

**PENGARUH VARIASI GERAKAN ELEKTRODA TERHADAP
SIFAT FISIK DAN MEKANIK BAJA AISI 1006 PADA PROSES
PENGELASAN SMAW**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin**



Disusun Oleh :

Nama : Fandy Julianto

No. Mahasiswa : 17525065

NIRM : 2017040591

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2022

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fandy Julianto

NIM : 17525065

Program Studi : S1 Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia

Judul Tugas Akhir : Pengaruh Variasi Gerakan Elektroda Terhadap Sifat Fisik
Dan Mekanik Baja AISI 1006 Pada Proses Pengelasan
SMAW

Dengan ini menyatakan bahwa semua yang saya tulis pada laporan Tugas Akhir ini adalah hasil karya sendiri, kecuali rangkaian atau kutipan yang saya gunakan sebagai referensi dan telah saya cantumkan sumbernya. Apabila dikemudian hari pengakuan saya terbukti tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Yogyakarta, 13 Juni 2022



Fandy Julianto (17525065)

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**PENGARUH VARIASI GERAKAN ELEKTRODA TERHADAP
SIFAT FISIK DAN MEKANIK BAJA AISI 1006 PADA PROSES
PENGELASAN SMAW**

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Fandy Julianto
No. Mahasiswa : 17525065
NIRM : 2017040591

Yogyakarta, 17 MEI 2022

Pembimbing I,



Yustiasih Purwaningrum, S.T., M.T.

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

**PENGARUH VARIASI GERAKAN ELEKTRODA TERHADAP
SIFAT FISIK DAN MEKANIK BAJA AISI 1006 PADA PROSES
PENGELASAN SMAW**

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :


Nama : Fandy Julianto

No. Mahasiswa : 17525065

NIRM : 2017040591

Tim Penguji

Yustiasih Purwaningrum S.T., M.T



Tanggal : 7 JUNI 2022

Ir. Santo Ajie Dhewanto, S.T., M.M.


Tanggal : 2 JUNI 2022

IPP

Dr. Muhammad Khafidh, S.T., M.T.


Tanggal : 7 Juni 2022

Mengetahui

Dekan Jurusan Teknik Mesin




Dr. Muhammad Khafidh, S. T., M. Eng., IPM

HALAMAN PERSEMBAHAN

Puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini dengan segala kekurangannya. Terima kasih kepada Allah SWT yang memberikan nikmat ilmu, rahmat, dan hidayah-Nya sehingga Penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

Persembahan tugas akhir ini di persembahkan untuk:

1. Kedua orang tua saya yang selalu memberikan dukungan dan doa sehingga Tugas Akhir ini selesai.
2. Dosen pembimbing karena telah memberikan masukan, nasihat, dan ilmu sehingga laporan Tugas Akhir ini dapat selesai dengan lancar
3. Adik-adik saya yang selalu mendoakan saya di kala susah dan selalu memberi semangat di saat penat.
4. Teman-teman seperjuangan saya di Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia, yang selalu memberikan bantuan, dukungan, serta nasihat yang baik hingga selesainya Tugas Akhir ini.
5. Teman-teman Kos Wisma K5G yang selalu memberikan dukungan dan semangat dalam menjalankan Tugas Akhir ini.

HALAMAN MOTTO

“Orang bijak belajar ketika bisa, orang bodoh belajar ketika harus”

(Arthur Wellesley)

“raihlah ilmu dan untuk meraih ilmu, belajarlah untuk tenang dan sabar”

(Khalifah Umar Bin Khatab)

“Ilmu akan menghidupkan jiwa”

(Ali Bin Abi Thalib)

“Pendidikan mempunyai akar yang pahit, tapi berbuah manis”

(Aristoteles)



KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah SWT, yang maha pengasih lagi maha penyayang. Puji syukur ke hadirat Allah SWT karena berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga laporan Tugas Akhir yang berjudul: **“PENGARUH VARIASI GERAKAN ELEKTRODA TERHADAP SIFAT FISIK DAN MEKANIK BAJA AISI 1006 PADA PROSES PENGELASAN SMAW”**. Dapat disusun dengan baik sebagai syarat menyelesaikan studi strata-1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.

Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini, disampaikan mengucapkan terima kasih kepada beberapa pihak yang terlibat, memberi arahan, saran dan motivasi. Ucapan terima kasih di sampaikan kepada:

1. Bapak dan ibu serta keluarga tercinta yang senantiasa memberi dukungan baik moril maupun material sehingga Tugas Akhir dapat terselesaikan dengan baik.
2. Bapak Dr. Eng. Risdiyono, S.T., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
3. Ibu Yustiasih Purwaningrum, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, yang telah memberi arahan, saran dan motivasi hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.
4. Seluruh Dosen dan Karyawan di lingkungan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia. Terima kasih telah membantu dalam kuliah dan penyelesaian Tugas Akhir ini.
5. Bapak Dr. Lilik Dwi Setyana, S.T., M.T selaku pembimbing ketika melakukan pengujian material di Laboratorium Pengujian Material Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada.
6. Fathurahman sebagai teman kerja dalam penelitian ini.
7. Teman – teman seperjuangan Angkatan 2017 Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.

Akhir kata, pada laporan ini masih banyak kekurangan dalam penulisan. Oleh karena itu mohon maaf jika terdapat kesalahan pada penulisan laporan Tugas Akhir ini, maka dari itu kritik dan saran yang sifatnya membangun demi

kesempurnaan akan di terima dengan senang hati. Akhir kata semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Yogyakarta, 17 Mei 2022

Fandy Julianto



ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi gerakan elektroda E6013 dengan metode pengelasan SMAW terhadap sifat fisik dan mekanik material. Penelitian ini menggunakan baja sebagai material uji. Jenis kampuh yang digunakan adalah kampuh V dengan sudut 30°. Hasil pengujian komposisi baja adalah baja karbon rendah jenis AISI 1006. Hasil pengujian *Dye penetrant* untuk semua variasi bahwa tidak ada lubang dan keretakan pada spesimen uji. Dari hasil uji kerataan, variasi gerakan elektroda lurus merupakan variasi gerakan elektroda paling rata dari pada variasi spiral dan zig – zag. Dari pengamatan makro dapat dilihat bahwa baja dapat tersambung dengan baik serta dari pengamatan mikro dapat dilihat bahwa perbedaan variasi gerakan elektroda mempengaruhi bentuk struktur mikro dari daerah las, HAZ, dan logam induk. Dari hasil uji tarik didapatkan variasi gerakan elektroda zig – zag memiliki nilai tegangan tarik tertinggi yaitu sebesar 211,96 MPa dan nilai regangan tarik tertinggi yaitu sebesar 5,1% pada variasi gerakan elektroda zig – zag. Untuk hasil uji tekan didapat nilai tegangan tertinggi pada variasi gerakan elektroda zig – zag yaitu sebesar 233 MPa. Pada pengujian dampak harga dampak tertinggi pada variasi gerakan elektroda zig – zag dengan nilai 0,15 j/mm². Untuk uji kekerasan mengalami peningkatan pada daerah las dan didapatkan nilai kekerasan tertinggi pada variasi gerakan elektroda zig – zag sebesar 175,53 VHN pada daerah las. Untuk uji korosi, variasi gerakan elektroda zig – zag pada daerah las memiliki ketahanan korosi yang *outstanding* / luar biasa.

Kata kunci: Las SMAW, E6013, Baja AISI 1006

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing	ii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.	
Halaman Persembahan	v
Halaman Motto	vi
Kata Pengantar	vii
Abstrak	ix
Daftar Isi	x
Daftar Tabel	xiii
Daftar Gambar	xiv
Daftar Notasi	xvi
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 Sistematika Penulisan	3
Bab 2 Tinjauan Pustaka	4
2.1 Kajian Pustaka	4
2.2 Dasar Teori	6
2.3 Pengelasan SMAW	6
2.4 Daerah HAZ	7
2.5 Elektroda	8
2.6 Kampuh las	8
2.7 Baja	9
2.7.1 Baja karbon rendah	9
2.7.2 Baja karbon sedang	9
2.7.3 Baja karbon tinggi	9
2.8 Pengujian Material	10

2.8.1	Pengujian tarik.....	10
2.8.2	Pengujian bending	11
2.8.3	Pengujian kekerasan Vickers.....	12
2.8.4	Pengujian Impak.....	13
2.8.5	Pengujian Korosi	13
2.8.6	Pengujian <i>Dye Penetrant</i>	13
2.8.7	Pengujian Kerataan.....	14
2.8.8	Pengujian Komposisi.....	14
2.8.9	Pengamatan struktur Makro dan Mikro.....	15
Bab 3	Metode Penelitian.....	16
3.1	Alur Penelitian.....	16
3.2	Peralatan dan Bahan	17
3.3	Proses Pembuatan Spesimen	17
3.3.1	Pemotongan Spesimen Uji	17
3.3.2	Proses pembuatan kampuh V pada spesimen uji.....	18
3.3.3	Proses pengelasan.....	18
3.4	Proses pengujian spesimen.....	19
3.4.1	Pengujian Komposisi Kimia.....	19
3.4.2	Pengujian kerataan.....	19
3.4.3	Pengujian tarik.....	20
3.4.4	Pengujian impak	20
3.4.5	Pengujian bending	21
3.4.6	Pengujian kekerasan Vickers.....	21
3.4.7	Pengujian korosi	22
3.4.8	Pengujian <i>Dye Penetrant</i>	22
3.4.9	Pengujian Struktur Makro dan Mikro.....	23
Bab 4	Hasil dan Pembahasan	24
4.1	Hasil dan Analisis Pengujian.....	24
4.1.1	Hasil Pengelasan.....	24
4.1.2	Uji Komposisi Kimia.....	25
4.1.3	Pengujian Kerataan.....	26
4.1.4	Pengujian <i>Dye Penetrant</i>	27

4.1.5 Pengamatan struktur Makro dan Mikro.....	28
4.1.6 Uji tarik.....	30
4.1.7 Uji bending	31
4.1.8 Uji Impak.....	32
4.1.9 Uji Kekerasan <i>Vickers</i>	33
4.1.10 Uji Korosi	34
Bab 5 Penutup.....	37
5.1 Kesimpulan.....	37
5.2 Saran.....	39
Daftar Pustaka	40
LAMPIRAN	42



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jenis Elektroda	8
Tabel 3.1 Alat	17
Tabel 3.2 Bahan.....	17
Tabel 4.1 Hasil Uji Komposisi Baja.....	25
Tabel 4.2 Hasil Pengamatan Struktur Mikro variasi gerakan elektroda Lurus, Spiral, dan Zig – zag.....	29
Tabel 4.3 Hasil Pengamatan Laju Korosi.....	34
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Laju Korosi	35
Tabel 4.5 Standar Laju Korosi.....	36



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses pengelasan SMAW.....	7
Gambar 2.2 Daerah pengelasan.....	7
Gambar 2.3 Jenis – jenis sambungan Las.....	8
Gambar 2.4 Kurva Tegangan - Regangan.....	10
Gambar 2.5 Jenis Pengujian Bending.....	12
Gambar 2.6 Jenis Pengujian Impak.....	13
Gambar 2.7 Proses pengujian <i>Dye Penetrant</i>	14
Gambar 2.8 Dial Indicator.....	14
Gambar 3.1 Alur Proses Penelitian.....	16
Gambar 3.2 Proses pemotongan spesimen uji.....	17
Gambar 3.3 Proses Pembuatan Kampuh.....	18
Gambar 3.4 Proses Pengelasan Spesimen uji.....	18
Gambar 3.5 Pengujian Kerataan dengan Dial Indikator.....	19
Gambar 3.6 Standar Pengujian Tarik ASTM E8.....	20
Gambar 3.7 Alat Uji Tarik dan Uji Bending.....	20
Gambar 3.8 Jenis Pengujian Impak.....	21
Gambar 3.9 Standar Pengujian Bending.....	21
Gambar 3.10 Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i>	22
Gambar 3.11 Alat Pengujian Makro dan Mikro.....	23
Gambar 4.1 Hasil pengelasan a. Variasi spiral, b. Variasi lurus, c. Variasi zig - zag	24
Gambar 4.2 Hasil pengujian kerataan a. Variasi spiral, b. Variasi lurus, c. Variasi zig – zag.....	26
Gambar 4.3 Hasil perbandingan kerataan antara variasi gerakan elektroda.....	27
Gambar 4.4 Hasil pengujian <i>Dye Penetrant</i> a. elektroda lurus, b. elektroda spiral, c. elektroda zig – zag.....	27
Gambar 4.5 Hasil Pengamatan Struktur Makro Variasi gerakan elektroda a. Lurus, b. Spiral, dan c. Zig – Zag.....	28
Gambar 4.6 Hasil Perbandingan Pengujian Tarik antara variasi gerakan elektroda	30

Gambar 4.7 Grafik perbandingan antara variasi gerakan elektroda Pengujian Tekan 32

Gambar 4.8 Hasi Perbandingan variasi gerakan elektroda Pengujian Impak 33

Gambar 4.9 Grafik perbandingan pengujian kekerasan *Vickers* 33



DAFTAR NOTASI

SMAW = Sheilded Metal Arc Welding
HAZ = Heat Affected Zone



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Proses pengelasan pada saat ini telah berkembang pesat dalam perusahaan manufaktur, pembangunan konstruksi dan kehidupan sehari-hari. Proses pengelasan merupakan cara penyambungan logam dengan media panas dalam keadaan cair. Sumber panas dapat berasal dari pembakaran gas atau aliran listrik. Baja merupakan jenis logam yang banyak digunakan dalam proses pengelasan, kandungan utama pada baja adalah paduan besi dan karbon serta kandungan unsur lainnya sehingga dinamakan baja karbon (*carbon steel*).

Ada beberapa jenis pengelasan yang dapat dilakukan untuk menyambung logam dengan cara mencairkan logam induk dan logam pengisi melalui proses pemanasan yaitu salah satunya jenis las *Shield Metal Arc Welding* (SMAW) atau las busur listrik yang populer dipergunakan pada kalangan masyarakat hingga perusahaan. Las busur listrik menggunakan logam pengisi bernama elektroda, penyambungan dua logam dengan menggunakan las busur listrik memerlukan keterampilan yang mumpuni agar menghasilkan sambungan las yang baik dan kuat.

Dalam melakukan pengelasan ada beberapa faktor yang harus diperhatikan saat proses pengelasan yaitu prosedur pengelasan yang penting dalam melakukan perencanaan dan pelaksanaan penelitian agar saat melakukan proses pengelasan sesuai dengan standar dan spesifikasi yang berlaku. Membuat jadwal dan persiapan pengelasan merupakan faktor produksi yang harus diperhatikan urutan pelaksanaannya (seperti: pemilihan mesin las, pemilihan juru las, pemilihan elektroda, dan pemilihan kampuh saat proses penyambungan) (Sumarto, 2000)

Dalam proses las busur listrik mengatur kuat arus salah satu hal yang mempengaruhi hasil las, apabila arus yang dipakai terlalu rendah akan menyebabkan penembusan dan busur listrik tidak bekerja dengan baik. Dan apabila arus yang dipakai terlalu tinggi maka akan terjadinya daerah las rapuh, cacat atau bolong, dan percikan pada elektroda sangat banyak dan panas (Arifin, 1997)

Penyetelan arus listrik dan memilih juru las yang baik sangat mempengaruhi hasil las, tetapi harus diperhatikan juga kampuh yang dipergunakan agar penetrasi hasil las kuat, kampuh yang digunakan sesuai dengan ketebalan material serta menyesuaikan ukuran elektroda yang digunakan. Ada beberapa macam kampuh las yang biasa digunakan yaitu *Butt Joint*, *Tee Joint*, *Corner Joint*, *Lap Joint*, dan *Paralel Joint*.

Pada proses pengelasan SMAW digunakan elektroda sebagai logam pengisi, untuk menghindari cacat pada hasil lasan maka pada proses pengelasan dilakukan gerakan elektroda agar dapat meratakan proses peleburan logam pengisi dan logam induk dan mengurangi terjadinya takikan serta pencampuran terak pada daerah las (Wiryosumarto dan Okumura, 2000). Contoh variasi gerakan elektroda yaitu spiral, zig - zag, dan lurus.

Berdasarkan latar belakang di atas penulis akan melakukan penelitian yang bermaksud untuk mengetahui pengaruh variasi gerakan elektroda E6013 terhadap sifat fisik dan mekanik Baja AISI 1006 pada proses pengelasan SMAW.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang dijelaskan pada bab 1.1 maka dapat ditentukan rumusan masalah pada tugas akhir ini: Bagaimana pengaruh variasi gerakan elektroda E6013 terhadap sifat fisik dan mekanik Baja AISI 1006 pada proses pengelasan SMAW?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan permasalahan dalam proses penelitian yang dilakukan pada tugas akhir ini yaitu:

1. Proses pengelasan dilakukan dengan menggunakan mesin las SMAW dengan menggunakan arus 90 A, voltase 220 V, kecepatan pengelasan 1,875 mm/s, dan elektroda dengan diameter 2,6 mm.
2. Logam induk yang digunakan adalah baja AISI 1006 dengan tebal 4,8 mm.
3. Proses dilakukan dengan tiga jenis variasi gerakan elektroda yang berbeda,

yaitu spiral, lurus, dan zig-zag.

4. Bentuk sambungan las menggunakan kampuh V dengan sudut kampuh 30° .
5. Pengujian yang dilakukan yaitu: pengujian tarik, pengujian kerataan, pengujian impak, pengujian bending, pengujian kekerasan mikro *Vickers*, pengujian korosi, pengujian komposisi kimia, pengujian *Dye Penetrant* dan pengamatan struktur mikro dan makro.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan permasalahan yang telah ditetapkan maka ditentukan tujuan penelitian yaitu untuk mengetahui pengaruh variasi gerakan elektroda E 6013 terhadap sifat fisik dan mekanik Baja AISI 1006 pada proses pengelasan SMAW.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat dari penelitian ini adalah dapat digunakan untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik dari proses pengelasan dengan variasi gerakan elektroda pada baja AISI 1006 dan hasil penelitian dapat menambah pengetahuan terhadap metode pengelasan SMAW.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan Laporan Tugas Akhir ini terdiri dalam lima bab yang berurutan untuk mempermudah pembahasannya. Bab I pendahuluan yang terdiri dari subbab latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan. Bab II berisi tinjauan pustaka yang terdiri dari subbab kajian pustaka dan dasar teori yang melandasi dari penelitian. Bab III berisi metode penelitian yang terdiri dari subbab alur penelitian, alat dan bahan serta metode pengerjaan penelitian. Bab IV membahas mengenai hasil-hasil yang sudah diperoleh dari penelitian dan pembahasan dari hasil-hasil tersebut. Dan terakhir Bab V berisi kesimpulan dari hasil penelitian serta saran.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Azwinur, 2017) yang meneliti tentang variasi arus pengelasan SMAW dengan menggunakan baja karbon rendah yaitu ST 45. Pada penelitian ini menggunakan elektroda E7016, variasi arus yaitu 80 A, 90 A, dan 100 A dan menggunakan sambungan V dengan sudut 70° . Hasil yang didapat dari penelitian ini nilai kekuatan tarik tertinggi didapat pada arus 100 A yaitu sebesar $44,08 \text{ kgf/mm}^2$ dan terendah pada arus 90 A dengan nilai sebesar $40,07 \text{ kgf/mm}^2$ dan untuk nilai kekerasan tertinggi terdapat pada daerah logam las dengan arus 80 A sebesar 96,5 HRC.

Pada jurnal yang di tulis oleh (Ariffin, 2017) melakukan penelitian penggunaan elektroda dan arus yang berbeda pada proses pengelasan dengan baja ASTM A36 menggunakan las SMAW dengan elektroda E6013, E7016, dan E7018 dengan arus 70 A, 100 A, dan 130 A dengan kecepatan konstan. Dengan penelitian ini didapat hasil yang berbeda yaitu nilai uji kekerasan tertinggi dengan menggunakan elektroda E7018 dengan variasi arus 70 A sebesar 105 HRB, dan nilai tertinggi pada pengujian tarik sebesar 34,69 MPa dengan elektroda E6013 arus 110 A.

Dalam proses pengelasan, penggabungan dua logam biasanya di lakukan dengan jenis sambungan atau kampuh yang berbeda, seperti jurnal yang ditulis oleh (Suprijanto, 2013) yang meneliti tentang pengaruh bentuk kampuh terhadap kekuatan bending las sudut SMAW posisi mendatar pada baja karbon rendah dengan proses pengelasan SMAW tegangan 30 Volt, kuat arus 110 A dan variasi kampuh I, V, U, *double V* dan *double U* dengan sudut 90° . Dari hasil penelitian ini didapat dengan kampuh U nilai kekerasannya paling tinggi yaitu $191,07 \text{ N/mm}^2$ dan terendah pada kampuh I sebesar $159,03 \text{ N/mm}^2$. Untuk pengujian bending nilai tertinggi dalam penelitian ini dengan kampuh *double V* sebesar $281,743 \text{ N/mm}^2$ dan terendah kampuh I sebesar $114,27 \text{ N/mm}^2$.

Variasi gerakan elektroda dalam proses penyambungan ada beberapa macam salah satu contoh jurnal yang tulis oleh (Andri, 2018) melakukan penelitian tentang variasi gerakan elektroda pada pengelasan SMAW. Pada penelitian ini menggunakan elektroda E6013 dengan diameter 3,2 mm dan variasi gerakan yang digunakan yaitu lurus, zig – zag dan spiral. Besar arus yang digunakan adalah 90 A dengan kampuh V sudut 60° tinggi akar 2 mm dan jarak akar 3 mm serta pengujian yang dilakukan yaitu kekuatan tarik dan kekerasan. Dari pengujian mendapatkan hasil kekuatan tarik tertinggi pada gerakan elektroda spiral yaitu 616,6 MPa dan terendah pada gerakan zig – zag yaitu 596 MPa dan untuk hasil modulus elastisitas tertinggi pada gerakan elektroda lurus sebesar 12.070,02 MPa dan terendah pada gerakan elektroda zig – zag sebesar 10.339,48 MPa. Untuk hasil uji kekerasan tertinggi dengan gerakan elektroda zig – zag yaitu 147,44 kg/mm² dan terendah pada gerakan elektroda lurus yaitu 143,19 kg/mm².

Pada jurnal yang ditulis oleh (Umartono, 2018) yang meneliti tentang perbedaan metode pengelasan SMAW dan GTAW terhadap sifat mekanis baja HG 30. Hasil yang didapat pada pengujian tarik nilai kekuatan tertinggi pada pengelasan GTAW yaitu sebesar 72.346 kgf/mm² sedangkan pengelasan SMAW sebesar 70.579 kgf/mm². Untuk hasil uji kekerasan daerah HAZ menjadi titik patah pada saat dilakukan pengujian kekerasan, disebabkan karena daerah HAZ memiliki tingkat kekerasan yang tinggi. nilai tertinggi pada uji kekerasan nilai tertinggi yaitu sebesar 104,28 HRB dan terendah pengelasan SMAW sebesar 99,22 HRB.

Seperti jurnal yang ditulis oleh (Pranawa, 2016) yang berisi penelitian pengaruh teknik pengelasan alur spiral, alur zig – zag, dan lurus pada arus 85 A terhadap kekuatan tarik baja ST 41. Pada jurnal ini dilakukan eksperimen dengan 9 benda uji, spesimen diperlakukan dengan variasi teknik gerak elektroda dengan alur lurus, spiral, dan zig – zag dengan elektroda E6013 dan arus sebesar 85 A. Berdasarkan hasil uji yang telah dilakukan, hasil uji kekuatan tarik tertinggi bernilai 33,40 kgf/mm² dengan gerakan alur elektroda spiral dan hasil terendahnya dengan gerakan elektroda lurus sebesar 30,28 kgf/mm².

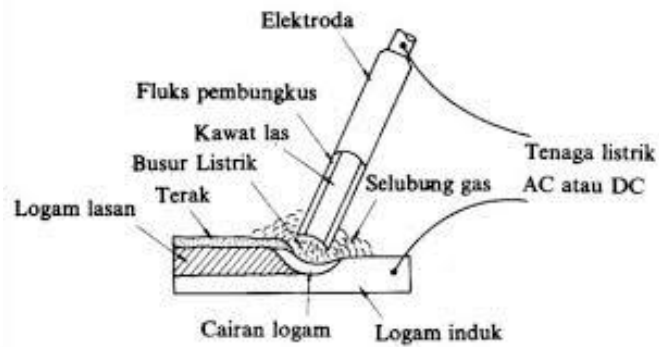
2.2 Dasar Teori

Definisi pengelasan menurut (Harsono,1991) artinya ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang dilakukan dalam keadaan cair. Sedangkan menurut (Widharto, 1996) ialah salah satu cara menyambungkan benda padat dengan cara mencairkannya melalui proses pemanasan dan tekanan. Dalam pengelasan proses pemanasan harus diatur agar panas yang keluar tidak berlebihan dan hasil lasan baik dan kuat, jika berlebihan akan membuat material yang akan dilas mengalami distorsi. Distorsi yang terjadi pada hasil pengelasan dapat menyebabkan kegagalan yang mana dapat mengurangi kekuatan dari struktur dan komponen hasil pengelasan (Wibowo, 2016). Untuk mengurangi terjadinya distorsi dan tegangan sisa dapat dilakukan dengan memilih material yang tepat dari segi batas transformasi material dan batas luluh material (Wiryosumarto, 2010).

Proses pengelasan dibagi menjadi 2 klasifikasi yaitu pengelasan dengan cara dilebur dan dengan cara pemadatan. Macam – macam pengelasan lebur yaitu: pengelasan busur (*Arc Welding*), pengelasan Resistensi Listrik (*Resistance Welding*), pengelasan gas (*Oxyfuel Gas Welding*), dan pengelasan padat yaitu: pengelasan difusi (*Diffusion Welding*), pengelasan gesek (*Friction Welding*), pengelasan ultrasonik (*Ultrasonic Welding*). Kelebihan dalam menyambungkan logam melalui proses pengelasan yaitu hasil sambungan yang kuat, dapat diaplikasikan dengan berbagai macam bentuk, ada proses secara manual dan otomatis, dan murah. Sedangkan kekurangannya yaitu untuk menghasilkan pengelasan yang baik dan kuat harus memiliki juru las yang terampil dan hasil sambungan bersifat permanen sehingga apabila ingin di bongkar harus merusak sambungan lasnya.

2.3 Pengelasan SMAW

Pengelasan SMAW adalah proses penyambungan logam dengan elektroda berselaput yang mencair karena pembakaran dan menghasilkan gas yang melindungi ujung elektroda kawat las terhadap pengaruh udara luar (Boentarto, 1995). Gambar busur listrik SMAW dapat dilihat pada gambar 2.1:

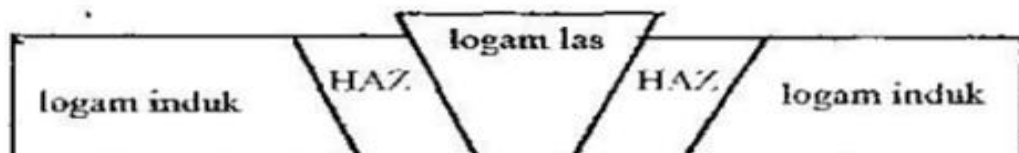


Gambar 2.1 Proses pengelasan SMAW

Pengelasan SMAW salah satu pengelasan yang paling banyak dan mudah digunakan serta pengaplikasiannya yang luas. Pengelasan SMAW bisa dilakukan dengan berbagai macam posisi atau lokasi yang bisa dijangkau dengan elektroda, dan pengelasan SMAW dapat digunakan untuk mengelas logam *Ferrous* dan *Non-Ferrous*.

2.4 Daerah HAZ

Dalam proses penyambungan akan membentuk daerah pada proses pengelasan yaitu daerah logam induk, daerah HAZ dan daerah las. Daerah logam induk adalah daerah yang terkena panas las tetapi tidak mengubah struktur mikro logam, sedangkan daerah HAZ adalah daerah yang terkena panas las dan mengalami perubahan struktur mikro karena pada daerah tersebut bersebelahan dengan daerah las yang selama proses pengelasan mengalami panas (Riyadi & setyawan, 2103). Daerah las juga termasuk daerah yang mengalami perubahan struktur mikro yang diakibatkan oleh panas yang berlebih dan adanya filler tambahan. Berikut gambar 2.2 daerah pengelasan:



Gambar 2.2 Daerah pengelasan

2.5 Elektroda

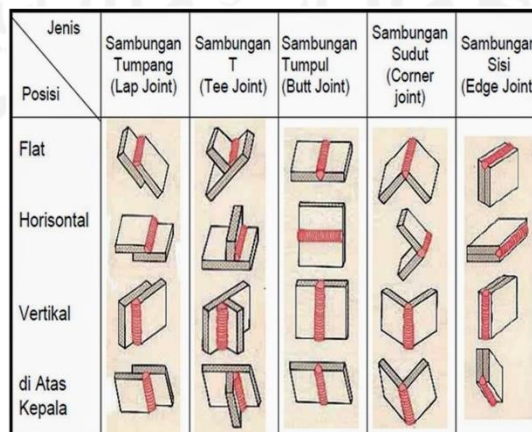
Elektroda adalah penghantar panas yang akan mencair atau meleleh jika dilalui arus listrik. Elektroda berfungsi untuk menyambung logam pada proses pengelasan. Pemilihan elektroda sangat berpengaruh dalam hasil las, karena penyebab terjadinya cacat pada hasil las dikarenakan elektroda yang dipakai tidak sesuai dengan arus yang digunakan sehingga mempengaruhi ketangguhan, kekerasan dan kekuatan tarik dari hasil pengelasan (Riyadi & Setyawan, 2013). Dapat dilihat pada tabel 2.1 spesifikasi elektroda:

Tabel 2.1 Jenis Elektroda

Diameter elektroda (mm)	Tipe elektroda dan besarnya arus (Ampere)					
	E 6010	E 6013	E 6014	E 7018	E 7024	E7028
2,0	-	30-80	80-110	70-100	-	-
2,6	-	70-110	110-160	110-160	-	-
3,2	80-120	80-140	140-180	120-170	140-190	140-190
4	120-160	120-190	140-210	150-220	180-250	180-250
5	150-200	200-275	200-275	200-275	230-305	230-305
6,3	-	330-415	315-400	335-430	300-420	335-430
8	-	-	390-500	375-475	-	-

2.6 Kampuh las

Kampuh las adalah bentuk potongan yang akan disambung dalam proses pengelasan. Tujuannya agar menghasilkan sambungan yang baik dan berkualitas dari segi kekuatan dan lapisan lasnya. Kampuh las terdiri dari 5 jenis yaitu: sambungan tumpang, sambungan T, sambungan tumpul, sambungan sudut dan sambungan sisi (Harsono, 2000). Dapat dilihat pada gambar 2.3 jenis – jenis kampuh las dibawah ini:



Gambar 2.3 Jenis – jenis sambungan Las

2.7 Baja

Baja adalah logam paduan antara besi sebagai unsur dasarnya dan karbon sebagai unsur paduannya. Menurut (Amanto & Daryanto, 2017) baja karbon di bagi menjadi 3 jenis, yaitu: baja karbon rendah, baja karbon sedang, dan baja karbon tinggi. Yang membedakan antara jenis baja karbon adalah kandungan karbonnya.

2.7.1 Baja karbon rendah

Baja karbon rendah merupakan baja dengan kandungan karbon di bawah 0,25% sifat kekerasannya relatif rendah, lunak tetapi tingkat keuletannya tinggi (M. Iqbal, 2008). Baja karbon rendah biasanya berbentuk pelat, profil, sekrup, ulir dan baut. Baja karbon rendah digunakan pada umumnya untuk konstruksi, pada penelitian ini menggunakan baja karbon rendah AISI 1006.

2.7.2 Baja karbon sedang

Baja karbon sedang merupakan baja dengan kekuatan dan kekerasan lebih tinggi dari pada baja karbon rendah dengan kandungan karbonnya 0,25 – 0,55%. Baja karbon sedang ini diaplikasikan untuk material pembuatan yang memerlukan kekuatan dan ketangguhan yang tinggi seperti poros, roda gigi, dan konstruksi mesin (Suarsana, 2017).

2.7.3 Baja karbon tinggi

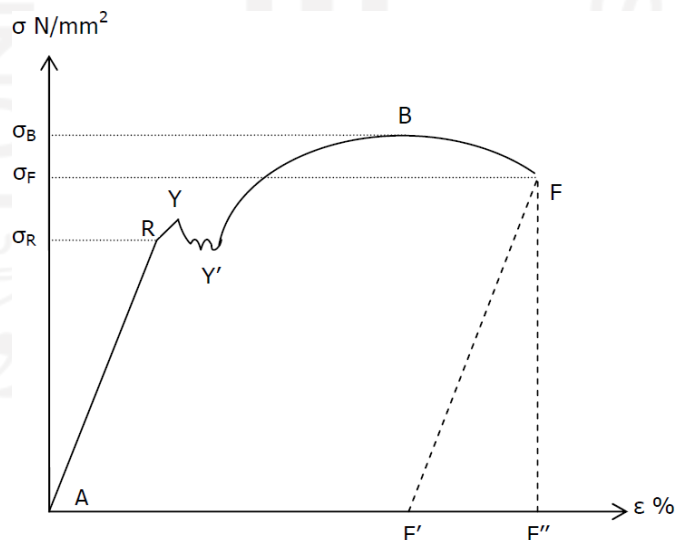
Baja karbon tinggi merupakan baja dengan kekuatan dan kekerasan yang tinggi tetapi memiliki keuletan dan ketangguhan yang rendah dengan kandungan karbonnya diatas 0,55% (Ahmad, 2020). Baja karbon tinggi memiliki sifat yang sulit dibengkokkan, dilas, dan dipotong. Baja karbon tinggi diaplikasikan untuk perkakas yang membutuhkan ketahanan aus, seperti mata bor, palu, dan perkakas tangan lainnya (Suarsana, 2017).

2.8 Pengujian Material

Pengujian material terbagi menjadi 2 jenis, yaitu: pengujian yang merusak (*destructive test*) dan pengujian yang tidak merusak (*non-destructive*). Untuk pengujian yang merusak adalah pengujian yang dalam proses ujinya merusak spesimen uji sehingga tidak dapat digunakan kembali. Contoh pengujian yang merusak adalah uji tarik, uji tekan, uji lelah, uji kekerasan, uji impact dan uji korosi. Untuk pengujian yang tidak merusak diantara-Nya ada uji *Dye penetrant*, uji ultrasonik, pengamatan mikro dan makro.

2.8.1 Pengujian tarik

Pengujian tarik adalah salah satu pengujian merusak yang digunakan untuk mengetahui kekuatan tarik dan keuletan dari material (Dieter, 1987). Pada pengujian tarik, material uji diberikan gaya aksial secara kontinu dan dilakukan pengamatan penambahan panjang yang dialami benda uji. Pada pengujian tarik beban diberikan pada benda uji dan menghasilkan perpanjangan terhadap benda uji. Dari proses perpanjangan yang dialami badan uji didapat kurva tegangan-regangan seperti gambar 2.4 di bawah ini:



Gambar 2.4 Kurva Tegangan - Regangan

Bentuk besaran pada kurva tegangan – regangan bergantung pada komposisi logam, perlakuan panas, deformasi plastis yang pernah dialami, laju regangan, suhu, dan keadaan tegangan yang menentukan selama pengujian. Parameter yang

digunakan pada kurva tegangan – regangan adalah kekuatan tarik, kekuatan luluh atau titik luluh, perpanjangan, dan pengurangan luas (Dieter, 1996)

Tegangan adalah tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh material sebelum terjadinya perpatahan (Kusuma, 2017). Pada kurva tegangan – regangan memiliki persamaan dapat dilihat pada 2.1 sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2.1)$$

Dengan:

σ : Tegangan (N/m²)

P: Beban (N)

A: Luas penampang (m²)

Regangan adalah penambahan panjang material sebelum mengalami putus. Proses penambahan panjang material ketika diberi beban seperti yang terlihat pada gambar 2-4. Persamaan regangan dapat dilihat pada 2.2 sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \quad (2.2)$$

Dengan:

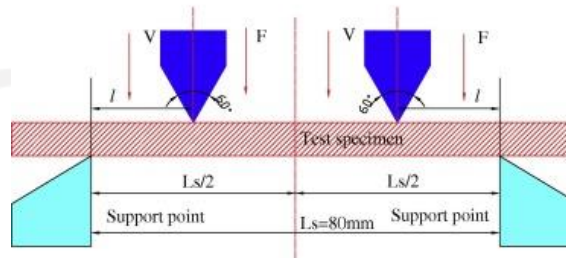
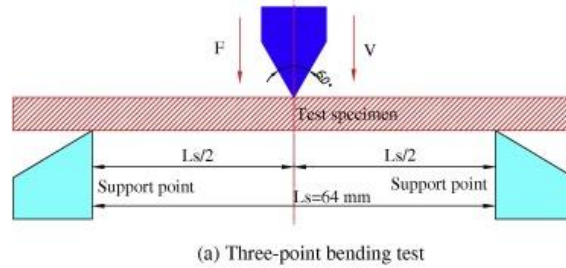
ε : Regangan (%)

ΔL : Penambahan panjang (mm)

L_0 : Panjang awal (mm)

2.8.2 Pengujian bending

Pengujian bending adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui nilai kekuatan lentur benda uji (Ahmad, 2021). Pengujian bending dilakukan dengan memberi beban konstan secara perlahan hingga spesimen uji mencapai titik lelehnya (Nurharuddin, 2015). Pengujian bending ada 2 jenis yaitu: *three point bending* dan *four point bending* seperti gambar 2.5 dibawah ini:



Gambar 2.5 Jenis Pengujian Bending

Pada pengujian bending memiliki persamaan tegangan yang dapat dihitung dengan persamaan rumus 2.3 sebagai berikut:

$$s = \frac{3 \times P \times L}{2 \times b \times d^2} \quad (2.3)$$

Dengan:

S = Tegangan normal (MPa)

P = Beban (N)

L = Panjang (mm)

B = Lebar (mm)

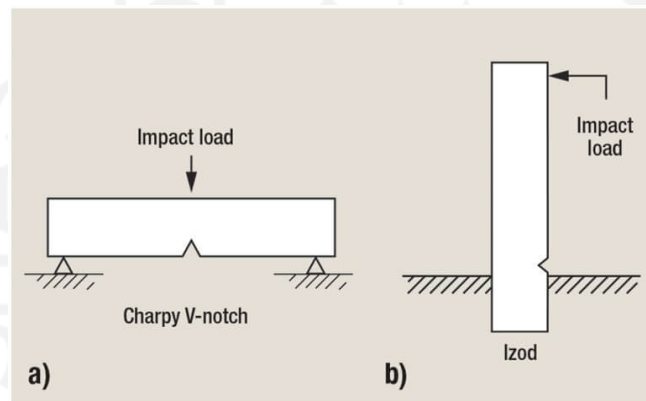
D = Tebal (mm)

2.8.3 Pengujian kekerasan Vickers

Kekerasan merupakan ketahanan terhadap deformasi dan ukuran ketahanan logam terhadap deformasi plastik atau deformasi permanen (Dieter, 1987). Pengujian kekerasan *Vickers* menggunakan indenter piramida intan yang berbentuk bujur sangkar.

2.8.4 Pengujian Impak

Uji impak digunakan untuk menentukan material rapuh atau ulet berdasarkan ketangguhannya (Dieter, 1988). Metode pengujian impak ada 2, yaitu: uji impak metode *Charpy* dan metode *Izod*. Batang uji impak metode memiliki spesifikasi luas penampang 10 mm x 10 mm dan takik berbentuk V dengan sudut 45° dan kedalaman takik 2 mm dengan radius pusat 0,25 mm seperti gambar 2.6 dibawah ini:



Gambar 2.6 Jenis Pengujian Impak

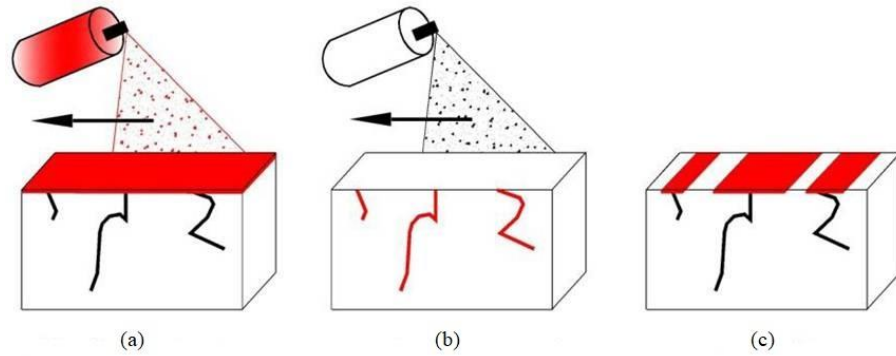
2.8.5 Pengujian Korosi

Pengujian korosi dapat diartikan sebagai reaksi kimia dari logam dengan lingkungan baik itu berupa padat, cair dan gas (Scully, 1975). Menurut (Schweitzer, 1987) korosi merupakan kerusakan logam yang terbentuk oleh reaksi mekanik berupa kimia atau elektrokimia dengan lingkungannya. Korosi terbagi menjadi dua jenis, yaitu korosi logam dan non logam. Pada pengujian korosi memiliki persamaan 2.4 yang dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Laju korosi (mmpy)} = \frac{k \times w}{D \times A \times T} \quad (2.4)$$

2.8.6 Pengujian *Dye Penetrant*

Pengujian *penetrant* adalah pengujian tidak merusak yang digunakan untuk melihat cacat permukaan pada material hasil las. Pada pengujian ini menggunakan prinsip kapilaritas yaitu dimana cairan penetrant dan yang terakhir disemprot menggunakan *developer* untuk melihat apakah di permukaan hasil las ada cacat las atau tidak. Cara proses pengujian *Dye penetrant* dapat dilihat seperti gambar 2.7.



Gambar 2.7 Proses pengujian *Dye Penetrant*

2.8.7 Pengujian Kerataan

Pengujian kerataan merupakan pengujian yang bertujuan untuk mengukur kerataan suatu permukaan benda. Pengujian ini dilakukan secara manual menggunakan Dial Indikator seperti gambar 2.8 di bawah ini:



Gambar 2.8 Dial Indicator

Nilai kerataan dapat dihitung dengan persamaan rumus 2.5 sebagai berikut:

$$\text{nilai kerataan} = \frac{|\text{jumlah nilai semua titik}|}{\text{banyak titik}} \quad (2.5)$$

2.8.8 Pengujian Komposisi

Pengujian komposisi adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia dari suatu material. Pengujian komposisi menggunakan alat *Spectrometer* dengan standar uji ASTM E415. Untuk mengetahui jenis baja mampu las menggunakan rumus persamaan 2.6 nilai C_{ek} sebagai berikut:

$$C_{ek} = C + \frac{M_n}{6} + \frac{C_{u+Ni}}{15} + \frac{C_{r+Mo+V}}{5} \quad (2.6)$$

2.8.9 Pengamatan struktur Makro dan Mikro

Material logam apabila perlakuan fisik dan termal akan mengalami perubahan struktur (Dieter, 1987). Maka perlu dilakukan pengamatan ulang struktur mikro dari material uji untuk mengetahui adanya perubahan struktur pada benda uji. Untuk melakukan pengamatan struktur mikro dan makro biasanya menggunakan alat berupa mikroskop optik seperti *Metallurgical microscope with inverted* dan *Streozoom microscope*. Untuk pengamatan makro dapat menggunakan kamera biasa atau kaca pembesar.

Pengamatan struktur makro bertujuan untuk mengetahui adanya retak atau cacat sambungan pada bagian las). Sebelum dilakukan pengamatan struktur makro, material harus di diberi cairan Etsa terlebih dahulu agar pengamatan dapat terlihat lebih jelas.

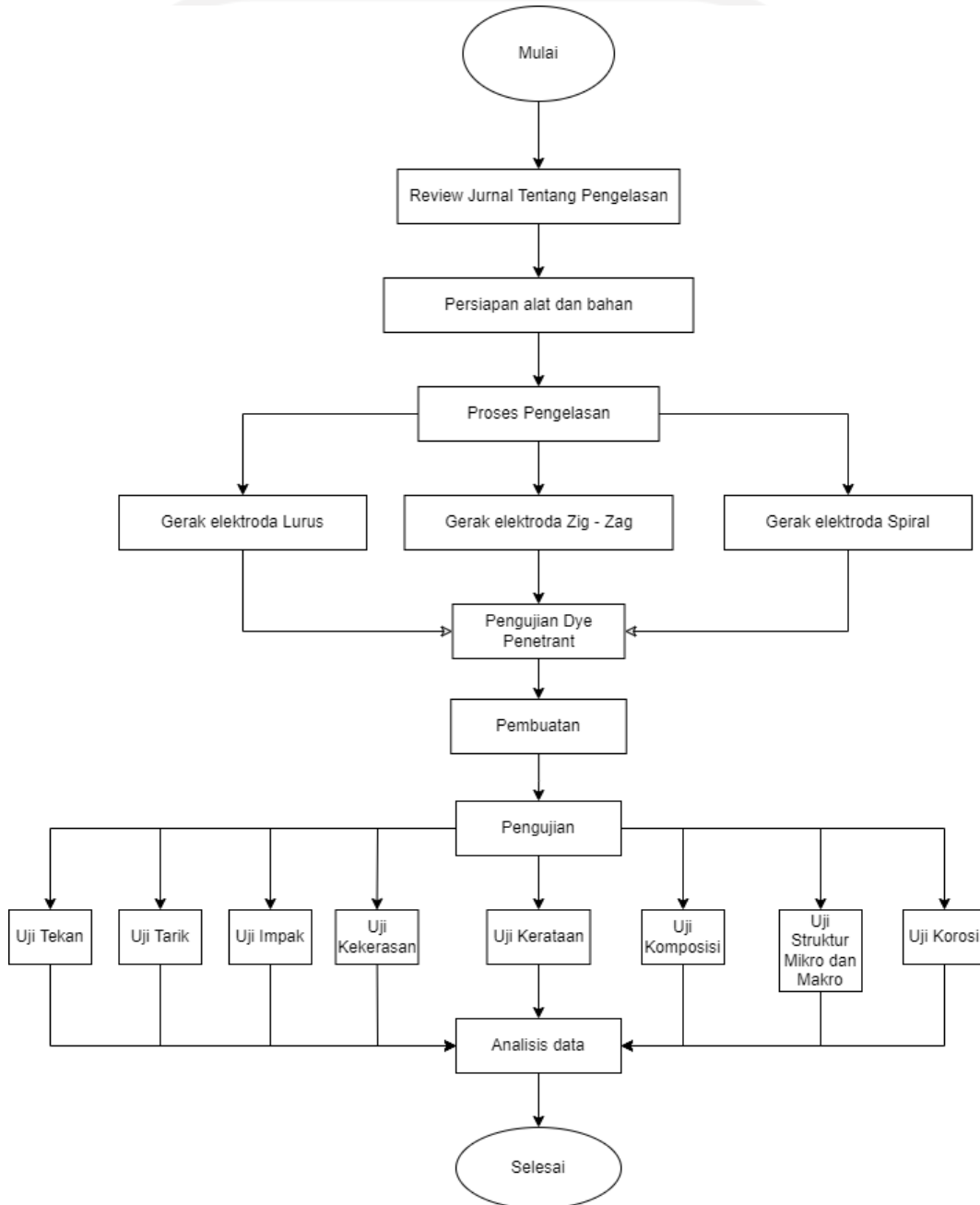
Pengamatan struktur mikro bertujuan untuk melihat fase-fase yang terbentuk pada material las setelah dilakukannya pengelasan. Fase yang terbentuk dari hasil pengelasan akan terlihat dengan pengamatan struktur mikro, dari hasil pengamatan mikro akan terlihat cacat dalam proses penyambungan las atau terlihat bentuk dari proses pengelasan.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Berikut adalah diagram alur untuk penelitian proses penyambungan baja AISI 1006 dengan pengelasan SMAW :



Gambar 3.1 Alur Proses Penelitian

3.2 Peralatan dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam proses pengerjaan tugas akhir ini, seperti tabel 3.1 dan 3.2 di bawah ini:

Tabel 3.1 Alat

No.	Nama Alat
1	Mesin Las SMAW
2	APD
3	Gerinda
4	Laptop
5	Penggaris
6	Klem
7	Kikir
8	Mesin uji impak
9	Mesin Gripo 2M
10	Mikroskop SEM
11	Mesin UTM Hidrolik

Tabel 3.2 Bahan

No.	Nama bahan
1	AISI 1006
2	Elektroda E 6013
3	Mata gerinda
4	Resin
5	Air laut
6	Amplas
7	Autosol
8	Cleaner
9	Developer
10	Penetrant
11	Cairan Etsa HNO ₂ 2,5%

3.3 Proses Pembuatan Spesimen

Proses pembuatan spesimen dilakukan dengan proses sebagai berikut ini:

3.3.1 Pemotongan Spesimen Uji

Spesimen yang digunakan dalam penelitian ini adalah Baja AISI 1006, untuk dimensi spesimen ujinya yaitu panjang 300 mm, lebar 100 mm dan tebal 4,8 mm. Proses pemotongan benda uji menggunakan gerinda potong, pada proses pemotongan harus dilebihkan 3 mm agar pemotongan dapat presisi seperti gambar 3.2 di bawah ini:



Gambar 3.2 Proses pemotongan spesimen uji

3.3.2 Proses pembuatan kampuh V pada spesimen uji

Proses pembuatan kampuh dilakukan setelah proses pemotongan spesimen, proses pembuatan kampuh dilakukan pada bagian sisi spesimen yang ingin disambung atau di las. Proses pembuatan kampuh menggunakan gerinda tangan dengan mata gerinda asah (*Grinding Wheel*) pada bagian sisi spesimen uji dengan bentuk kampuh V sudut 30° . Hasil proses pembuatan kampuh seperti gambar 3.3 di bawah ini:



Gambar 3.3 Proses Pembuatan Kampuh

3.3.3 Proses pengelasan

Pada proses pengelasan menggunakan mesin las SMAW dengan arus 90 A dan elektroda E 6013 dengan diameter elektroda 2,6 mm seperti dgambar 3.4 di bawah ini:



Gambar 3.4 Proses Pengelasan Spesimen uji

Pada proses pengelasan dilakukan dengan variasi gerakan elektroda yang berbeda, pelat yang sudah dipotong dan sudah di buat kampuh selanjutnya di letakan pada meja las dan dikunci dengan klem. Tujuan penguncian dengan klem ini agar spesimen tidak mengalami lengkungan akibat panas yang berlebihan pada saat proses pengelasan. Selain itu untuk meminimalisir terjadinya lengkungan setelah di klem baiknya pada kedua ujung spesimen di las sedikit agar kuat. Sebelum dilakukan proses pengelasan, spesimen yang disambung harus bersih dari cat, karat, ataupun kotoran lainnya agar hasil pengelasan kuat dan tidak terjadi cacat (*undercut*).

3.4 Proses pengujian spesimen

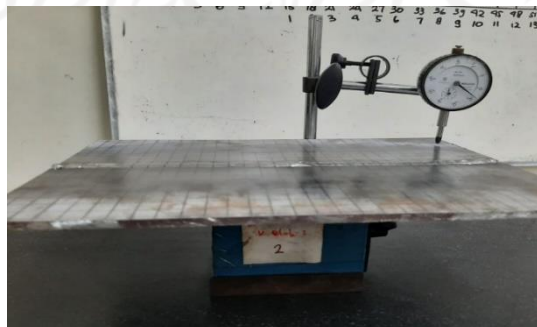
Proses pengujian dilakukan dengan beberapa pengujian sebagai berikut:

3.4.1 Pengujian Komposisi Kimia

Proses pengujian komposisi bertujuan untuk mengetahui unsur kimia pada baja AISI 1006. Proses pengujian dilakukan di PT. Itokoh Ceperindo dengan alat uji *Spectrometer* Spesimen uji yang dipersiapkan dengan luas penampang sebesar 20 mm x 20 mm.

3.4.2 Pengujian kerataan

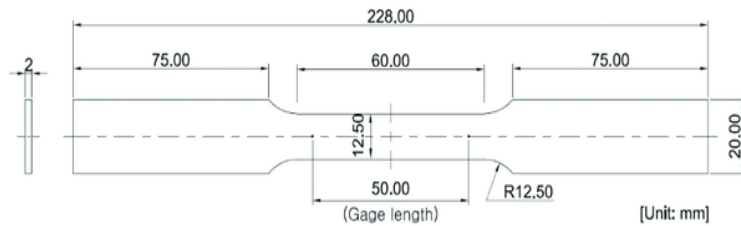
Proses pengujian kerataan ini dilakukan untuk mengukur kerataan spesimen yang telah di las, pengujian ini menggunakan alat dial indikator dan meja rata. spesimen uji di letakan di meja rata lalu dikunci dengan ragum magnet lalu dial indikator berjalan dengan tiap jarak 1 cm seperti gambar 3.5 berikut ini:



Gambar 3.5 Pengujian Kerataan dengan Dial Indikator

3.4.3 Pengujian tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik dari spesimen hasil penyambungan las SMAW. Pengujian tarik dilakukan menggunakan standar ASTM E8. Spesimen uji yang telah di las lalu dipotong berdasarkan standar pengujian yang dipakai seperti gambar 3.6 di bawah ini:



Gambar 3.6 Standar Pengujian Tarik ASTM E8

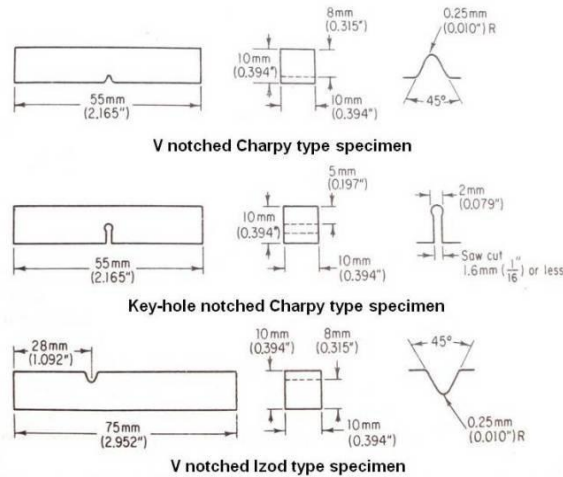
Setelah spesimen sudah sesuai dengan standar ASTM E8, maka spesimen sudah siap untuk diuji tarik. Pada saat pengujian, material akan diberikan beban aksial secara kontinu hingga spesimen patah dengan alat uji seperti gambar 3.7:



Gambar 3.7 Alat Uji Tarik dan Uji Bending

3.4.4 Pengujian impak

Pengujian impak dilakukan untuk mengetahui sifat keuletan atau kegetasan pada spesimen uji. Sebelum dilakukan pengujian, hasil las dilakukan proses pembuatan takik dengan ukuran sesuai metode *Charpy* standar ASTM E 23 dengan cara di kikir. Metode *Charpy* dengan standar ASTM E 23 dapat dilihat pada gambar 3.8 dibawah ini:



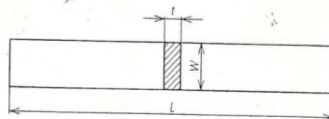
Gambar 3.8 Jenis Pengujian Impak

3.4.5 Pengujian bending

Pengujian bending dilakukan untuk mengukur kekuatan suatu material. Pengujian bending dilakukan dengan standar JIS 2204, dimana panjang spesimen uji dipotong sepanjang 150 mm. pada bagian tengah merupakan daerah las yang dikenakan beban uji bending. Pada uji bending secara melintang memiliki 2 arah pembebanan yaitu *face bend* (bagian permukaan las) dan *root bend* (bagian akar las), hasil yang didapat dari pengujian ini yaitu P_{max} , *defleksi*, dan kurva tegangan. Dengan standar JIS 2204 seperti gambar 3.9 dibawah ini:

- (1) **No. 1 test piece** This test piece is used mainly for the bend test of metallic plate, strip and section of 3 mm or more in thickness (see Fig. 1).

Fig. 1. No. 1 test piece



Thickness t = original thickness
 Width W = 20 to 50 mm
 Length L = the length depending on the thickness of test piece and the test equipment to be used

Gambar 3.9 Standar Pengujian Bending

3.4.6 Pengujian kekerasan Vickers

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan dari material. Pada uji kekerasan *vickers* spesimen benda uji dilakukan pengerasan

dengan cara di resin. Perlakukan resin ini bertujuan memudahkan benda uji saat dilakukan pengujian kekerasan seperti gambar 3.10 di bawah ini:



Gambar 3.10 Pengujian Kekerasan Vickers

Setelah di resin permukaan benda uji yang akan dilakukan pengujian kekerasan di ampelas. Setelah di resin benda uji di letakan pada bagian mesin *Universal Hardness Tester* (UHT) dengan beban *indentor* 40 kgf.

3.4.7 Pengujian korosi

Pengujian korosi adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui ketahanan spesimen terhadap reaksi kimia yang ada pada lingkungan sekitar seperti air hujan, atau air laut. Pengujian korosi dilakukan dengan secara berkala yaitu selama 40 hari, dan spesimen benda uji dimasukkan dengan air laut pada wadah. Spesimen sebelum dilakukan uji korosi ditimbang terlebih dahulu, selanjutnya di campur air laut dan setiap 10 hari spesimen yang dicampur air laut ditimbang kembali.

3.4.8 Pengujian Dye Penetrant

Pengujian *Dye Penetrant* dilakukan untuk mengetahui cacat pada hasil las, pengujian ini dilakukan dengan menyemprotkan disemprotkan ke permukaan

material hasil las. kemudian setelah kering, permukaan yang sudah disemprot tadi dibersihkan menggunakan *cleaner*.

3.4.9 Pengujian Struktur Makro dan Mikro

Pengujian struktur mikro dan makro bertujuan untuk mengetahui bentuk struktur mikro dan makro spesimen benda uji. Spesimen uji mikro makro sama seperti spesimen uji kekerasan yaitu di beri resin agar spesimen uji tidak goyang saat dilakukan uji struktur mikro dan makro. Berikut gambar 3.11 alat pengamatan Mikro dan Makro:



Gambar 3.11 Alat Pengujian Makro dan Mikro

Pada pengujian Mikro dan Makro, menggunakan *microskop optic* untuk pengujian mikro dengan perbesaran 200x sedangkan Makro dengan *Stereozoom* sebesar 20x perbesaran. Benda uji yang telah di resin dilakukan penghalusan pada permukaan pengujian agar gambar terlihat jelas tidak tertutup cat atau kotoran lainnya.

BAB 4

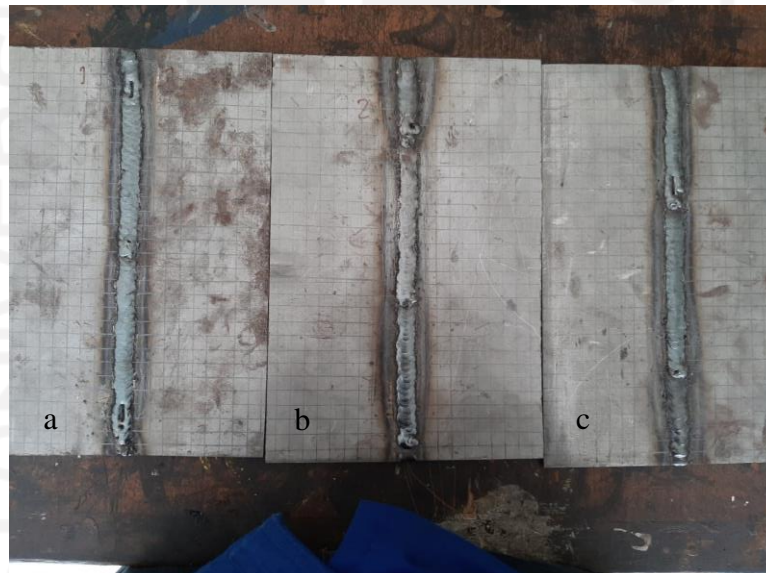
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil dan Analisis Pengujian

Setelah melakukan proses pengelasan dan pengujian di dapat hasil seperti berikut:

4.1.1 Hasil Pengelasan

Setelah melakukan proses pengelasan, terdapat 3 spesimen uji yang sudah di las dengan variasi gerakan elektroda yang berbeda seperti gambar 4.1 di bawah ini:



Gambar 4.1 Hasil pengelasan a. Variasi spiral, b. Variasi lurus, c. Variasi zig - zag

Pada gambar diatas terdapat beberapa cacat (*undercut*) saat pengelasan, cacat pada proses pengelasan dikarenakan terlalu cepat menggerakkan elektroda dan kerusakan pada elektroda karena lembab, pada saat penyambungan kurangnya menguasai metode pengelasan dapat terjadi cacat pada proses pengelasan. Setelah proses pengelasan selesai, selanjutnya benda uji di potong sesuai metode pengujian yang dilakukan.

4.1.2 Uji Komposisi Kimia

Setelah proses pengelasan selanjutnya spesimen melakukan proses uji komposisi dengan luas penampang 20 mm x 20 mm dengan 2 tempat yang pertama logam induk dan kedua daerah las sebagai tabel 4.1 di bawah ini:

Tabel 4.1 Hasil Uji Komposisi Baja

Unsur	Logam induk %	Logam daerah las %
Fe	99,36	98,97
S	0,0108	0,0072
Al	-0,0007	0,0328
C	0,0774	0,0776
Ni	0,0047	0,005
Nb	0,0052	0,0169
Si	0,1509	0,0082
Cr	0,0160	0,0151
V	0,0143	0,0008
Mn	0,2902	0,8162
Mo	-0,0014	-0,0016
W	0,0008	0,0001
P	0,0176	0,0141
Cu	0,0103	0,00147
Ti	0,0100	0,0012
N	0,0094	0,0014
Pb	0,0015	0,0001
Sb	0,0009	0,0018
Ca	0,0001	0,0002
Mg	0,0001	0,0001
Co	0,0041	0,0029

Berdasarkan komposisi kimia diatas, dapat diketahui jenis dari baja ini adalah Baja AISI 1006. Baja ini merupakan Material baja yang mampu las dan biasa digunakan pada proses konstruksi pada umumnya. Kandungan yang terdapat pada baja ini memiliki sifat menurunkan keuletan baja yaitu unsur kimia Si akan tetapi dapat dimaksimalkan kekuatannya dengan proses *heat treatment*. Secara umum, baja karbon memiliki kemampuan las yang baik jika memiliki nilai $C_{ev} < 0,4-0,5$. Berikut adalah proses perhitungan untuk mengetahui nilai C_{ev} pada daerah Las:

$$C_{ev} = C + \frac{M_n}{6} + \frac{C_u + N_i}{15} + \frac{C_r + M_o + V}{5}$$

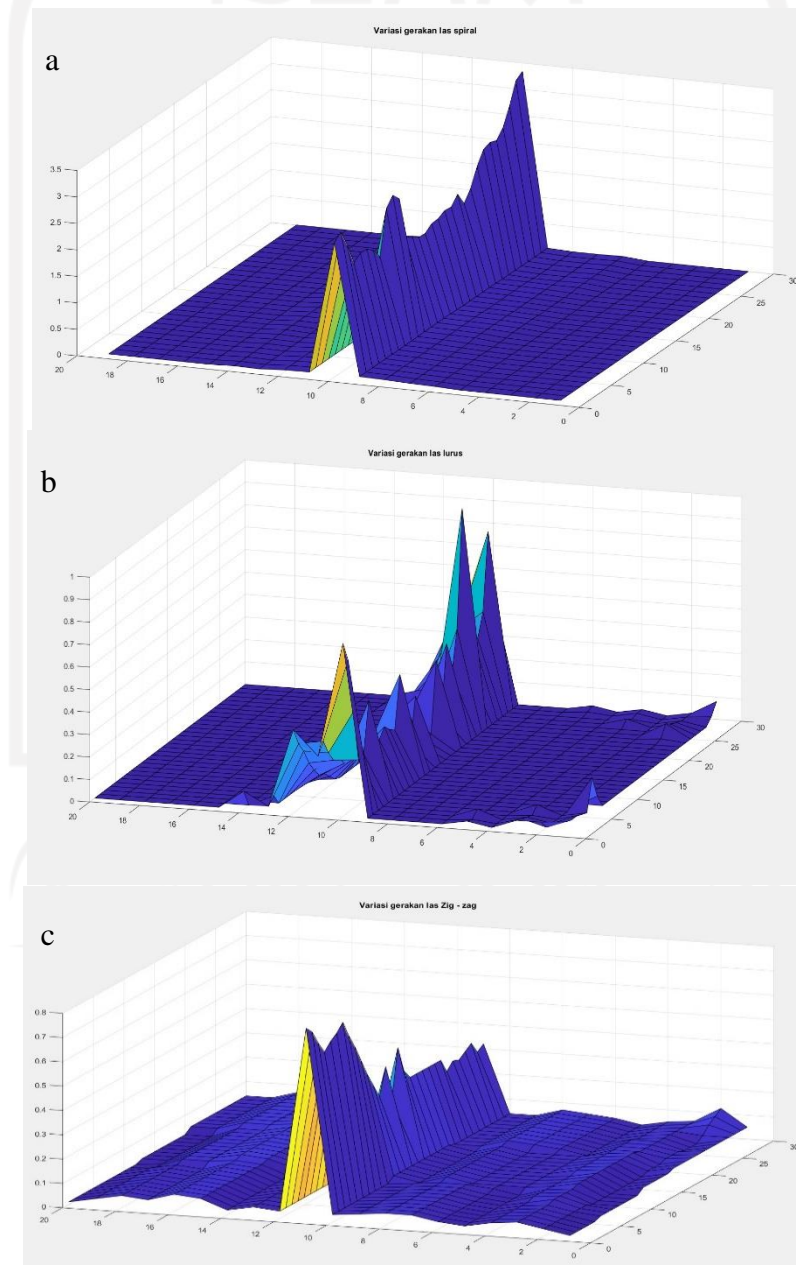
$$C_e = 0,0776 + \frac{0,8162}{6} + \frac{0,00147 + 0,005}{15} + \frac{0,0151 + (-0,0016) + 0,0008}{5} \quad (2.4)$$

$$C_e = 0,0776 + 0,136 + 0,00043 + 0,00286 = 0,21$$

Berdasarkan perbandingan tersebut dapat dilihat bahwa nilai $C_{ev} < (0,4 - 0,5)$ jadi material baja yang digunakan termasuk kategori mampu las.

4.1.3 Pengujian Kerataan

Setelah dilakukan pengujian kerataan didapat data berupa angka pada setiap titik, selanjutnya data tersebut diolah menjadi suatu gambar kurva benda uji seperti gambar 4.2 berikut:

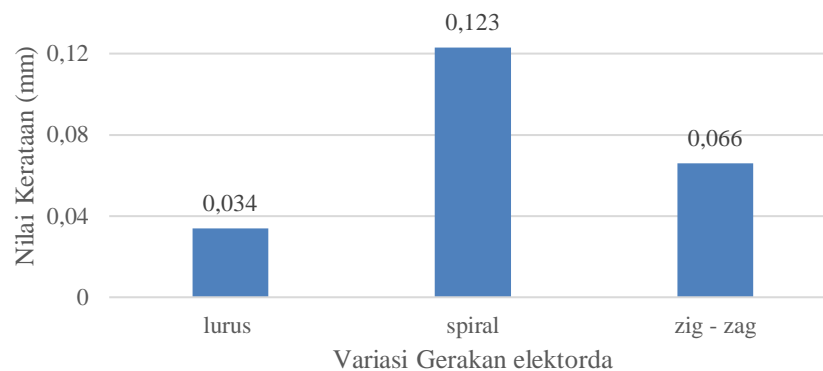


Gambar 4.2 Hasil pengujian kerataan a. Variasi spiral, b. Variasi lurus, c. Variasi zig – zag

Dari gambar diatas dapat gambar *3D* kerataan pada setiap variasi gerakan elektroda, selanjutnya dari gambar diatas dihitung nilai kerataan dari masing – masing variasi gerakan elektroda dengan rumus persamaan (2.5) pada salah satu contoh variasi gerakan elektroda lurus sebagai berikut:

$$\text{nilai kerataan} = \frac{20,35}{600} = 0,034 \text{ mm} \quad (2.5)$$

Pada hasil perhitungan diatas di dapat grafik perbandingan variasi gerakan elektroda dapat dilihat pada gambar 4.3 di bawah ini:



Gambar 4.3 Hasil perbandingan kerataan antara variasi gerakan elektroda

Pada hasil grafik diatas nilai kerataan variasi gerakan lurus lebih rata dari pada gerakan elektroda lainnya karena nilai variasi gerakan elektroda lurus mendekati 0 yaitu sebesar 0,034 mm. Pada variasi gerakan zig – zag memiliki nilai lebih tinggi dari variasi gerakan elektroda lurus yaitu sebesar 0,066 mm sedangkan spiral memiliki nilai ketidakteraturan yang tertinggi sebesar 0,123 mm.

4.1.4 Pengujian *Dye Penetrant*

Pengujian *Dye Penetrant* dilakukan untuk mengetahui adanya lubang atau retak pada daerah pengelasan, penggunaan *Dye penetrant* pada spesimen uji dalam penelitian ini dapat dilihat seperti gambar 4.4 di bawah ini:

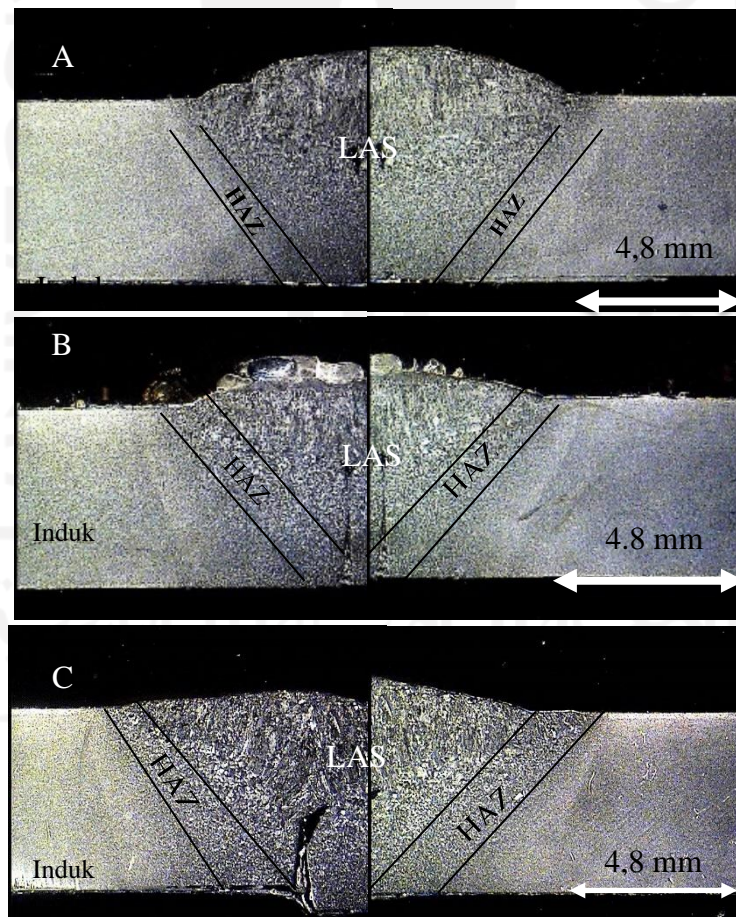


Gambar 4.4 Hasil pengujian *Dye Penetrant* a. elektroda lurus, b. elektroda spiral, c. elektroda zig – zag

Pada hasil pengujian *Dye penetrant* ini dapat dilihat bahwa ketiga spesimen tidak mengalami retak atau berlubang hanya saja pada daerah las terdapat cacat (*undercut*) tetapi tidak mengalami keretakan atau lubang dalam proses penyambungan spesimen uji.

4.1.5 Pengamatan struktur Makro dan Mikro

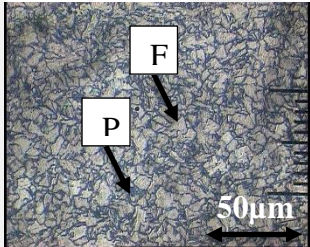
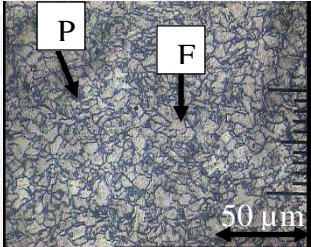
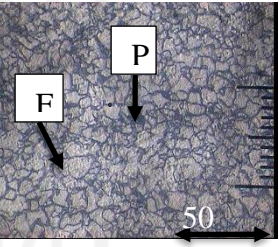
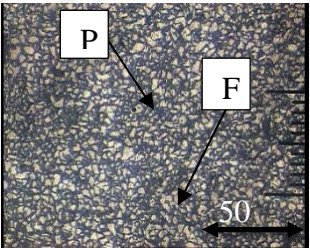
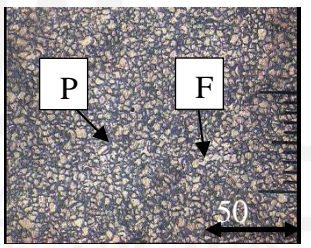
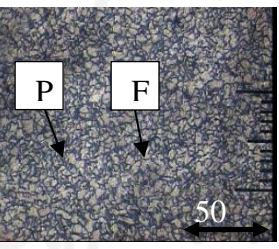
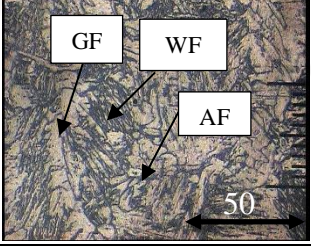
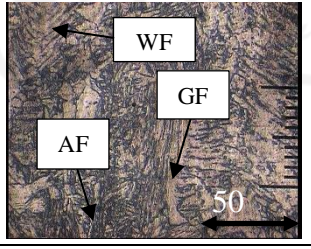
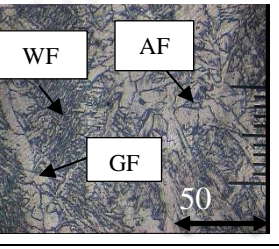
Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan mikroskop optik dengan perbesaran 200x, pengamatan struktur mikro terdapat 4 daerah pada masing - masing variasi elektroda spesimen uji yaitu daerah logam induk, daerah HAZ, dan daerah las. Sedangkan untuk pengamatan Makro dilakukan dengan perbesaran *stereozoom* 20x daerah yang di ambil yaitu daerah permukaan logam yang telah disambung. Hasil pengamatan struktur makro seperti gambar 4.5 di bawah ini:



Gambar 4.5 Hasil Pengamatan Struktur Makro Variasi gerakan elektroda a. Lurus, b. Spiral, dan c. Zig – Zag

Gambar diatas menunjukkan struktur makro pada proses penyambungan benda uji, pada gambar diatas terdapat 3 zona yang terbentuk yaitu: no 1. Zona las, no 2. Zona HAZ, dan no 3. Zona logam induk. Untuk variasi gerakan elektroda lurus dan spiral pada daerah penyambungan tidak mengalami cacat saat proses penyambungan sedangkan variasi gerakan elektroda zig – zag mengalami cacat yaitu tidak rata pada proses penyambungan. Hal ini disebabkan pada saat proses penyambungan untuk variasi gerakan elektroda spiral dan lurus hampir sama sedangkan untuk gerakan elektroda zig – zag sedikit berbeda dan juga gerakan tangan saat proses penyambungan yang tidak konsisten. Berdasarkan zona yang terdapat pada gambar diatas diamati juga struktur mikro yang terlihat pada tabel 4.2 sebagai berikut:

Tabel 4.2 Hasil Pengamatan Struktur Mikro variasi gerakan elektroda Lurus, Spiral, dan Zig – zag

Jenis	Lurus	spiral	Zig – zag
Induk			
HAZ			
Las			

Pada daerah induk menunjukkan bahwa struktur mikro yang ada pada Baja AISI 1006 mengandung *Ferit* yang lebih banyak dari pada *Perlit*, butir *Ferit* ditunjukkan berwarna terang sedangkan *Perlit* berwarna gelap atau kelabu. Gambar diatas sesuai dengan teori (Vlack, 1985) bahwa struktur mikro pada baja

yang mengandung *Ferit* yang terpisah disebut baja *hipoeutectoid* (baja karbon rendah).

Pada daerah *HAZ* struktur mikro seharusnya mengalami fasa transformasi dari *Ferit* dan *Perlit* berubah menjadi *Ferit* dan *Austenit*, tetapi pada gambar diatas terlihat struktur mikro dari *Ferit* dan *Perlit* dikarenakan pada baja yang kandungan kadar karbonnya rendah sampai dengan titik *eutectoid* maka kandungan yang terbentuk adalah campuran antara *Ferit* dan *Perlit* yang butirannya kecil.

pada daerah Las mengalami perubahan struktur mikro menjadi butir *Grain boundary Ferit*, *Acicular Ferit* dan *widmanstatten Ferit*. Pada daerah Las butir *Grain boundary Ferit*, *Acicular Ferit* dan *widmanstatten Ferit* terbentuk pada temperatur antara 650 – 1000°C, hal ini terjadi dikarenakan pada daerah las mengalami peningkatan suhu saat proses pengelasan.

4.1.6 Uji tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik dari material benda uji pada penelitian ini. Dalam pengujian ini masing – masing variasi terdapat 3 benda uji sehingga total benda uji sebanyak 12 benda uji termasuk juga 3 logam induk. Pengujian tarik menggunakan mesin ATM Hidrolik dengan standar benda uji ASTM E8, didapatkan nilai P_{max} dan ΔL dari setiap benda uji. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada lampiran. Berikut contoh salah satu spesimen hasil uji tarik untuk mencari nilai tegangan dan regangan:

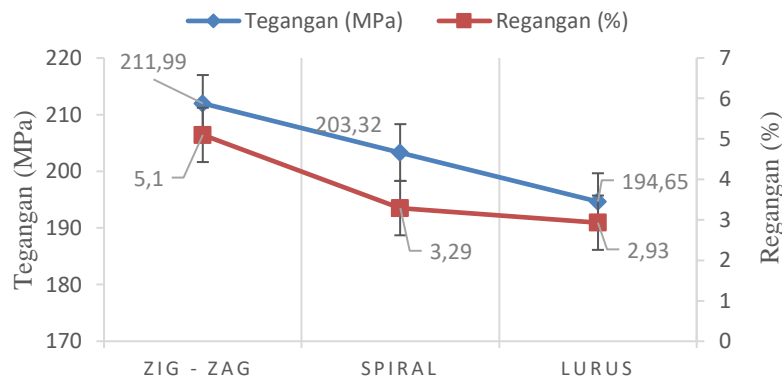
Pada variasi gerakan elektroda zig – zag 1 dengan P_{max} 12,65 untuk mencari nilai tegangan dan ΔL . Untuk mencari nilai tegangan dengan rumus persamaan (2.1) sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{12,65 \times 10^3}{4,69 \times 12,55} = 214,92 \text{ Mpa} \quad (2.1)$$

Untuk nilai regangan sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{2,52}{50} \times 100\% = 5,04\% \quad (2.5)$$

Dari hasil perhitungan diatas dicari rata-rata pada setiap gerakan variasi, dari hasil tersebut didapat grafik perbandingan tegangan – regangan pada gambar 4.7 sebagai berikut:



Gambar 4.7 Hasil Perbandingan Pengujian Tarik antara variasi gerakan elektroda

Dari hasil perbandingan tersebut dapat dilihat bahwa tegangan tarik tertinggi antara variasi gerak elektroda terdapat pada variasi gerakan elektroda zig – zag yaitu sebesar 211,99 MPa dan yang terendah adalah gerakan elektroda lurus yaitu sebesar 194,65 MPa. Sedangkan untuk hasil nilai regangan antara variasi gerak elektroda, nilai tertinggi yaitu 5,1% pada gerakan elektroda zig – zag sedangkan terendah terdapat pada gerakan elektroda lurus yaitu sebesar 2,93 %, tetapi untuk tegangannya variasi elektroda lurus lebih besar dari pada elektroda spiral, hal ini terjadi karena dalam proses penyambungan gerakan elektroda yang bervariasi menyebabkan gerakan tangan memiliki kecepatan yang berbeda pada setiap variasinya. Sehingga panas yang keluar saat proses penyambungan tidak merata pada gerakan elektroda variasi lurus dan tegangan yang di dapat gerakan elektroda variasi lurus lebih besar dari pada spiral.

4.1.7 Uji bending

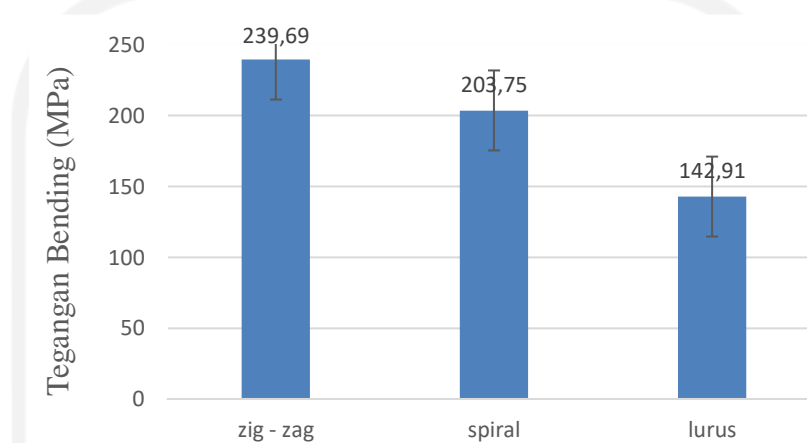
Pengujian bending menepatkan beban pada tengah – tengah spesimen dengan menggunakan mesin UTM Hidrolik. Spesimen uji ditekan secara kontinu sampai titik P_{max} yang terdapat pada mesin uji. Hasil data pengujian tekan dapat dilihat pada lampiran, untuk spesimen pengujian tekan berjumlah 12 spesimen yang terdiri 3 variasi gerakan elektroda lurus, spiral dan zig – zag serta logam induk.

Setelah selesai pengujian didapatkan nilai P_{max} , defleksi, dan tegangan bending. Setelah itu dilakukan perhitungan nilai tegangan bending dengan persamaan (2.3) sebagai contoh berikut di bawah ini:

Pada variasi gerakan elektroda zig – zag dengan P_{\max} : 2,03 KN

$$s = (3 \times P_{\max} \times 1000 \times 35)(2 \times L \times T^2)$$
$$s = (3 \times 2.03 \times 10^3 \times 35)(2 \times 21,84 \times 4,73^2) \quad (2.3)$$
$$s = 218,11 \text{ MPa}$$

Dari hasil perhitungan tersebut didapat grafik perbandingan variasi gerakan elektroda yang dibuat. Grafik perbandingan tegangan dapat dilihat pada gambar 4.8 dibawah ini:

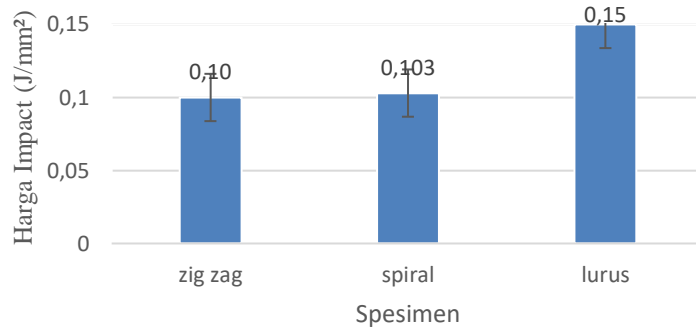


Gambar 4.8 Grafik perbandingan antara variasi gerakan elektroda Pengujian Tekan

Pada hasil grafik perbandingan hasil uji tekan nilai tegangan rata – rata tertinggi pada variasi gerakan elektroda zig – zag yaitu sebesar 239,69 MPa yang terendah pada variasi gerakan elektroda lurus sebesar 142,91 MPa, sedangkan spiral tertinggi kedua dengan nilai 203,75 MPa. Perbedaan nilai tegangan uji bending ini dikarenakan pada penyambungan gerakan elektroda yang berbeda dan pengisian yang kurang dalam atau maksimal, hal ini dapat mempengaruhi hasil tegangan.

4.1.8 Uji Impak

Pengujian impak dilakukan menggunakan metode *Charpy* dengan panjang lengan 0,8 Meter dan berat 20 Kilogram. Pengujian dilakukan mengikuti standar pengujian ASTM E23, spesimen uji akan mengalami patah pada daerah takik. Hasil dari pengujian impak mendapatkan nilai Energi (j) dari setiap benda yang di uji, data dari hasil pengujian dapat dilihat pada lampiran. Untuk grafik perbandingan uji impak dengan variasi gerakan elektroda dapat dilihat pada gambar 4.9 di bawah ini:

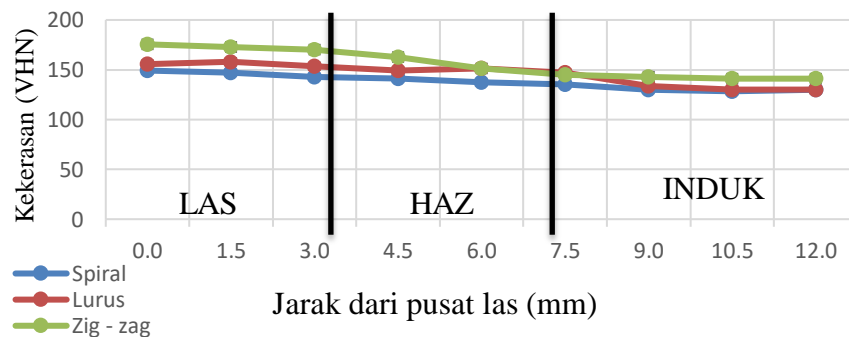


Gambar 4.9 Hasi Perbandingan variasi gerakan elektroda Pengujian Impak

Pada grafik diatas dapat dilihat bahwa pada variasi gerakan elektroda yang tertinggi terdapat pada gerakan elektroda lurus. Diantara variasi gerakan elektroda ketiga benda uji nilai pada grafik tidak beda jauh. Untuk spesimen lurus nilai harga impact tertinggi yaitu sebesar 0,15 J/mm², sedangkan untuk nilai terendahnya yaitu pada variasi gerakan elektroda zig - zag sebesar 0,10 J/mm² dan variasi gerakan elektroda spiral sebesar 0,103 J/mm².

4.1.9 Uji Kekerasan *Vickers*

Pengujian kekerasan *Vickers* menggunakan mesin *Universal Hardness Tester* (UHT) dengan pembebanan sebesar 40 kgf. Pengujian kekerasan *Vickers* dilakukan sebanyak 9 titik, jarak antara titik 1,5 mm. Hasil pengujian dapat dilihat pada bagian lampiran. Setelah diuji didapatkan nilai kekerasan dengan grafik perbandingan kekerasan *Vicker* pada gambar 4.10 sebagai berikut:



Gambar 4.10 Grafik perbandingan pengujian kekerasan *Vickers*

Pada grafik perbandingan kekerasan menunjukkan tiap – tap daerah yang ada pada benda uji. Daerah las dengan variasi gerakan elektroda zig – zag memiliki nilai rata – rata kekerasan paling tinggi yaitu sebesar 171,55 VHN sedangkan untuk variasi gerak elektroda lurus memiliki nilai rata – rata 154,65 VHN sedangkan

terendah terdapat pada variasi gerakan elektroda spiral dengan nilai rata – rata kekerasan 148,16 VHN. Semakin bergesernya titik atau jarak antara daerah penekanan pada daerah Las nilai kekerasan semakin menurun. Pada daerah las ini variasi gerakan elektroda zig – zag mendapatkan proses pemanasan dalam penyambungan lebih tinggi dari pada variasi lainnya, sehingga kekerasan spesimen uji lebih kuat.

Untuk daerah HAZ variasi gerakan elektroda lurus memiliki nilai rata – rata paling tinggi kekerasannya yaitu 149,22 VHN. Untuk gerakan elektroda variasi zig – zag memiliki nilai rata – rata kekerasan sebesar 148,21 VHN. Daerah HAZ terendah terdapat pada variasi gerakan elektroda spiral dengan rata – rata nilai kekerasan sebesar 136,35 VHN.

Untuk daerah logam induk variasi gerakan elektroda zig – zag memiliki nilai rata – rata kekerasan sebesar 141,09 VHN sedangkan variasi gerakan elektroda spiral dan lurus memiliki nilai rata – rata kekerasan yang sama yaitu 130,1 VHN.

4.1.10 Uji Korosi

Uji korosi dilakukan untuk mengetahui kekuatan tahan karat dari material. Pada uji korosi dilakukan dengan mengukur berat material secara berkala setiap 10 hari selama 40 hari dengan dicampur air laut. Hasil dari pengedapan benda uji seperti pada tabel 4.3 berikut:

Tabel 4.3 Hasil Pengamatan Laju Korosi

Variasi	Berat	I	II	III	IV
Zig – zag	23,32	23,30	23,30	23,28	23,27
Spiral	24,32	24,32	24,30	24,28	24,25
Lurus	22,80	22,78	22,75	22,75	22,74
Logam induk	20,60	20,55	20,53	20,53	20,50

Berdasarkan hasil uji laju korosi dapat dihitung dengan mencari perhitungan laju korosi dengan satuan mmpy (*milimeter per year*) dapat dicontohkan dengan variasi zig – zag minggu pertama dengan rumus (2.4) sebagai berikut:

Diketahui:

$$W = 0,02 \text{ gram}$$

$$K = \text{konstanta } (8,76 \times 10^4)$$

$$D \text{ AISI 1006} = 7,9 \text{ g/cm}^3$$

$$T = 24 \times 10 = 240 \text{ jam}$$

$$A = 17,112 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{laju korosi (mmpy)} &= \frac{K \times W}{D \times A \times T} = \frac{8,76 \times 10^4 \times 0,02}{7,9 \times 17,112 \times 240} \\ &= 0,054 \text{ mmpy} \end{aligned} \quad (2.4)$$

Setelah itu hasil dari perhitungan di bandingkan dengan standar laju korosi untuk menentukan kualitas korosi benda uji, hasil dapat dilihat seperti tabel 4.4 berikut:

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Laju Korosi

Variasi	Laju Korosi Minggu ke- (mmpy)				Rata- rata
	I	II	III	IV	
Zig – zag	0,054	0	0,018	0,0067	0,012
Spiral	0	0	0,018	0,02	0,054
Lurus	0,05	0,04	0	0,006	0,025
Logam induk	0,141	0,028	0	0,02	0,047

Setelah menghitung laju korosi dari benda uji, Selanjutnya hasil tersebut dibandingkan dengan standar laju korosi material untuk melihat kualitas laju korosi benda uji sesuai dengan tabel 4.5 di bawah ini:

Tabel 4.5 Standar Laju Korosi

Laju korosi	Standar (mmpy)	Hasil perhitungan laju korosi (mmpy)				keterangan
		Zig - zag	Spiral	Lurus	Logam Induk	
Oustanding	<0,02	0,012				Oustanding
Excellent	0,02 – 0,1		0,054	0,025	0,047	Excellent
Good	0,1 – 0,5					Good
Fair	0,5 - 1					
Poor	1 - 5					
Unacceptable	>5					

Dari hasil yang didapat baja AISI 1006 dikategorikan adalah baja yang memiliki ketahanan korosi yang baik.



BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Variasi gerakan elektroda memberikan pengaruh terhadap sifat fisik dan mekanik pada baja AISI 1006 dengan proses pengelasan SMAW. Untuk variasi gerakan elektroda yang paling baik dalam proses pengelasan SMAW pada baja AISI 1006 adalah variasi gerakan elektroda zig- zag, karena variasi gerakan elektroda zig – zag memiliki nilai kekuatan tarik dan tekan paling tinggi dibanding variasi gerakan elektroda lainnya, serta memiliki nilai kekerasan yang tinggi pada daerah las dan tingkat laju korosi yang luar biasa (*Outstanding*).
2. Hasil pengujian *Dye penetrant* untuk semua variasi bahwa tidak ada lubang dan keretakan pada spesimen uji.
3. Dari hasil pengujian kerataan variasi gerakan elektroda lurus merupakan variasi yang hasil kerataannya paling baik dengan nilai kerataan 0,034 mm sedangkan variasi gerakan elektroda spiral paling tidak rata dengan nilai 0,123 mm dan zig – zag memiliki nilai kerataan 0,066 mm.
4. Untuk hasil pengamatan struktur makro variasi gerakan elektroda lurus memiliki hasil lebih sempurna pada bentuk hasil lasan dari pada gerakan elektroda spiral dan zig – zag. Untuk pengamatan struktur mikro pada daerah induk memiliki struktur butir *Perlit* dan *Ferit*, pada daerah HAZ butir *Perlit* dan *Ferit* mengecil, dan untuk daerah Las struktur mikro menjadi butir *Grain boundary Ferit*, *Acicular Ferit* dan *widmanstatten Ferit* dikarenakan campuran komposisi elektroda dan peningkatan suhu pada proses pengelasan.
5. Hasil pengujian tarik menunjukkan variasi gerakan elektroda zig – zag memiliki hasil pengujian paling tinggi yaitu dengan nilai rata – rata tegangan 211,99 MPa, dari pada gerakan elektroda spiral dengan nilai rata – rata 203,32 MPa, dan nilai tegangan terendah pada gerakan elektroda lurus dengan rata – rata tegangan 194.65 MPa. Untuk Regangan variasi gerakan elektroda zig – zag

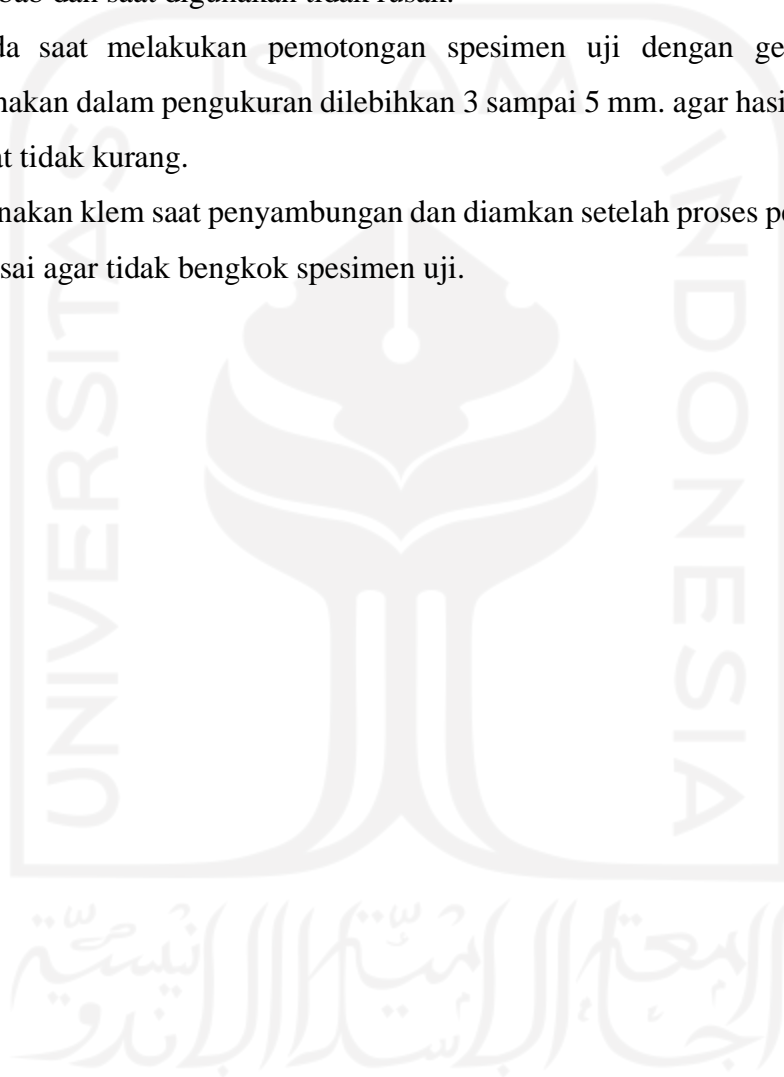
sebesar 5,1% lebih besar dari pada variasi gerakan elektroda spiral dengan nilai rata – rata sebesar 3,29 % dan paling rendah variasi gerakan elektroda lurus dengan nilai rata – rata sebesar 2,93 %.

6. Hasil pengujian bending menunjukkan dari ketiga variasi yang digunakan, variasi gerakan elektroda zig – zag memiliki hasil paling tinggi yaitu sebesar 239,69 MPa dari pada spiral yaitu sebesar 203,75 MPa dan lurus sebesar 142,91 MPa.
7. Hasil pengujian impact menunjukkan hasil dari berbagai variasi gerakan elektroda lurus memiliki hasil yang tidak beda jauh dengan variasi gerakan elektroda zig – zag dengan harga impact rata – rata sebesar 0,10 J/mm² untuk variasi gerakan elektroda zig – zag sedangkan spiral memiliki harga impact rata – rata sebesar 0,103 J/mm², harga impact tertinggi pada pengujian impact yaitu sebesar 0,15 J/mm² pada variasi gerakan elektroda lurus.
8. Hasil Pengujian kekerasan menunjukkan pada variasi gerakan elektroda zig - zag memiliki nilai rata – rata kekerasan tertinggi pada daerah las yaitu sebesar 171,55 HVN. Dibandingkan dengan variasi gerakan elektroda lurus sebesar 154,65 HVN dan spiral sebesar 148,16 HVN. Dari hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa pada setiap variasi gerakan elektroda spesimen mengalami peningkatan kekerasan pada daerah las.

5.2 Saran

Pada penelitian ini memiliki beberapa saran seperti berikut:

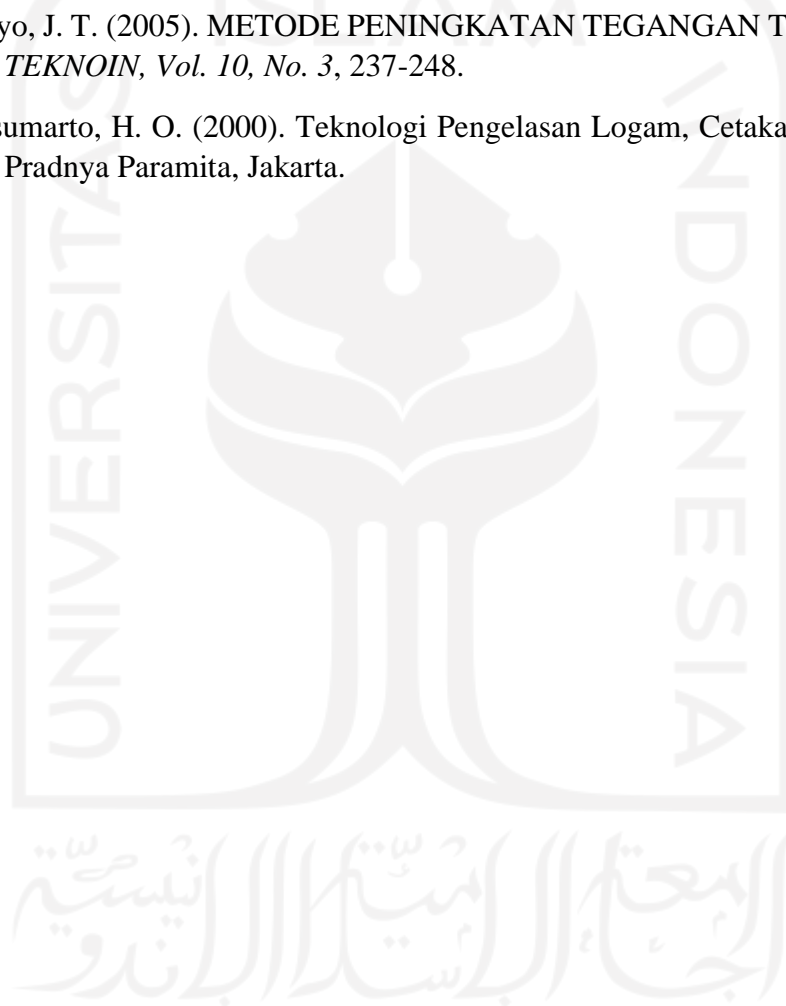
1. Pada saat proses penyambungan elektroda habis di tengah, lakukan penghalusan pada saat ingin memulai proses penyambungan kembali.
2. Simpan elektroda ditempat oven elektroda atau *Ing Electrode Dryer* agar tidak lembab dan saat digunakan tidak rusak.
3. Pada saat melakukan pemotongan spesimen uji dengan gerinda potong usahakan dalam pengukuran dilebihkan 3 sampai 5 mm. agar hasil pemotongan tepat tidak kurang.
4. Gunakan klem saat penyambungan dan diamkan setelah proses penyambungan selesai agar tidak bengkok spesimen uji.



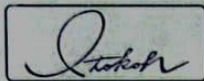
DAFTAR PUSTAKA

- Agus Setiyo Umartono, D. I. (2018). ANALISA PENGARUH PERBEDAAN METODE PENGELASAN SMAW DAN . *Jurnal keilmuan dan Terapan Teknik*, 131-142.
- Anang Setiawan, Y. A. (n.d.). Analisa Ketangguhan dan Struktur Mikro pada Daerah Las dan HAZ Hasil Pengelasan Sumerged Arc Welding pada .
- Andri Santoso, A. S. (2018). ANALISIS KEKUATAN TARIK, KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO PADA . *JurnalMekanikal*, Vol. 9 No.2, 855-864.
- Ary Setya Kurniawan, S. R. (2014). ANALISIS KEKUATAN TARIK DAN STRUKTUR MIKRO PADA BAJA St.41 AKIBAT PERBEDAAN AYUNAN ELEKTRODA PENGELASAN . *JURNAL TEKNIK MESIN, TAHUN 22, NO. 2*.
- Azwinur, S. A. (2017). PENGARUH VARIASI ARUS PENGELASAN TERHADAP SIFAT MEKANIK PADA PROSES PENGELASAN SMAW. *Jurnal Polimesin (ISSN: 1693-5462), Volume 15, Nomor 2*.
- E8, A. (2010). Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials.
- Hajar Isworo, N. R. (2020). PENGARUH VARIASI TEMPERATUR PEMANASAN DAN MEDIA . *SJME KINEMATIKA*, Vol.5 No.1.
- Handoyo, Y. (2013). PERANCANGAN ALAT UJI IMPAK METODE CHARPY KAPASITAS 100 JOULE. *Jurnal Imiah Teknik Mesin, Vol. 1, No. 2*.
- PENGARUH JENIS ELEKTRODA TERHADAP SIFAT MEKANIK HASIL PENGELASAN SMAW BAJA ASTM A36. (2017). *Momentum, Vol. 13, No. 1, 27 -31*.
- Pranawan, D. S. (2016). Pengaruh Teknik Pengelasan Alur Spiral, Alur Zig – Zag dan Lurus Pada Arus 85 A Terhadap Kekuatan Tarik Baja St41. *Jurnal Teknik Mesin, 29 - 32*.
- Saifuddin A.Jalil, Z. T. (2017). ANALISA KEKUATAN IMPAK PADA PENYAMBUNGAN PENGELASAN SMAW MATERIAL ASSAB 705 DENGAN VARIASI ARUS PENGELASAN. *Jurnal Polimesin (ISSN: 1693-5462), Volume 15, Nomor 2*.
- Seng, A. (n.d.). ANALISIS SIFAT MEKANIS BAJA KARBON .
- Setiawan, F. (2016). Pengaruh Variasi Sudut Kampuh V Dan Kuat Arus Dengan Las Shielded Metal Arc Welding (SMAW) Pada Baja A36 Terhadap Sifat Mekanik. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Umsida, 1 - 9*.

- Setyo, R. P. (2013). Pengaruh Kecepatan Pengelasan dan Jenis Elektroda Terhadap Kekuatan Tarik Hasil Pengelasan SMAW Baja ST 60. *Jurnal Teknik Mesin Univ. Brawijaya Malang*.
- Sigit Edy Purwanto, M. T. (2019). PENGARUH WAKTU PENGELASAN TERHADAP REAKSI ANTARMUKA PADA SAMBUNGAN . *KURVATEK Vol. 4. No. 2*.
- Suprijanto, D. (2013). PENGARUH BENTUK KAMPUH TERHADAP KEKUATAN BENDING LAS SUDUT . *SEMINAR NASIONAL ke8 - Tahun 2013 : Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi*.
- Wardoyo, J. T. (2005). METODE PENINGKATAN TEGANGAN TARIK DAN . *TEKNOIN, Vol. 10, No. 3, 237-248*.
- Wiryo Sumarto, H. O. (2000). *Teknologi Pengelasan Logam, Cetakan Kedelapan, Pradnya Paramita, Jakarta*.



LAMPIRAN



PT. ITOKOH CEPERINDO
Stainless Steel & Alloy Steel Casting



COMPANY : PT. ITOKOH CEPERINDO
 SAMPLE NAME : SAMPLE BAJA
 CUSTOMER : Sdr. Fandy
 FURNACE : ZK2439C01/93
 OPERATOR : WENDY
 DATE / TIME : 24-NOV-2021 08:25:45
 TASK : Conc_Fei METHOD : FEGLPE

	Fe	S	Al	C	Ni	Nb	Si
1	99.3613	0.0108	-0.0007	0.0774	0.0047	0.0052	0.1509
2	98.9721	0.0072	0.0323	0.0776	0.0050	0.0169	0.0082
AVG	99.1670	0.0090	0.0161	0.0775	0.0048	0.0110	0.0796
SD	0.27566	0.00250	0.02368	0.00016	0.00021	0.00329	0.10095
SD%	0.28	27.87	147.23	0.20	4.40	75.13	126.89

	Cr	V	Mn	Mo	W	P	Cu
1	0.0160	0.0143	0.2902	-0.0014	0.0008	0.0176	0.0103
2	0.0131	0.0003	0.3162	-0.0016	0.0001	0.0141	0.0147
AVG	0.0155	0.0075	0.5532	-0.0015	0.0005	0.0159	0.0125
SD	0.00062	0.00955	0.37192	0.00017	0.00052	0.00246	0.00309
SD%	4.02	126.94	67.23	11.58	111.22	15.47	24.72

	Ti	N	B	Pb	Sb	Ca	Hg
1	0.0100	0.0094	0.0001	0.0015	0.0003	0.0001	0.0001
2	0.0012	0.0014	0.0001	0.0001	0.0018	0.0002	0.0001
AVG	0.0056	0.0054	0.0001	0.0008	0.0013	0.0001	0.0001
SD	0.00621	0.00566	0.00001	0.00103	0.00061	0.00005	0.00006
SD%	111.15	103.97	10.35	126.89	45.95	33.00	0.00

	Zn	Co
1	0.0003	0.0041
2	0.0026	0.0023
AVG	0.0017	0.0035
SD	0.00119	0.00031
SD%	69.35	23.12



INDONESIA OFFICE & FACTORY : Jl. KH. Hasyim As'ari By Pass Selatan Klaten 57417, Jateng - Indonesia
 Phone : (0272) 324208, 324038, Fax. (324213), E-mail : itokohci@indosat.net.id
JAPAN OFFICE : 3-22-2 Motogo, Kawaguchi City, Saitama, Japan
 Phone : 81 482 248 401, Fax : 81 482 242070

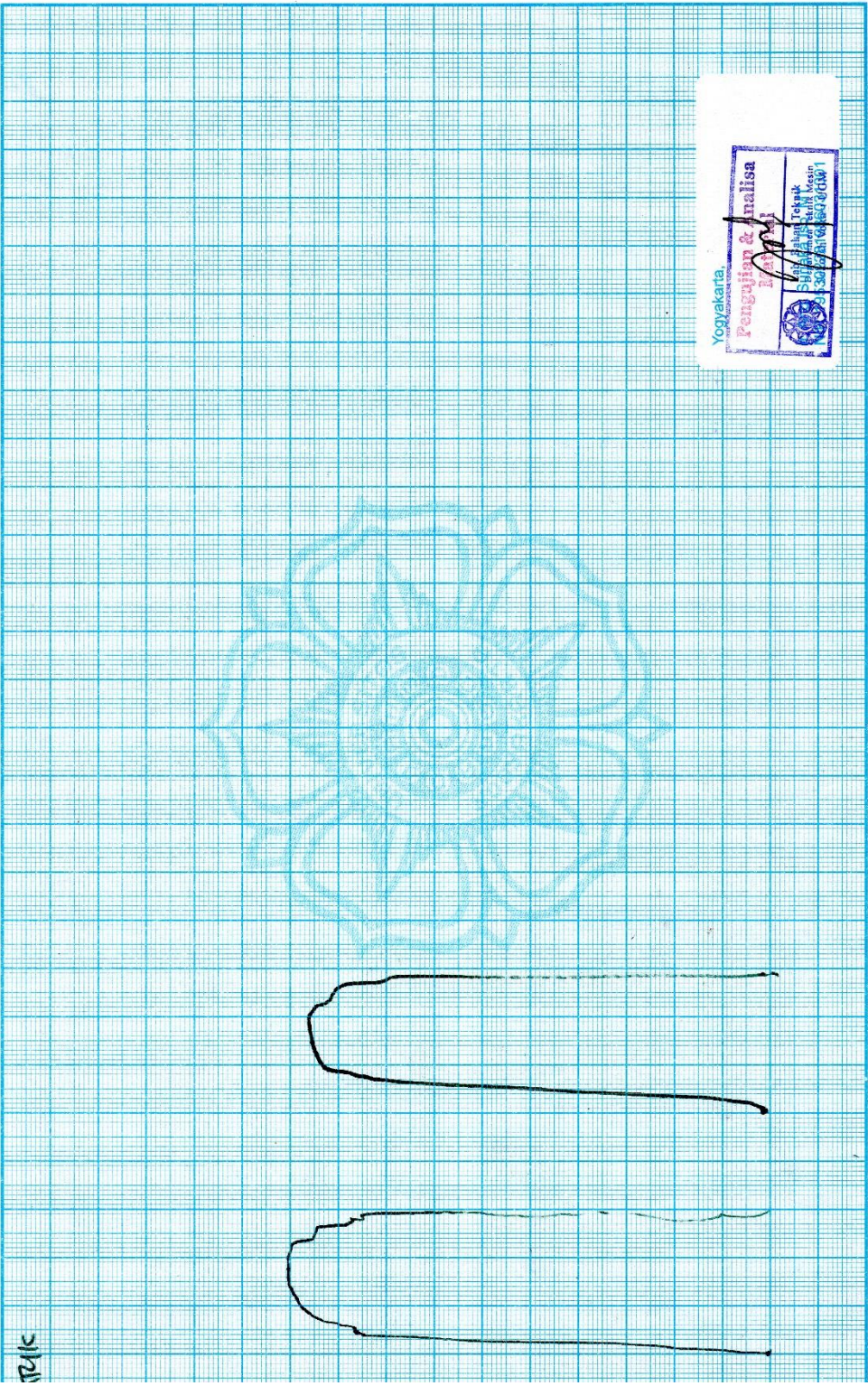


LABORATORIUM BAHAN TEKNIK

PROGRAM DIPLOMA TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS GADJAH MADA

Kampus 1, Gralika ZA Yogyakarta 55281 Telp. (0274) 546637, 902268 Fax. (0274) 549409 E-mail: d3mesin_ugm@ugjamedia.net.com

TKK



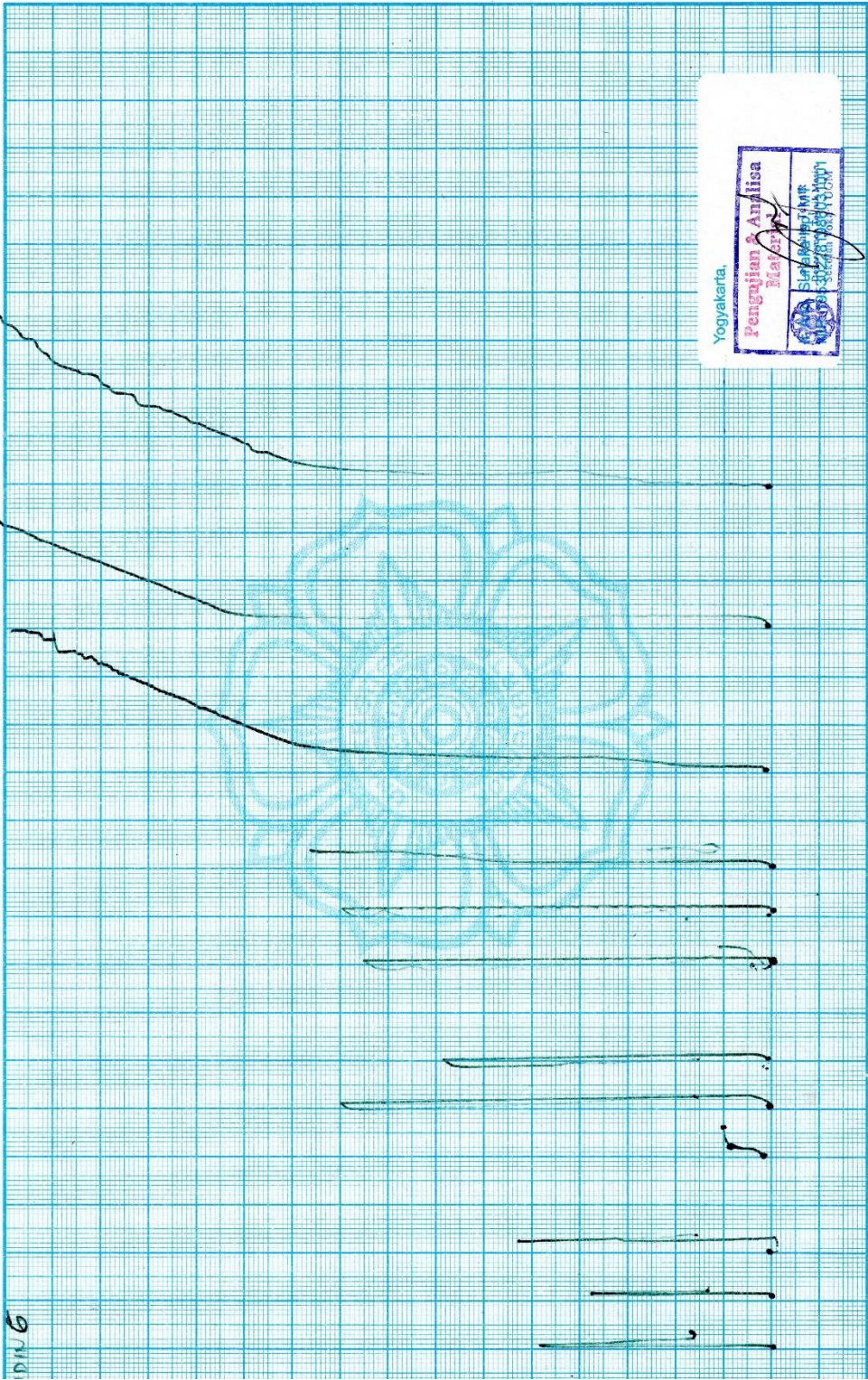


LABORATORIUM BAHAN TEKNIK

PROGRAM DIPLOMA TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS GADJAH MADA

Kampus: Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281 Telp. (0274) 548837, 902269 Fax. (0274) 546400 E-mail: d3mesin_ugm@ugjamedia.net.com

DIN 6



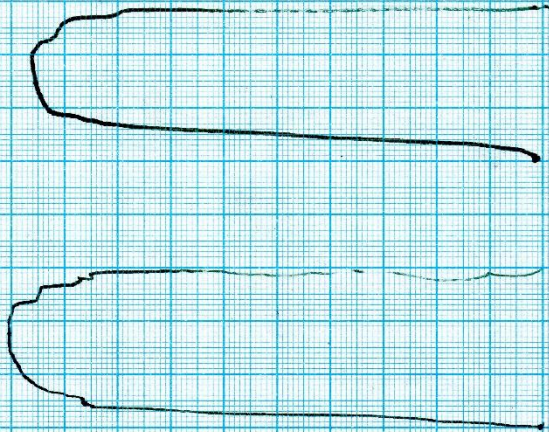
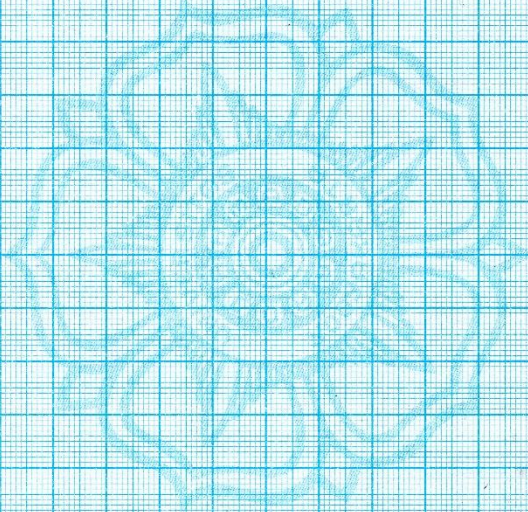


LABORATORIUM BAHAN TEKNIK

PROGRAM DIPLOMA TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS GADJAH MADA

Kampus 1, Gralika ZA Yogyakarta 55281 Telp. (0274) 546637, 902289 Fax. (0274) 546400 E-mail: gdmestr_ugm@ugjamedia.net.com

TKK





LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

HASIL PENGUJIAN IMPACT

No.	Variasi Spesimen	Sudut α (°)	Energi (J)	Sudut β (°)	Energi Terserap (J)	Luas (mm ²)	Harga Impact (J/mm ²)
1	Zig-Zag_1	151	300	145,00	8,9	104,9	0,085
2	Zig-Zag_2	151	300	143,00	12,2	106,0	0,115
3	Zig-Zag_3	151	300	140,00	17,4	94,1	0,185
4	Spiral_1	151	300	145,00	8,9	81,1	0,109
5	Spiral_2	151	300	145,00	8,9	101,6	0,087
6	Spiral_3	151	300	144,00	10,5	108,1	0,097
7	Lurus_1	151	300	141,00	15,6	96,0	0,162
8	Lurus_2	151	300	143,00	12,2	110,7	0,110
9	Lurus_3	151	300	142,00	13,9	99,6	0,139
10	Logam Induk_1	151	300	107,00	93,2	72,7	1,282
	Logam Induk_2	151	300	89,00	142,7	123,6	1,155
11	Logam Induk_3	151	300	94,00	128,8	112,8	1,142

Lembar asli, tidak untuk digandakan

Keterangan

1. Menggunakan metode Charpy
2. Standar benda uji mengacu ASTM E23
3. Panjang lengan 0,8 meter
4. Berat palu 20 kilogram
5. Pengujian dilakukan pada tanggal 27 November 2021

Yogyakarta, 27 November 2021
Staf Laboratorium Bahan Teknik



Dr. Lilik Dwi Setyana, S.T., M.T.
NIP. 197703312002121002



LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

HASIL PENGUJIAN TARIK

No.	Variasi Spesimen	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (KN)	ΔL (mm)	Tegangan (MPa)	Regangan (%)
1	Zig-Zag_1	4,69	12,55	12,65	2,52	214,92	5,04*
2	Zig-Zag_2	4,78	12,23	11,16	3,87	190,90	7,74
3	Zig-Zag_3	5,17	10,51	11,36	2,58	209,07	5,16
4	Spiral_1	4,70	11,40	10,07	2,85	187,94	5,70
5	Spiral_2	4,85	11,04	11,71	1,67	218,70	3,34
6	Spiral_3	4,84	11,70	8,05	1,62	142,16	3,24
7	Lurus_1	4,96	10,70	10,24	2,69	192,95	5,38
8	Lurus_2	4,54	11,79	10,51	1,20	196,35	2,40
9	Lurus_3	4,86	11,83	12,69	1,73	220,72	3,46
10	Logam Induk_1	4,60	12,70	25,94	11,25	444,03	22,50
11	Logam Induk_2	4,76	12,60	26,78	11,30	446,51	22,60
12	Logam Induk_3	4,65	13,01	26,28	10,03	434,41	20,06

Lembar asli, tidak untuk digandakan

Keterangan:

1. Pengujian dilakukan tanggal 27 November 2021
2. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine
3. Standar spesimen menggunakan ASTM E8

Yogyakarta, 27 November 2021
Staf Laboratorium Bahan Teknik



Dr. Lilik Dwi Setyana, S.T., M.T
NIP. 197703312002121002



LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

HASIL PENGUJIAN BENDING

No.	Variasi Spesimen	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (KN)	Defleksi (mm)	Tegangan Bending (MPa)
1	Zig-Zag_1	4,73	21,84	2,03	1,28	218,11
2	Zig-Zag_2	4,68	21,95	2,17	1,03	236,97
3	Zig-Zag_3	5,00	21,83	2,52	1,20	242,42
4	Spiral_1	5,20	22,76	2,45	1,60	209,00
5	Spiral_2	4,76	21,75	2,37	1,25	252,48
6	Spiral_3	4,72	21,37	1,80	1,15	198,49
7	Lurus_1	4,67	21,72	1,24	1,37	137,43
8	Lurus_2	5,09	23,68	1,66	1,63	142,05
9	Lurus_3	5,08	20,80	1,47	1,71	143,78
10	Logam Induk_1	4,78	20,75	5,31	26,27	588,00
11	Logam Induk_2	4,77	21,71	5,86	25,85	622,82
12	Logam Induk_3	4,69	20,14	5,29	26,64	626,92

Lembar asli, tidak untuk digandakan

Keterangan:

1. Pengujian dilakukan tanggal 27 November 2021
2. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine

Yogyakarta, 27 November 2021

Staf Laboratorium Bahan Teknik



Dr. Lilik Dwi Setyana, S.T., M.T

NIP. 197703312002121002



LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

PENGUJIAN KEKERASAN VICKERS

Variasi Perlakuan	Titik Uji	Jarak dari pusat las (mm)	D1 (mm)	D2 (mm)	D rata-rata (mm)	Kekerasan (VHN)
Spiral	1	0,0	0,70	0,71	0,71	149,21
	2	1,5	0,70	0,72	0,71	147,11
	3	3,0	0,72	0,72	0,72	143,06
	4	4,5	0,72	0,73	0,73	141,09
	5	6,0	0,73	0,74	0,74	137,28
	6	7,5	0,74	0,74	0,74	135,43
	7	9,0	0,76	0,75	0,76	130,10
	8	10,5	0,76	0,76	0,76	128,39
	9	12,0	0,75	0,76	0,76	130,10
Lurus	1	0,0	0,69	0,69	0,69	155,77
	2	1,5	0,69	0,68	0,69	158,05
	3	3,0	0,69	0,70	0,70	153,53
	4	4,5	0,70	0,71	0,71	149,21
	5	6,0	0,70	0,70	0,70	151,35
	6	7,5	0,71	0,71	0,71	147,11
	7	9,0	0,74	0,75	0,75	133,62
	8	10,5	0,75	0,76	0,76	130,10
	9	12,0	0,75	0,76	0,76	130,10
Zig-Zag	1	0,0	0,65	0,65	0,65	175,53
	2	1,5	0,65	0,66	0,66	172,86
	3	3,0	0,65	0,67	0,66	170,25
	4	4,5	0,67	0,68	0,68	162,77
	5	6,0	0,70	0,70	0,70	151,35
	6	7,5	0,71	0,72	0,72	145,06
	7	9,0	0,72	0,72	0,72	143,06
	8	10,5	0,72	0,73	0,73	141,09
	9	12,0	0,73	0,72	0,73	141,09

Lembar asli, tidak untuk digandakan

Keterangan:

1. Pengujian dilakukan tanggal 27 November 2021
2. Pengujian menggunakan Universal Hardness Tester
3. Pembebanan menggunakan 40 kgf

Yogyakarta, 27 November 2021
Staf Laboratorium Bahan Teknik


Penguji & Analisa Hasil
Dr. Lilik Dwi Setyana, S.T., M.T.
Departemen Teknik Mesin
NIP. 197703312002124002

Standar Deviasi Pengujian Kekerasan

gerakan elektroda	Daerah	Titik Uji	Kekerasan (VHN)	\bar{x}	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$	Standar Deviasi	Interval Standar Deviasi	rata - rata daerah
Spiral	Las	1	149,21	146,46	2,75	7,56	3,13	$143,33 \leq \bar{x} \leq 149,59$	148,16
		2	147,11	146,46	0,65	0,43			
		3	143,06	146,46	-3,40	11,58			
	HAZ	4	141,09	137,93	3,16	9,97	2,89	$135,04 \leq \bar{x} \leq 140,82$	136,35
		5	137,28	137,93	-0,65	0,43			
		6	135,43	137,93	-2,50	6,27			
	Induk	7	130,10	129,53	0,57	0,32	0,99	$128,55 \leq \bar{x} \leq 130,52$	129,53
		8	128,39	129,53	-1,14	1,29			
		9	130,10	129,53	0,57	0,32			

gerakan elektroda	Daerah	Titik Uji	Kekerasan (VHN)	\bar{x}	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$	Standar Deviasi	Interval Standar Deviasi	rata rata daerah
Lurus	Las	1	155,77	155,78	-0,0164	0,00027	2,26	$153,52 \leq \bar{x} \leq 158,04$	154,65
		2	158,05	155,78	2,27	5,13			
		3	153,53	155,78	-2,25	5,06			
	HAZ	4	149,21	149,22	-0,015	0,00023	2,12	$147,11 \leq \bar{x} \leq 151,34$	148,16
		5	151,35	149,22	2,12	4,51			
		6	147,11	149,22	-2,11	4,45			
	Induk	7	133,62	131,27	2,34	5,49	2,03	$129,24 \leq \bar{x} \leq 133,30$	130,10
		8	130,10	131,27	-1,17	1,37			
		9	130,10	131,27	-1,17	1,37			

Standar Deviasi Pengujian Kekerasan

gerakan elektroda	Daerah	Titik Uji	Kekerasan (VHN)	\bar{x}	$xi-\bar{x}$	$(xi-\bar{x})^2$	Standar Deviasi	Interval Standar Deviasi	rata rata daerah
Zig - zag	Las	1	175,53	172,88	2,65	7,02	2,64	$170,24 \leq \bar{x} \leq 175,52$	171,55
		2	172,86	172,88	-0,02	0,04			
		3	170,25	172,88	-2,63	6,91			
	HAZ	4	162,77	153,06	9,71	94,22	8,97	$144,08 \leq \bar{x} \leq 162,03$	148,21
		5	151,35	150,56	0,79	0,62			
		6	145,06	148,66	-3,60	12,97			
	Induk	7	143,06	141,74	1,31	1,72	1,14	$140,61 \leq \bar{x} \leq 142,88$	141,09
		8	141,09	141,74	-0,66	0,43			
		9	141,09	141,74	-0,66	0,43			

Standar Deviasi Pengujian Impak

No.	Variasi Spesimen	Harga Impact (J/mm^2)	\bar{x}	$xi-\bar{x}$	$(xi-\bar{x})^2$	Standar Deviasi	Interval Standar Deviasi	Rata - rata
1	Zig-Zag_1	0,085	0,128	-0,043	0,002	0,05	$0,077 \leq \bar{x} \leq 0,179$	0,10
2	Zig-Zag_2	0,115	0,128	-0,013	0,00018			
3	Zig-Zag_3	0,185	0,128	0,057	0,003			

No.	Variasi Spesimen	Harga Impact (J/mm^2)	\bar{x}	$xi-\bar{x}$	$(xi-\bar{x})^2$	Standar Deviasi	Interval Standar Deviasi	Rata - rata
1	Spiral_1	0,109	0,098	0,011	0,0001308	0,011	$0,087 \leq \bar{x} \leq 0,109$	0,103
2	Spiral_2	0,087	0,098	-0,011	0,0001124			
3	Spiral_3	0,097	0,098	-0,001	0,0000007			

No.	Variasi Spesimen	Harga Impact (J/mm^2)	\bar{x}	$xi-\bar{x}$	$(xi-\bar{x})^2$	Standar Deviasi	Interval Standar Deviasi	Rata - rata
1	Lurus_1	0,162	0,137	0,025	0,001	0,026	$0,111 \leq \bar{x} \leq 0,164$	0,15
2	Lurus_2	0,110	0,137	-0,027	0,001			
3	Lurus_3	0,139	0,137	0,002	0,0000041			

Standar Deviasi Pengujian Bending

no	Variasi Spesimen	Tegangan (Mpa)	\bar{x}	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$	Standar Deviasi	Interval Standar Deviasi	Rata - rata
1	Zig-Zag_1	218,11	232,50	-14,39	207,01	12,75	219,75 ≤ \bar{x} ≤ 245,25	239,69
2	Zig-Zag_2	236,97	232,50	4,47	19,98			
3	Zig-Zag_3	242,42	226,63	15,79	249,43			

no	Variasi Spesimen	Tegangan (Mpa)	\bar{x}	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$	Standar Deviasi	Interval Standar Deviasi	Rata - rata
4	Spiral_1	209,00	219,99	-10,99	120,83	28,63	191,36 ≤ \bar{x} ≤ 248,62	203,75
5	Spiral_2	252,48	219,99	32,49	1055,74			
6	Spiral_3	198,49	219,99	-21,50	462,16			

no	Variasi Spesimen	Tegangan (Mpa)	\bar{x}	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$	Standar Deviasi	Interval Standar Deviasi	Rata - rata
7	Lurus_1	137,43	141,09	-3,66	13,36	3,28	137,81 ≤ \bar{x} ≤ 144,37	142,91
8	Lurus_2	142,05	141,09	0,97	0,93			
9	Lurus_3	143,78	141,09	2,69	7,23			

الجامعة الإسلامية
البحرينية

Standar Deviasi Pengujian tarik (Tegangan)

No.	Variasi Spesimen	Tegangan (Mpa)	\bar{x}	$xi-\bar{x}$	$(xi-\bar{x})^2$	Standar Deviasi	Interval Standar Deviasi	Rata - rata
1	Zig-Zag_1	214,92	204,96	9,96	99,13	12,52	$192,44 \leq \bar{x} \leq 2417,98$	211,99
2	Zig-Zag_2	190,90	204,96	-14,06	197,70			
3	Zig-Zag_3	209,07	204,96	4,10	16,85			

No.	Variasi Spesimen	Tegangan (Mpa)	\bar{x}	$xi-\bar{x}$	$(xi-\bar{x})^2$	Standar Deviasi	Interval Standar Deviasi	Rata - rata
1	Spiral_1	187,94	182,93	5,01	25,11	38,52	$144,41 \leq \bar{x} \leq 221,45$	203,32
2	Spiral_2	218,70	182,93	35,77	1279,21			
3	Spiral_3	142,16	182,93	-40,78	1662,74			

No.	Variasi Spesimen	Tegangan (Mpa)	\bar{x}	$xi-\bar{x}$	$(xi-\bar{x})^2$	Standar Deviasi	Interval Standar Deviasi	Rata - rata
1	Lurus_1	192,95	203,34	-10,39	108,02	15,15	$188,19 \leq \bar{x} \leq 218,59$	194,65
2	Lurus_2	196,35	203,34	-6,99	48,83			
3	Lurus_3	220,72	203,34	17,38	302,09			

الجامعة الإسلامية

Standar Deviasi Pengujian tarik (Regangan)

No.	Variasi Spesimen	Regangan (%)	\bar{x}	$xi-\bar{x}$	$(xi-\bar{x})^2$	Standar Deviasi	Interval Standar Deviasi	Rata - rata
1	Zig-Zag_1	5,04	5,98	-0,94	0,88	1,53	$4,45 \leq \bar{x} \leq 7,51$	5,10
2	Zig-Zag_2	7,74	5,98	1,76	3,10			
3	Zig-Zag_3	5,16	5,98	-0,82	0,67			

No.	Variasi Spesimen	Regangan (%)	\bar{x}	$xi-\bar{x}$	$(xi-\bar{x})^2$	Standar Deviasi	Interval Standar Deviasi	Rata - rata
1	Spiral_1	5,70	4,09	1,61	2,58	1,39	$2,7 \leq \bar{x} \leq 5,48$	3,29
2	Spiral_2	3,34	4,09	-0,75	0,57			
3	Spiral_3	3,24	4,09	-0,85	0,73			

No.	Variasi Spesimen	Regangan (%)	\bar{x}	$xi-\bar{x}$	$(xi-\bar{x})^2$	Standar Deviasi	Interval Standar Deviasi	Rata - rata
1	Lurus_1	5,38	3,75	1,63	2,67	1,51	$2,21 \leq \bar{x} \leq 5,23$	2,93
2	Lurus_2	2,40	3,75	-1,35	1,81			
3	Lurus_3	3,46	3,75	-0,29	0,08			

جامعة البصرة