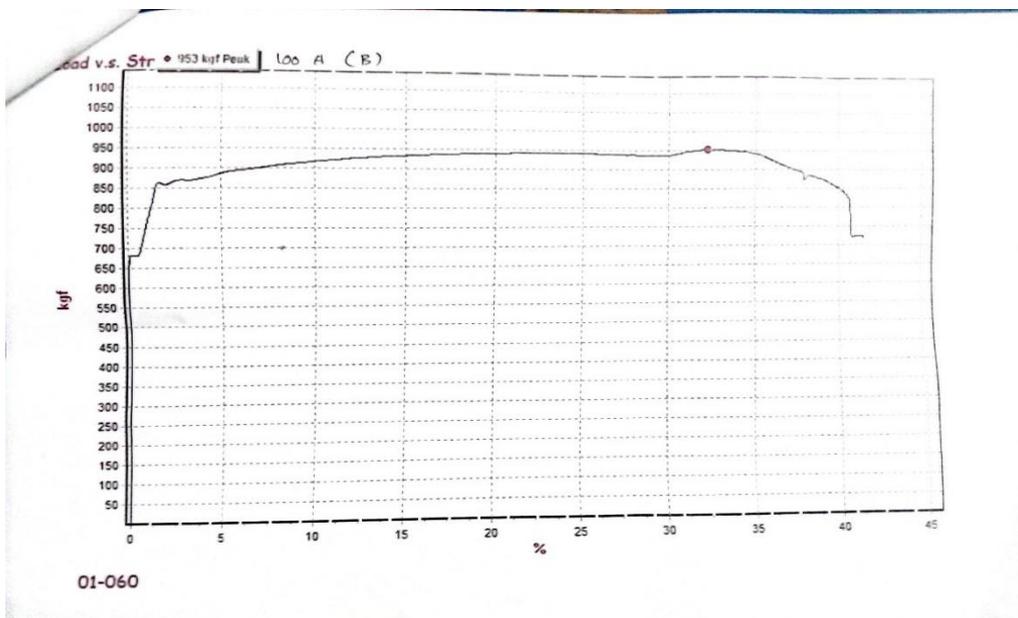
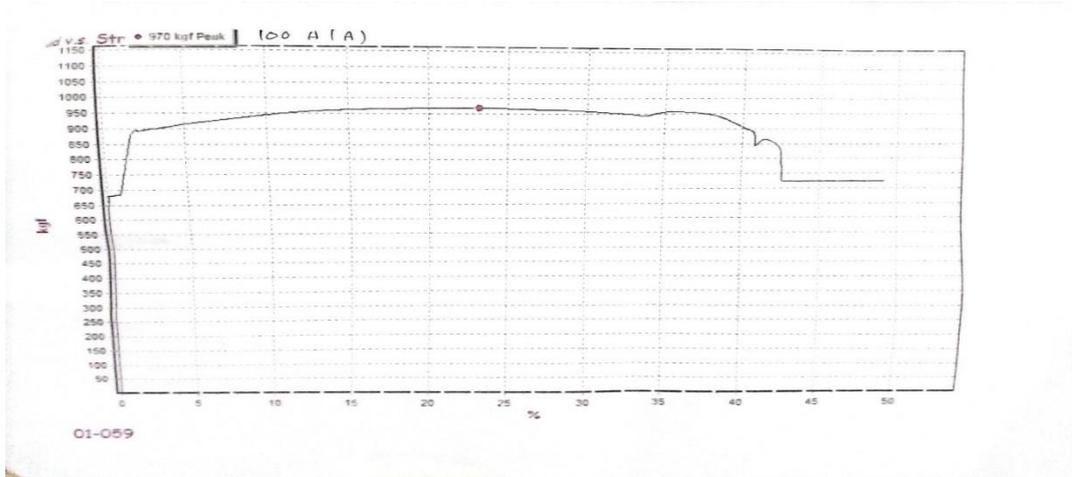
80 Ampere



90 Ampere

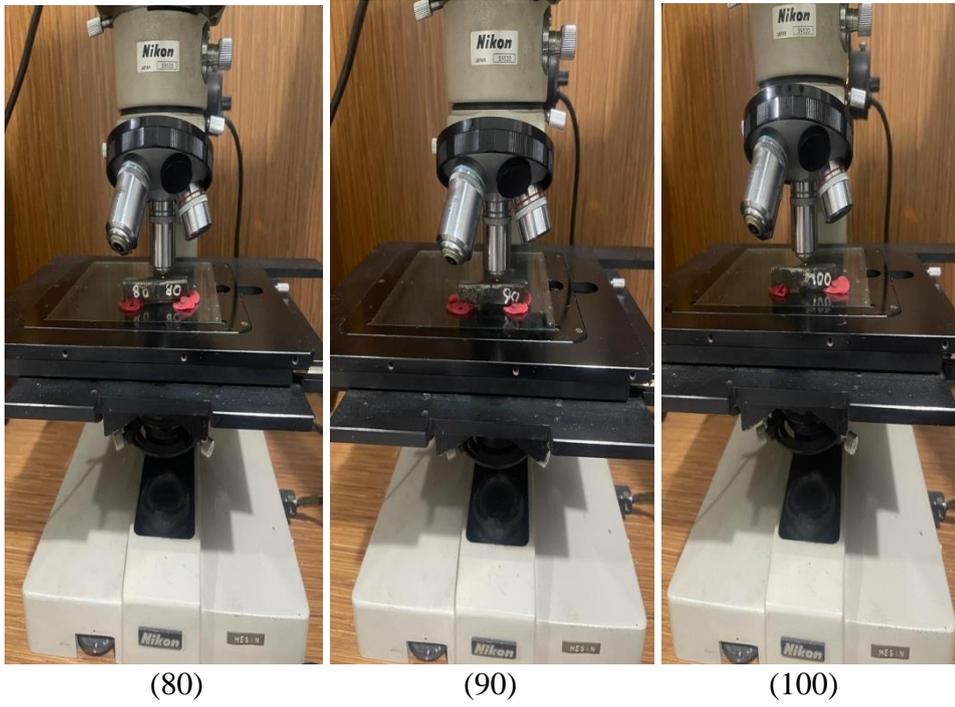


100 Ampere

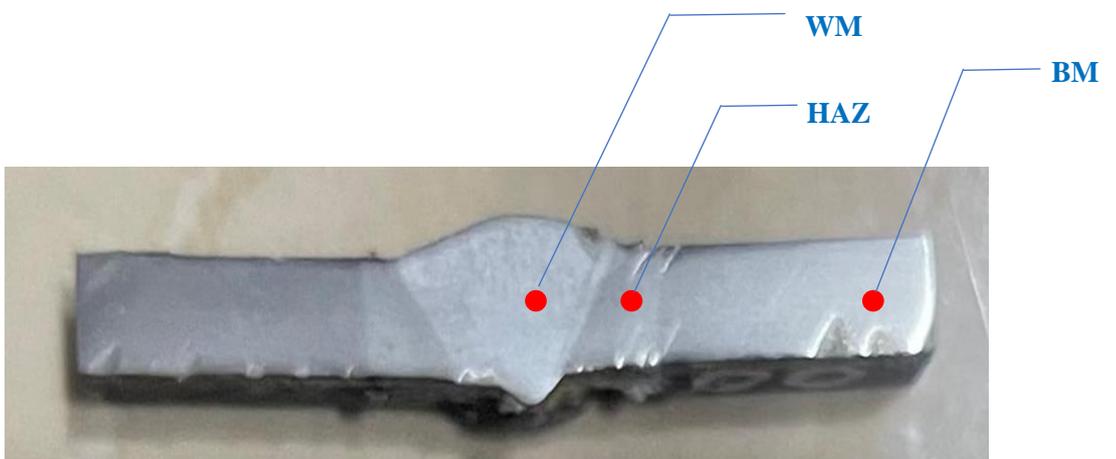


3. Pengujian Micro

A. alat

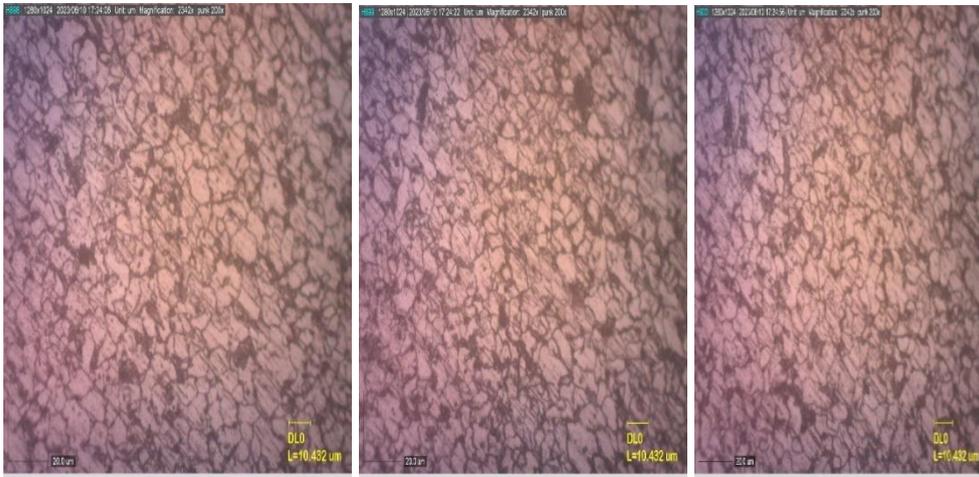


B. Spesimen

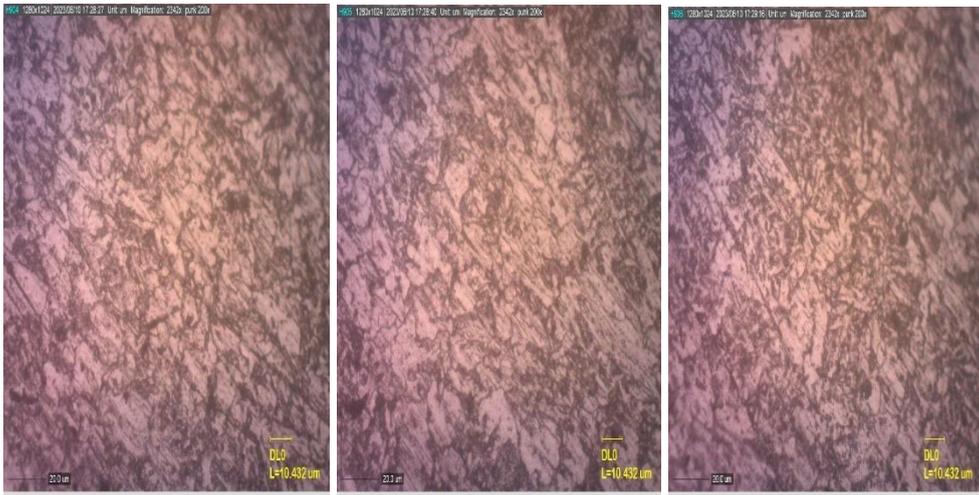


C. Data uji micro

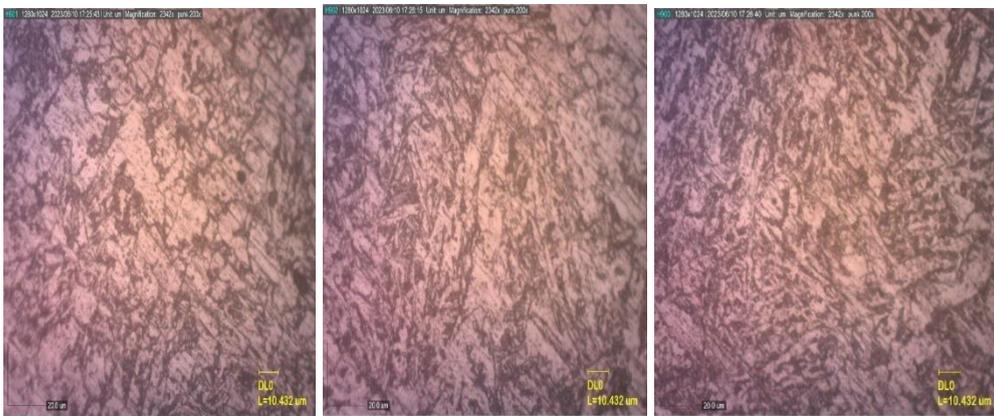
1. 80 ampere
a. Base metal



b. Haz

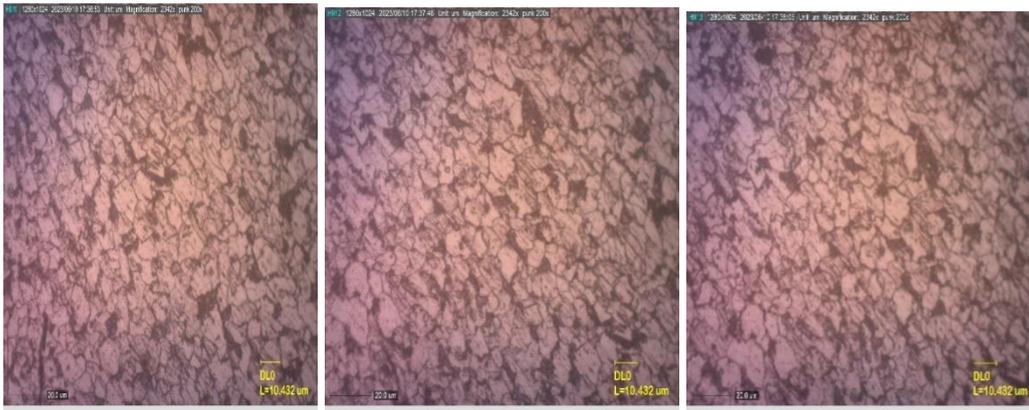


c. Weld metal

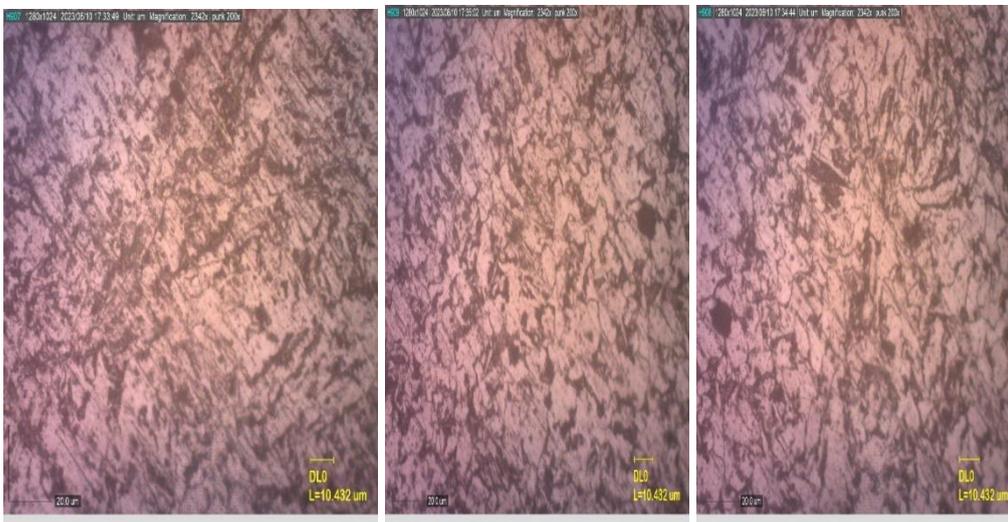


2. 90 Ampere

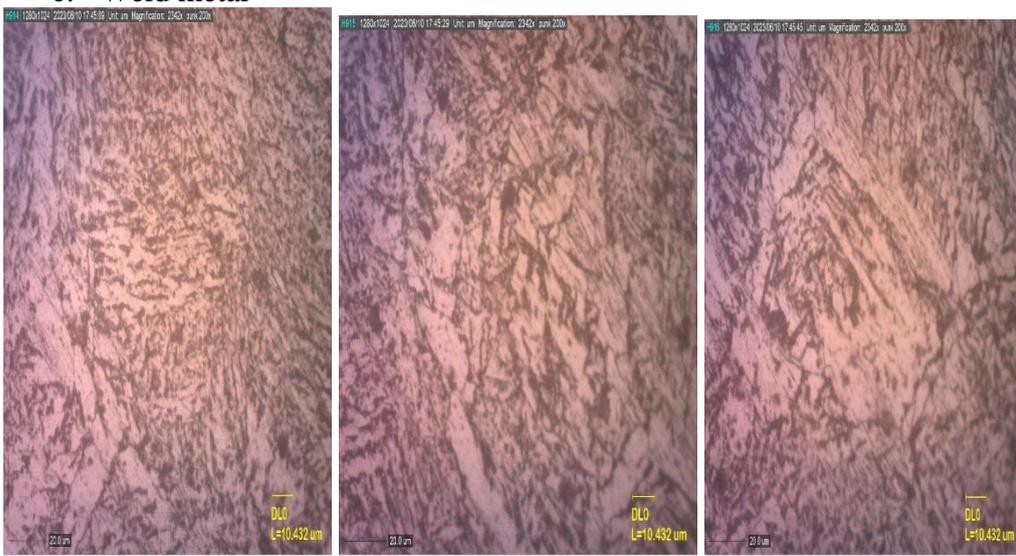
a. Base metal



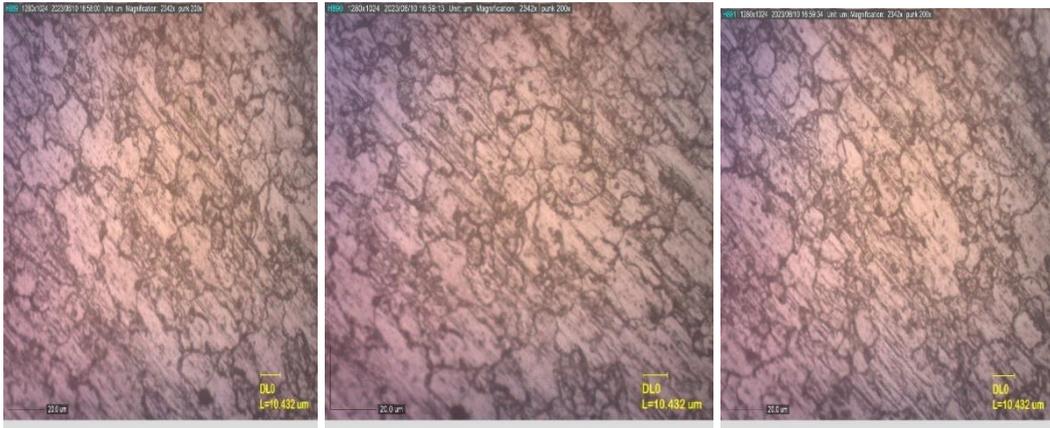
b. Haz



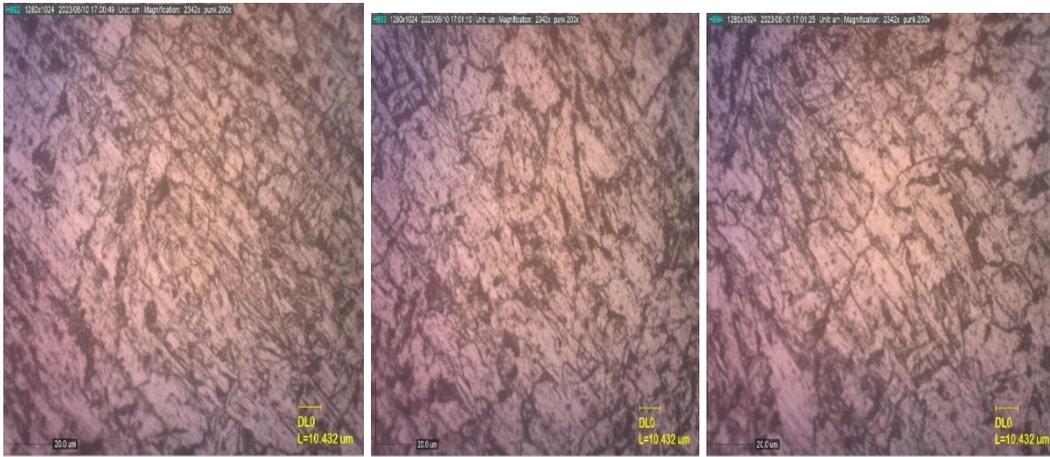
c. Weld metal



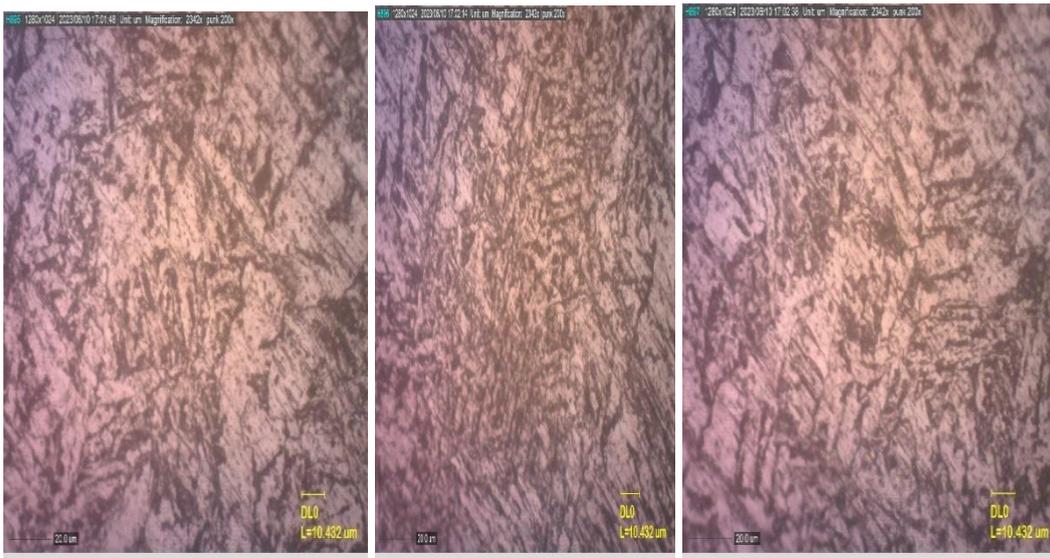
3. 100 Ampere
a. Base metal



b. Haz



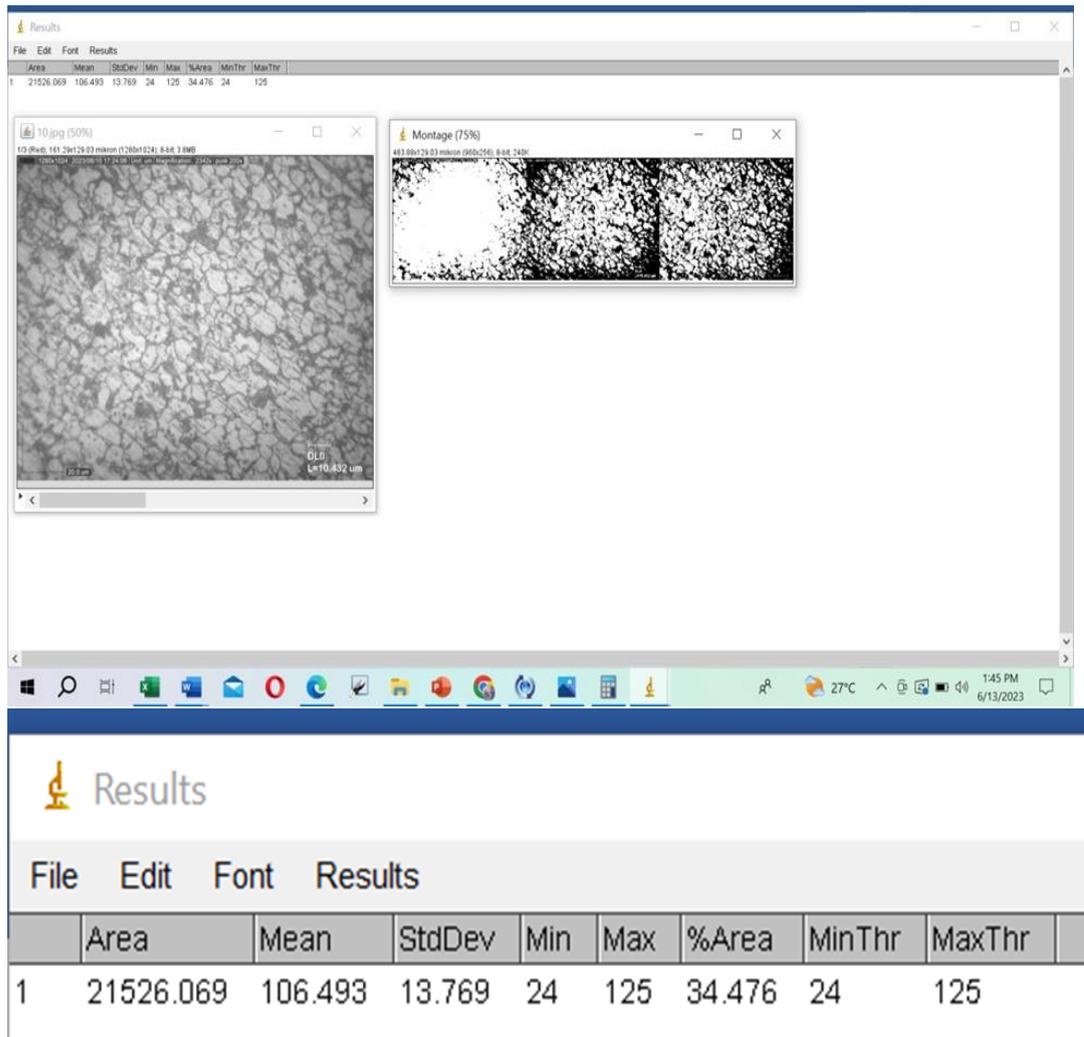
c. Weld metal



ANALISIS % FERIT DAN % PERLIT

1. Ampere 80 base metal (GAMBAR 10)
 - A. PERLIT 34,476 %
 - B. FERIT BERARTI $100\% - 34,476\% = 65,524\%$

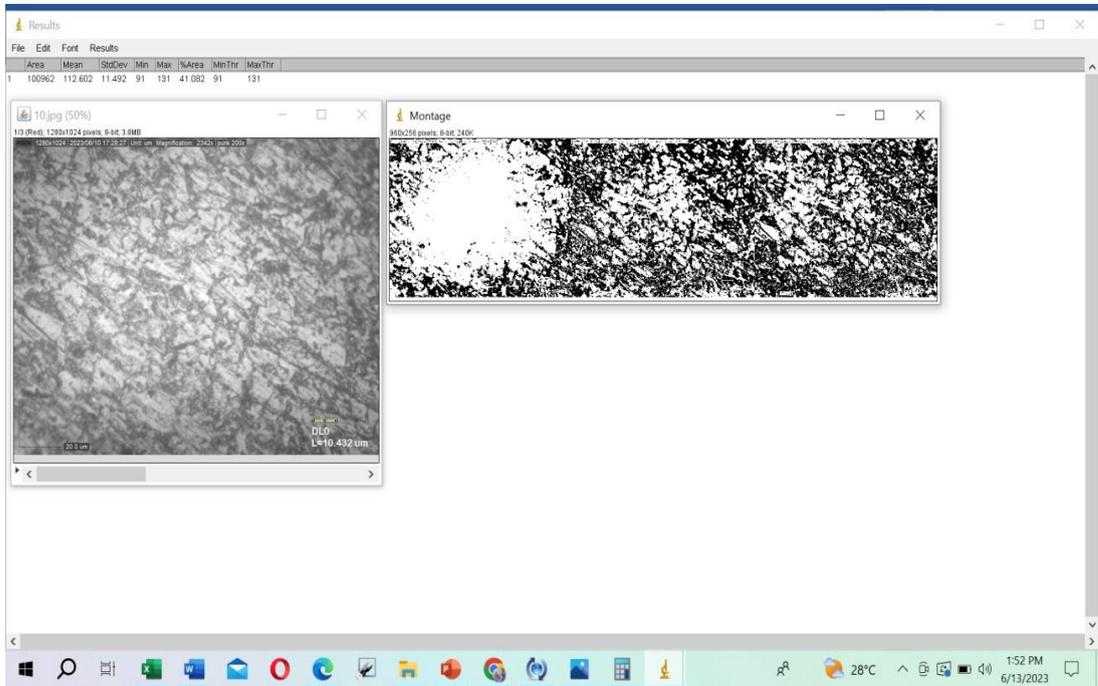
Perlit



2. Ampere 80 Haz (GAMBAR 10)

- A. PERLIT 41,082 %
- B. FERIT BERARTI $100\% - 41,082\% = 58,918\%$

Perlit

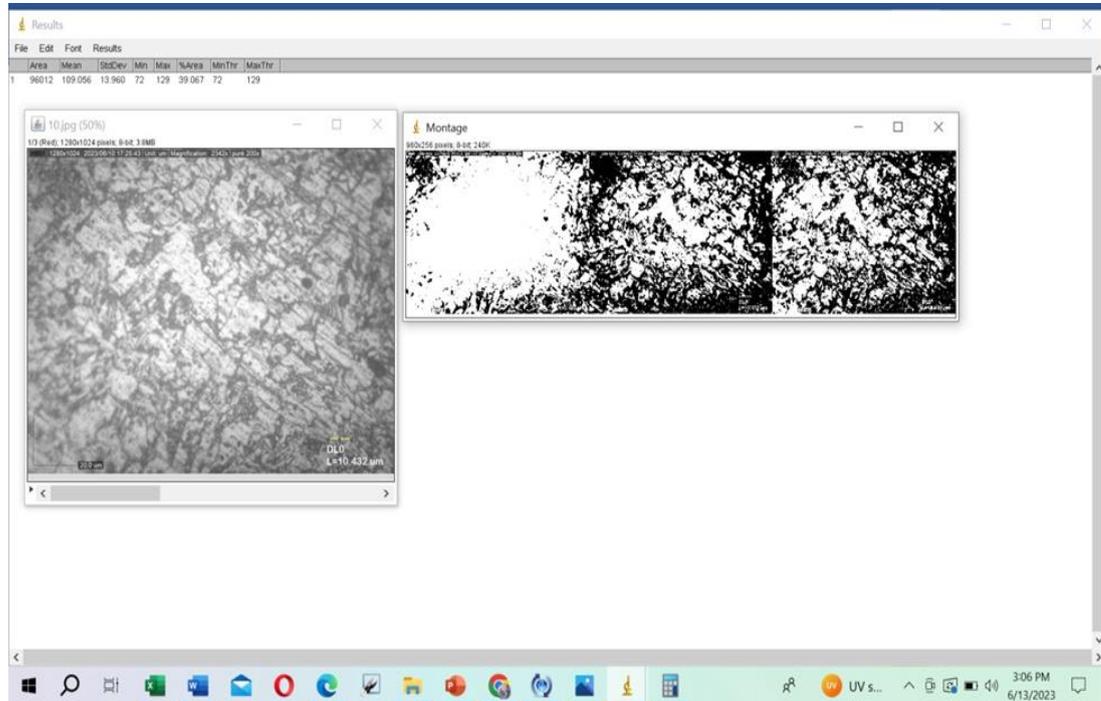


| Results | | | | | | | | |
|------------------------|--------|---------|--------|-----|-----|--------|--------|--------|
| File Edit Font Results | | | | | | | | |
| | Area | Mean | StdDev | Min | Max | %Area | MinThr | MaxThr |
| 1 | 100962 | 112.602 | 11.492 | 91 | 131 | 41.082 | 91 | 131 |

3. Ampere 80 Weld Metal (GAMBAR 10)

- A. PERLIT 39,067 %
- B. FERIT BERARTI $100\% - 39,067\% = 60,933\%$

Perlit

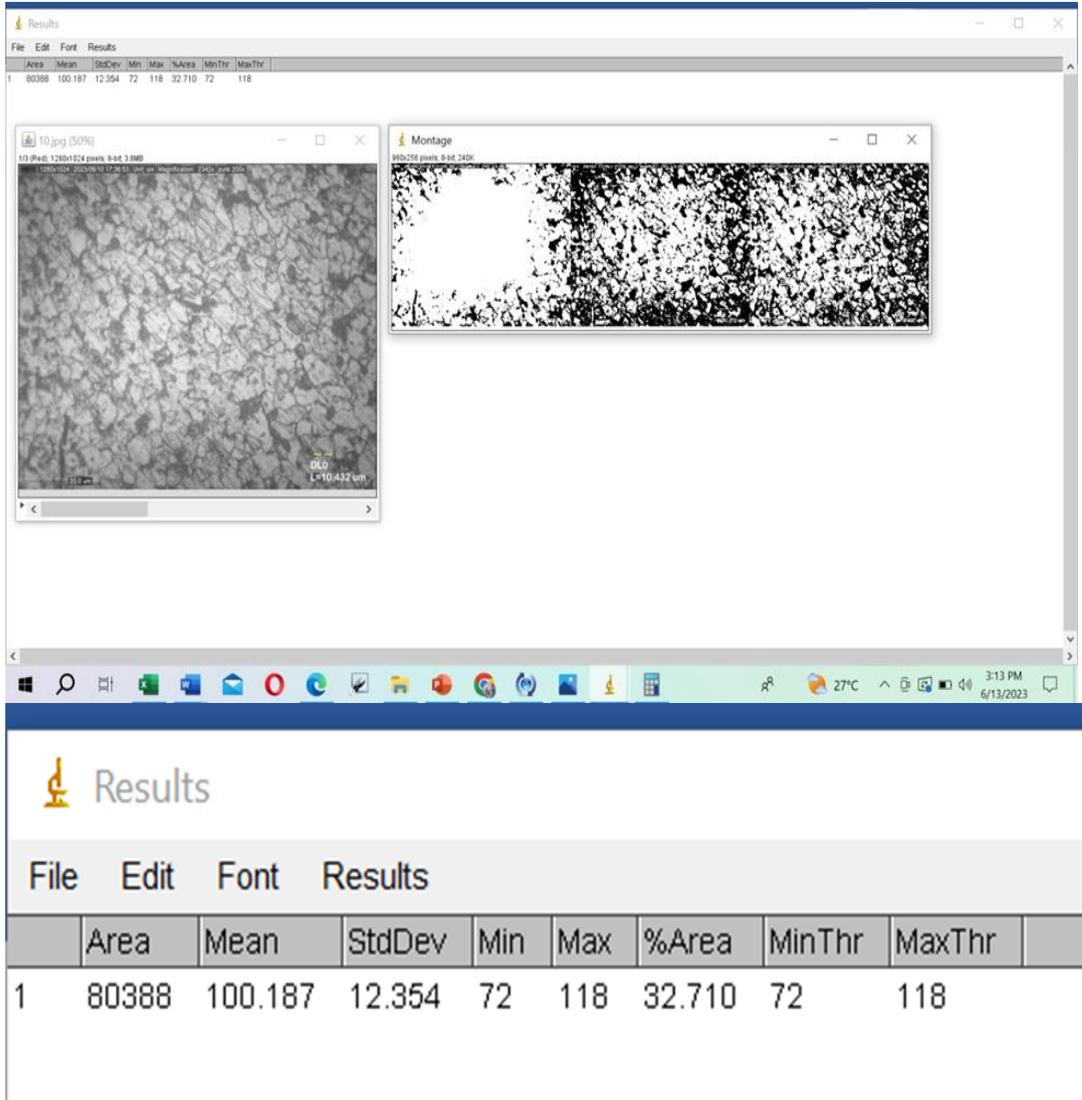


| Results | | | | | | | | |
|---------|-------|---------|---------|-----|-----|--------|--------|--------|
| File | Edit | Font | Results | | | | | |
| | Area | Mean | StdDev | Min | Max | %Area | MinThr | MaxThr |
| 1 | 96012 | 109.056 | 13.960 | 72 | 129 | 39.067 | 72 | 129 |

4. Ampere 90 Base Metal (GAMBAR 10)

- A. PERLIT 32,710 %
- B. FERIT BERARTI $100\% - 32,710\% = 67,290$

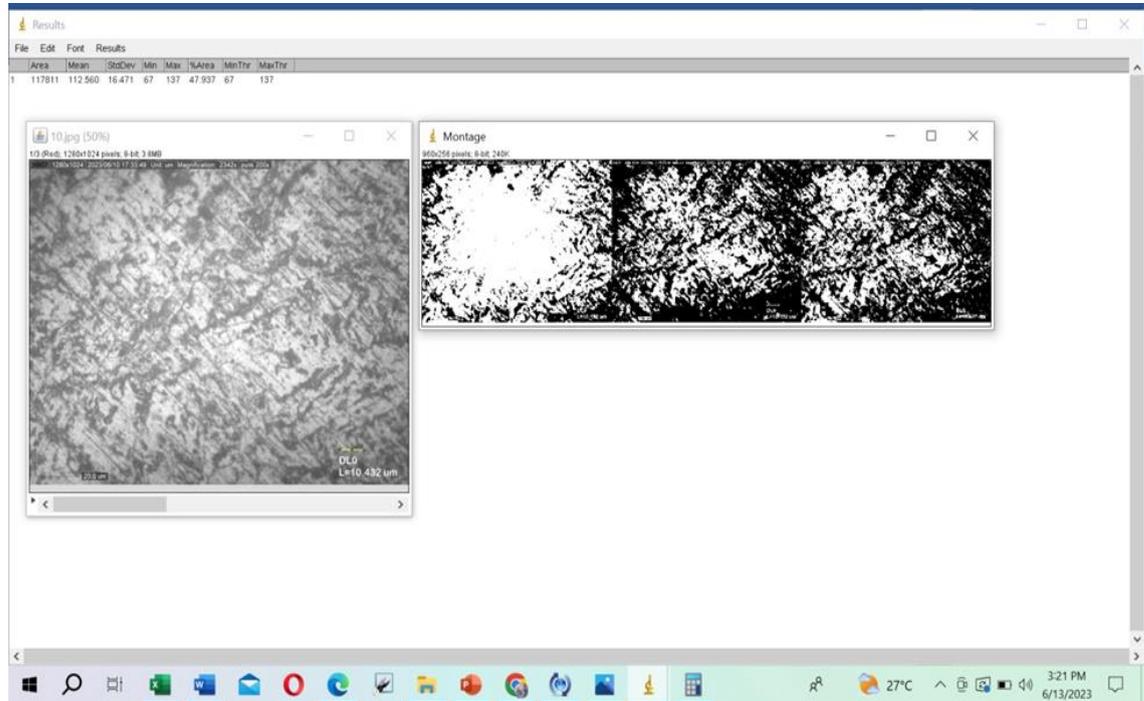
Perlit



5. Ampere 90 Haz (GAMBAR 10)

- A. PERLIT 47,937 %
- B. FERIT BERARTI $100\% - 47,937\% = 52,063\%$

Perlit

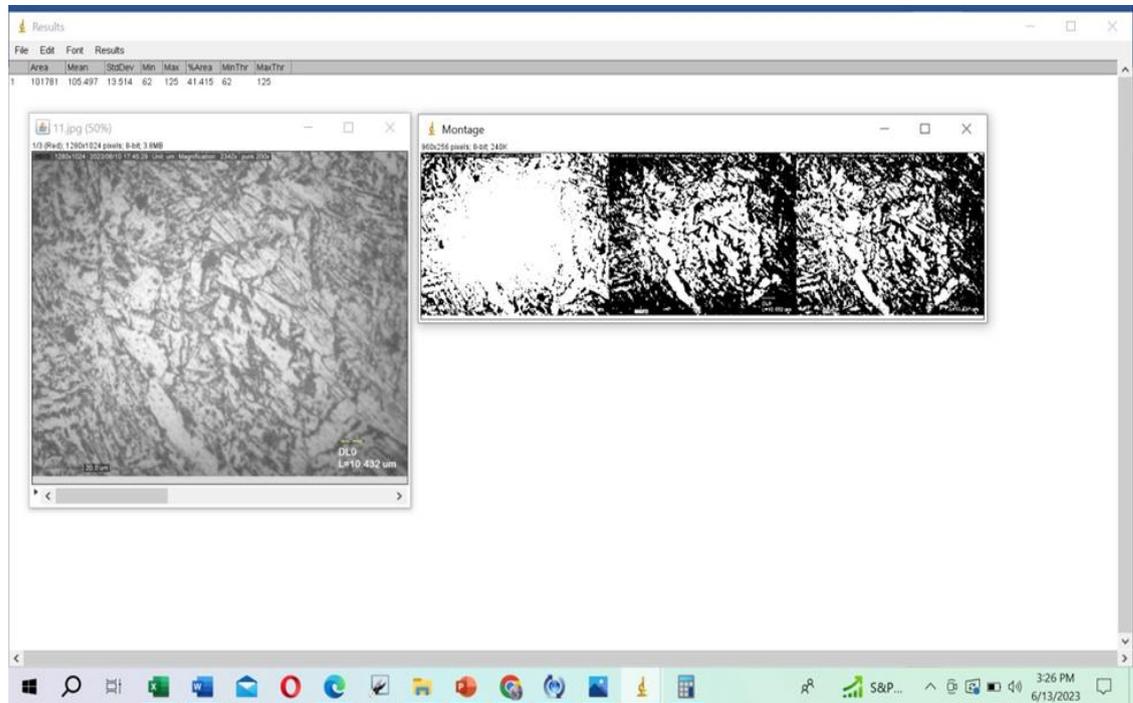


| Results | | | | | | | | |
|------------------------|--------|---------|--------|-----|-----|--------|--------|--------|
| File Edit Font Results | | | | | | | | |
| | Area | Mean | StdDev | Min | Max | %Area | MinThr | MaxThr |
| 1 | 117811 | 112.560 | 16.471 | 67 | 137 | 47.937 | 67 | 137 |

6. Ampere 90 Weld Metal (GAMBAR 11)

- A. PERLIT 41,415 %
- B. FERIT BERARTI $100\% - 29,640\% = 58,585\%$

Perlit



Results

File Edit Font Results

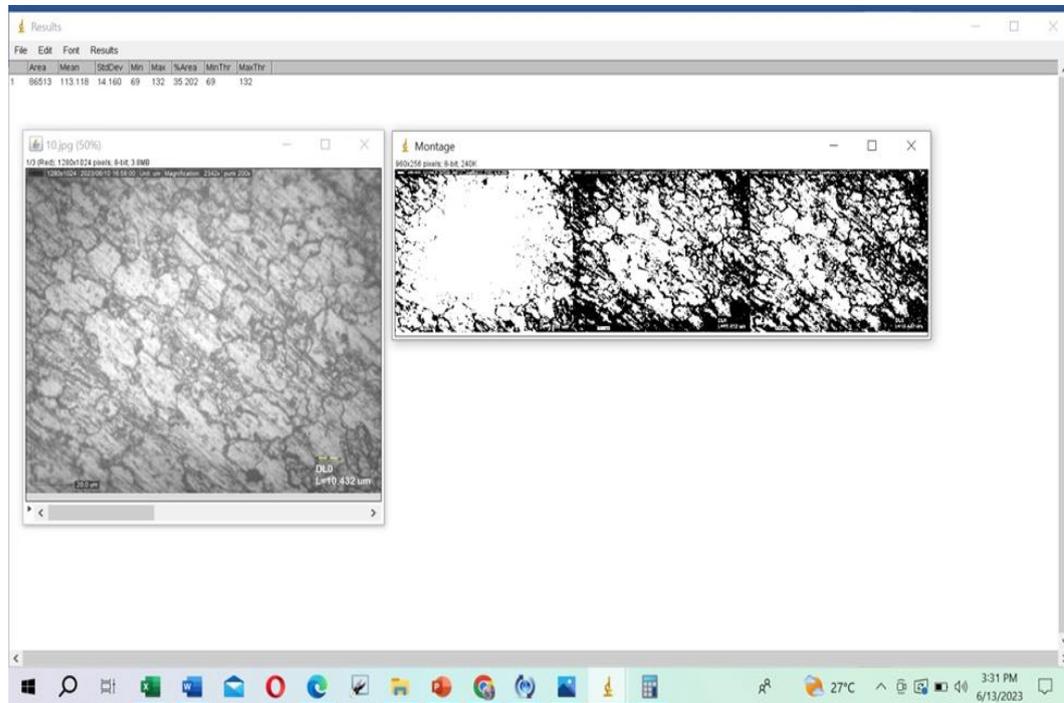
| | Area | Mean | StdDev | Min | Max | %Area | MinThr | MaxThr |
|---|--------|---------|--------|-----|-----|--------|--------|--------|
| 1 | 101781 | 105.497 | 13.514 | 62 | 125 | 41.415 | 62 | 125 |

7. Ampere 100 Base Metal (GAMBAR 10)

A. PERLIT 35,202 %

B. FERIT BERARTI $100\% - 35,202\% = 64,798\%$

Perlit



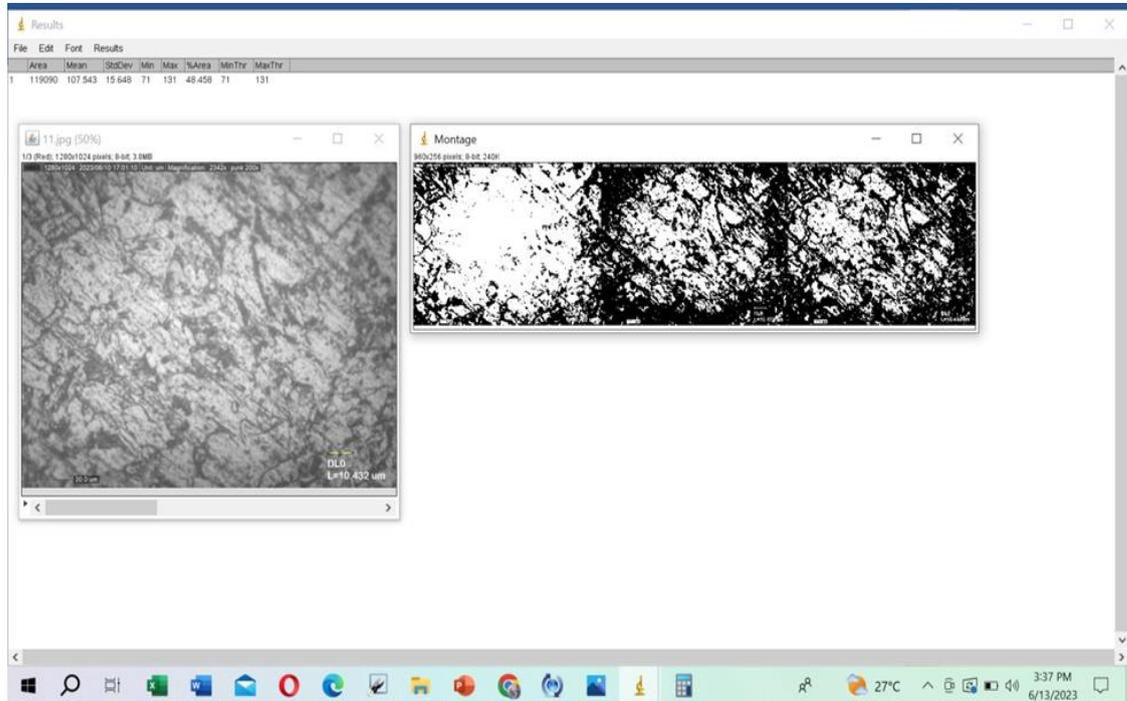
| Results | | | | | | | | | |
|------------------------|-------|---------|--------|-----|-----|--------|--------|--------|--|
| File Edit Font Results | | | | | | | | | |
| | Area | Mean | StdDev | Min | Max | %Area | MinThr | MaxThr | |
| 1 | 86513 | 113.118 | 14.160 | 69 | 132 | 35.202 | 69 | 132 | |

8. Ampere 100 Haz (GAMBAR 11)

C. PERLIT 48,458 %

D. FERIT BERARTI $100\% - 48,458\% = 51,542$

Perlit



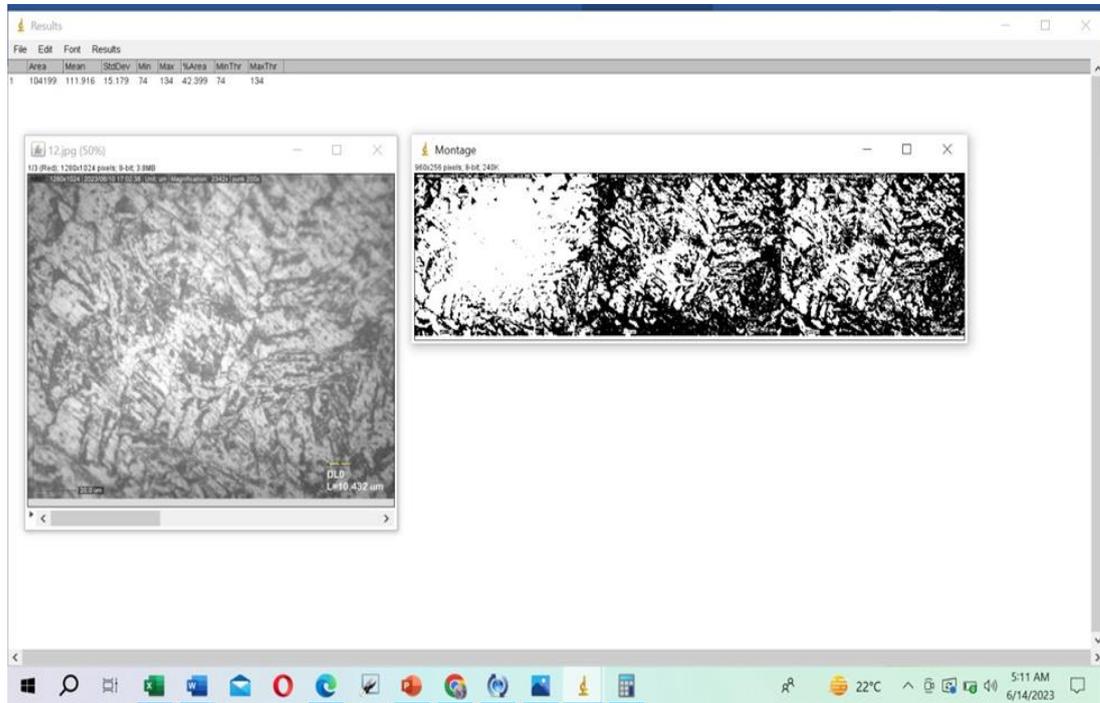
| Results | | | | | | | | | |
|------------------------|--------|---------|--------|-----|-----|--------|--------|--------|--|
| File Edit Font Results | | | | | | | | | |
| | Area | Mean | StdDev | Min | Max | %Area | MinThr | MaxThr | |
| 1 | 119090 | 107.543 | 15.648 | 71 | 131 | 48.458 | 71 | 131 | |

9. Ampere 100 Weld Metal (GAMBAR 11)

C. PERLIT 42,399 %

D. FERIT BERARTI $100\% - 42,399\% = 57,601\%$

Perlit



Results

File Edit Font Results

| | Area | Mean | StdDev | Min | Max | %Area | MinThr | MaxThr |
|---|--------|---------|--------|-----|-----|--------|--------|--------|
| 1 | 104199 | 111.916 | 15.179 | 74 | 134 | 42.399 | 74 | 134 |