

**PENGARUH VARIASI FLUKS TERHADAP SIFAT FISIK DAN
MEKANIK PADA HASIL SAMBUNGAN LAS MIG BAJA AISI**

1018

TUGAS AKHIR

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



Disusun Oleh :

Nama : Edo Setya Noorseta

No. Mahasiswa : 17525056

NIRM : 2017023611

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

2022

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa karya tulis yang saya buat ini adalah hasil karya saya sendiri kecuali kutipan ataupun ringkasan yang saya ambil sebagai referensi telah saya cantumkan sumbernya. Apabila dikemudian hari terbukti pengakuan saya tidak benar serta melanggar peraturan yang sah dalam hak kekayaan intelektual, maka saya bersedia mengikuti hukuman ataupun sanksi apapun sesuai hukum yang diberlakukan Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, Februari 2022

Edo Setya Nurrisia

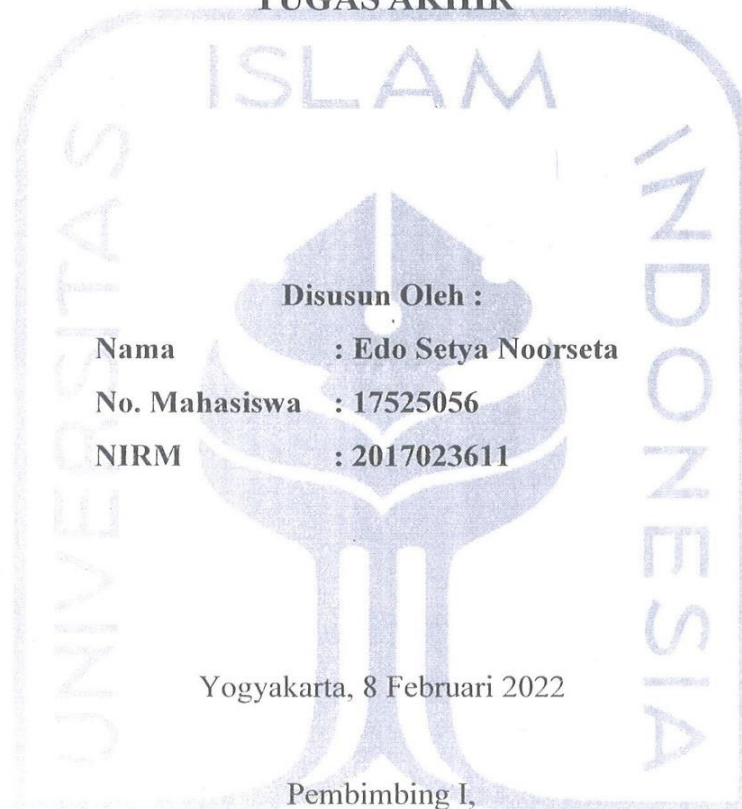
17525056



LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**Pengaruh Variasi Fluks Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Pada Hasil
Sambungan Las Mig Baja AISI 1018**

TUGAS AKHIR



Disusun Oleh :

Nama : Edo Setya Noorseta

No. Mahasiswa : 17525056

NIRM : 2017023611

Yogyakarta, 8 Februari 2022

Pembimbing I,

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Yustiasih Purwaningrum', is written over the watermark logo.

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

Lembar Pengesahan Dosen Penguji

Pengaruh Variasi Fluks Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Pada Hasil Sambungan Las Mig Baja AISI 1018

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Edo Setya Noorseta

No. Mahasiswa : 17525056

NIRM : 2017023611

Tim Penguji

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

Ketua

Tanggal : 24 Februari 2022

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

Anggota 1

Tanggal : 24 Februari 2022

Donny Suryawan, S.T., M.Eng.

Anggota 2

Tanggal : 24 Februari 2022

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Eng. Risdiyono, S.T., M.Eng.

Halaman Persembahan

.....*Best thank you*

My Lord God Allah SWT for accompanying me in sadness, happiness and always hear my pray

My prophet Muhaammad SAW for bringing mankind from the dark age to this bright age

Dearest parents who always pray for my success and support me then i can feel the miracle

My sister and brother who always annoying me but i love them

*My second parents in Kaliurang who always give me many story of the struggle
As student*

My friend for helping me to listen my complaint when i have a lot of problem

Mr. and Mrs. Lecturers, supervisors and examiners for giving me very valuable lessons when studying at Mechanical Engineering, Islamic University of Indonesia

Me for have been patiently waiting and fighting for the harshness of this life

Halaman Motto

"Dream as if you will live forever. Live as if you are going to die today"

- James Dean -

Life is like a bicycle. To stay balanced, you have to keep moving

-Albert Einstein-

Do my best, so that I won't blame myself for everything.

- Magdalena Neuner -

الجمعة المباركة
الاستاذة الاندونيسية

Kata Pengantar

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarokatuh

Alhamdulillah puji dan syukur kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Shalawat serta salam yang selalu tercurahkan kepada Nabi besar kita Muhammad SAW yang telah menuntun kita dari zaman jahiliyah dan semoga kita semua mendapatkan syafa'atnya di hari akhir. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi syarat dalam menyelesaikan studi strata-1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.


Dalam penulisan skripsi ini, penulis selalu mendapatkan bimbingan dari banyak pihak. Oleh karena penulis mengucapkan terima kasih atas semua bantuannya baik langsung maupun tidak langsung, khususnya kepada :

1. Allah SWT, yang telah memberikan segalanya kepada penulis dan Nabi Muhammad SAW juga segenap keluarga dan para sahabat.
2. Kedua orang tua, Ayah dan Ibu serta Kakak, dan Adik yang selalu memberikan semangat, dukungan dan doa kepada penulis .
3. Bapak Dr. Eng. Risdiyono, S,T ., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
4. Ibu Yustiasih Purwaningrum, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing penulis.
5. Seluruh dosen dan karyawan di lingkungan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia. Terimakasih atas kerjasama yang telah diberikan kepada penulis.
6. Pak Lilik selaku pembimbing dalam melakukan pengujian material di Laboratorium Pengujian Material D3 Teknik Mesin UGM.
7. Daffa Rizal Firmansyah selaku rekan seperjuangan dalam penelitian ini.
8. Teman-teman dari berbagai macam kalangan yang sudah sangat baik terhadap penulis, yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini penulis meminta maaf apabila terdapat keterbatasan, kesalahan, dan kekeliruan. Penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan penyusunan laporan berikutnya. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan juga untuk orang yang membaca.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 8 Februari 2022



Edo Setya Noorseta
NIM : 17525056



Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh variasi fluks pada sambungan las MIG terhadap sifat fisik dan mekanik. Penelitian ini menggunakan baja AISI 1018 yang mengandung unsur 0,01736% C, 0,6954% Mn, 98,27%, dan 0,0137 Cu. Pengelasan menggunakan las Metal Inert Gas (MIG) dengan gas pelindung campuran (CO_2 50% dan Argon 50%). Pengelasan dilakukan menggunakan metode semiauto dimana pengelasan dilakukan diatas bed mesin bubut dengan menggunakan jig yang bergerak sedangkan spesimen dan busur terkunci pada jig penyangga. Terdapat 4 spesimen yang akan di las diantaranya adalah raw (tanpa fluks) dan 3 spesimen yang menggunakan fluks (ZnO , Al_2O_3 , dan SiO_2). Pengelasan spesimen fluks dilakukan dengan melapisi cairan fluks yaitu berupa campuran fluks dan aseton pada logam sebelum dilakukan pengelasan diarea sambungan. Selanjutnya spesimen akan dilakukan pengujian dye penetrant, kerataan, komposisi, tarik, bending, impak, kekerasan, dan korosi. Dari hasil uji kerataan spesimen nilai kerataan terbaik didapatkan oleh spesimen Al_2O_3 sebesar 0,56 mm Terjadi penambahan unsur C dengan nilai 0,1305% pada spesimen Al_2O_3 yang merupakan nilai tertinggi dibandingkan dengan spesimen yang lain. Pada hasil foto mikro semua spesimen pada daerah las terdapat struktur acicular ferrite dimana struktur ini dapat menambah ketangguhan material. Dari hasil pengujian tarik nilai tegangan pada spesimen ZnO memiliki nilai tertinggi sebesar 400,8 Mpa. Sedangkan dari hasil uji bending didapatkan bahwa spesimen Al_2O_3 memiliki tegangan tertinggi sebesar 776 Mpa. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa spesimen SiO_2 memiliki nilai yang tinggi pada uji impak dan kekerasan sebesar 0,45 J/mm^2 dan 198,66 HVN. Spesimen yang digunakan memiliki ketahanan korosi yang baik.

kata kunci : las MIG, fluks, baja AISI 1018

ABSTRACT

The purpose of this study was to determine how much influence flux variations in MIG welded joints on physical and mechanical properties. This study used AISI 1018 steel containing elements of 0.01736% C, 0.6954% Mn, 98.27%, and 0.0137 Cu. Using Metal Inert Gas (MIG) welding with mixed gas shielding (CO₂ 50% and Argon 50%) and semi-automatic method where welding is carried out on a lathe using a moving jig while the specimen and are locked on the support jig. There are 4 specimens to be welded including raw (without flux) and 3 specimens using flux (ZnO, Al₂O₃, and SiO₂). Welding of flux specimens is done by coating the flux liquid, which is a mixture of flux and acetone on the metal before welding in the joint area. Furthermore, the specimen will be tested for dye penetrant test, flatness, composition, tensile, bending, impact, hardness, and corrosion. From the results of the evenness test of the specimen, the best average value was obtained by the Al₂O₃ specimen of 0.56 mm. The addition of element C with a value of 0.1305% in the Al₂O₃ specimen was the highest value compared to other specimens. In the results of micro photos, all specimens in the weld area have accicular ferrite and widmanstatten ferrite structures where these structures can increase the toughness of the material. From the results of the tensile test, the stress value on the ZnO specimen has the highest of 400.8 Mpa. Meanwhile, from the bending test results, it was found that the Al₂O₃ specimen had the highest stress of 776 Mpa. The test results indicate that the SiO₂ specimen has a high value in the impact and hardness test of 0.45 J/mm² and 198.66 HVN. The specimens used have good corrosion resistance.

Keyword : MIG, flux, AISI 1018

Daftar Isi

Halaman Judul.....	i
Pernyataan Keaslian	ii
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing.....	iii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji	iv
Halaman Persembahan	v
Halaman Motto.....	vi
Kata Pengantar	vii
Abstrak	ix
Daftar Isi.....	xi
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 atau Perancangan.....	3
1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
Bab 2 Tinjauan Pustaka	4
2.1 Kajian Pustaka.....	4
2.2 Dasar Teori	6
2.2.1 Pengelasan.....	6
2.2.2 Pengelasan GMAW (<i>Gas Metal Arc Welding</i>).....	7
2.2.3 Pengelasan MIG (<i>Metal Inert Gas</i>).....	8
2.2.4 Fluks.....	9
2.2.5 Baja	10
2.2.6 Pengujian Tarik	13
2.2.7 Pengujian <i>Bending</i>	15
2.2.8 Pengujian Impak.....	16
2.2.9 Pengujian <i>Vickers Mikrohardness</i>	17
2.2.10 Pengamatan Makro Mikro.....	18

2.2.11	Pengujian Kerataan	20
2.2.12	Pengujian Dye Penetrant	20
2.2.13	Pengujian Komposisi Kimia	20
2.2.14	Pengujian Korosi	21
Bab 3	Metode Penelitian	22
3.1	Alur Penelitian	22
3.2	Peralatan dan Bahan	23
3.3	Proses Persiapan Spesimen	29
3.4	Proses Pengelasan	30
3.5	Pengujian <i>Dye-Penetrant</i>	31
3.6	Pengujian Kerataan	31
3.7	Pengujian Komposisi Kimia	32
3.8	Pengujian Korosi	32
3.9	Pengujian Tarik	32
3.10	Pengujian Bending	33
3.11	Pengujian Impak	34
3.12	Pengujian Kekerasan	35
3.13	Pengamatan Makro-Mikro	36
Bab 4	Hasil dan Pembahasan	37
4.1	Pengujian <i>Dye Penetrant</i>	37
4.2	Pengujian Kerataan	38
4.3	Uji Komposisi Kimia	41
4.4	Pengujian Metallografi	43
4.5	Uji Tarik	46
4.6	Uji Bending	48
4.7	Uji Impak	50
4.8	Uji <i>Vickers Mikrohardness</i>	52
4.9	Uji Korosi	55
Bab 5	Penutup	57
5.1	Kesimpulan	57
5.2	Saran	58
	DAFTAR PUSTAKA	59
	LAMPIRAN	62

Daftar Tabel

Tabel 2. 1 Klasifikasi Baja	11
Tabel 2. 2 Standar Spesimen (Budiyanto & Handono, 2020).....	14
Tabel 3. 1 Tabel alat dan Fungsi	23
Tabel 3. 2 Bahan yang digunakan	27
Tabel 3. 3 Parameter Pengelasan MIG.....	30
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Dye Penetrant	37
Tabel 4. 2 Tabel Komposisi Baja.....	41
Tabel 4. 3 Tabel Komposisi Daerah Las	42
Tabel 4. 4 Hasil Uji Struktur Makro	43
Tabel 4. 5 Hasil Uji Struktur Mikro	45
Tabel 4. 6 Nilai Kekerasan Spesimen	54
Tabel 4. 7 Hasil pengukuran berat	55
Tabel 4. 8 Hasil Laju Korosi	56
Tabel 4. 9 Standar laju korosi material (Fontana, 1987).....	56



Daftar Gambar

Gambar 2. 1 Daerah Zona Pengelasan	6
Gambar 2. 2 Prinsip Pengelasan GMAW (Agus & Pramono, 2021).....	7
Gambar 2. 3 Komponen Las MIG (Agus & Pramono, 2021).....	8
Gambar 2. 4 Diagram kurva tegangan regangan.....	14
Gambar 2. 5 Three point bend dan Four point bend (Nagler, 2019).....	15
Gambar 2. 6 Face bend dan Root bend (Rampaul, 2003)	15
Gambar 2. 7 Alat Uji Impak (Faudree et al., 2018)	16
Gambar 2. 8 Metode Izod dan Charpy (Manahan & Siewert, 2000)	16
Gambar 2. 9 Indentor Vickers Microhardness (Mageto, 2003).....	18
Gambar 2. 10 Tipe bekas indentasi (a) sempurna, (b) bantal jarum, (c) tong.....	18
Gambar 2. 11 Mikroskop Metallografi	19
Gambar 3. 1 Diagram Alur Penelitian.....	22
Gambar 3. 2 Pemotongan Spesimen dengan Metal Shearing Machine	29
Gambar 3. 3 Welding Procedure Specification AWS D1.1	29
Gambar 3. 4 Proses Pengelasan Semiauto	30
Gambar 3. 5 Pengujian Kerataan	31
Gambar 3. 6 Spesimen Standar Pengujian Tarik JIZ Z 2201 (JSA, 1981)	32
Gambar 3. 37 Spesimen Uji Bending JIS Z 2204 (JSA, 1981).....	33
Gambar 3. 38 Three Point Bend JIS Z 2204 (JSA, 1981).....	33
Gambar 3. 9 Spesimen Uji Impak JIS Z 2202 (JSA, 1981)	34
Gambar 3. 10 Alat Uji Mikro Vickers HVM V3	35
Gambar 3. 11 Mesin Gerinda Poles Mopao 2D.....	36
Gambar 3. 12 Preparat Spesimen Uji dan Mikroskop SEM	36
Gambar 4. 1 Grafik 3D Spesimen Tanpa Fluks	38
Gambar 4. 2 Grafik 3D Spesimen Fluks ZnO.....	39
Gambar 4. 3 Grafik 3D Spesimen Fluks Al ₂ O ₃	39
Gambar 4. 4 Grafik 3D Spesimen Fluks SiO ₂	39
Gambar 4. 5 Grafik Tegangan Pengujian Tarik	47
Gambar 4. 6 Grafik Regangan Pengujian Tarik.....	47
Gambar 4. 7 Grafik Tegangan Bending	49

Gambar 4. 9 Grafik Nilai Harga Impak 51
Gambar 4. 10 Bekas pembebanan pada spesimen Raw 52
Gambar 4. 11 Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan..... 53
Gambar 4. 12 Proses Pengujian Korosi..... 55



Daftar Notasi

GMAW	: Gas Metal Arc Welding
MIG	: Metal Inert Gas
HAZ	: Heat Affected Zone
HVN	: Hardness Vickers Numbers



Bab 1

Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Pengelasan merupakan salah satu metode yang paling populer dalam proses penyambungan logam. Pada prinsipnya pengelasan adalah proses penyambungan logam dimana logam pengisi memiliki titik suhu likuidus yang lebih rendah daripada titik suhu solidus logam induk (ISO, 2005). Dalam penggunaannya, pengelasan sering ditemui dalam industri yang menggunakan logam didalamnya seperti pada industri bidang konstruksi.

Pada industri konstruksi, pengelasan sering digunakan untuk perbaikan dan pemeliharaan pada alat-alat yang terbuat dari logam seperti penyambungan permanen, penambalan keretakan, dan penggantian bagian alat yang sudah rusak. Penggantian bagian alat yang rusak harus sesuai dengan material yang digantikan. Material yang sering digunakan adalah baja. Baja adalah logam paduan dengan besi sebagai unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Baja dapat dikategorikan 5 jenis berdasarkan nilai kandungan karbonnya yang mempengaruhi kemampuan bahan untuk dilas (Ginzbug & Robert, 2000).

Begitupula dengan pengelasan. Terdapat berbagai macam pengelasan yang saat ini telah berkembang dan digunakan dalam berbagai bidang industri. Salah satunya adalah pengelasan MIG. Pengelasan MIG adalah proses pengelasan menggunakan elektroda kawat (*filler*) dan gas pelindung inert yang dipasok eksternal secara kontinyu (Mesler, 2004). Elektroda pada las MIG berfungsi ganda yaitu sebagai busur las dan sebagai logam pengisi sambungan las. Terdapat beberapa macam gas yang digunakan pada las MIG yaitu karbon dioksida, argon dan helium.

Pengelasan MIG saat ini adalah pengelasan yang sering digunakan di berbagai industri khususnya dibidang konstruksi. Hal ini dikarenakan sensor torch yang mudah digunakan dan dapat diimplementasikan untuk aplikasi pengelasan yang berbeda (Weman & Linden, 2006).

Dengan seringnya penggunaan pengelasan MIG diberbagai industri terutama pada bidang konstruksi dimana memerlukan kekuatan sambungan las yang tinggi, maka diperlukan peningkatan kualitas kekuatan sambungan las daripada sebelumnya.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka penulis mempunyai tujuan untuk meneliti pengaruh variasi flux pada sambungan las MIG baja terhadap sifat fisik dan mekanik sehingga didapatkan flux manakah yang kekuatannya paling baik.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah ditulis, maka penulis merumuskan masalah pada penelitian ini yaitu bagaimana pengaruh variasi flux terhadap sambungan pengelasan MIG baja AISI 1018 terhadap sifat fisik dan mekanik dengan menggunakan metode pengelasan *semiauto*.

1.3 Batasan Masalah

Adapun Batasan permasalahan pada topik tugas akhir ini agar tidak menyimpang dan terarah sebagai berikut :

1. Material yang digunakan adalah Baja AISI 1018.
2. Pengelasan dilakukan dengan menggunakan las MIG dengan menggunakan logam *filler* besi berdiameter 0,9 mm, tegangan 18-22 Volt, dan 90-110 Ampere.
3. Gas yang digunakan adalah gas campuran yaitu 50% CO₂ dan 50% Argon.
4. Pengelasan dilakukan dengan metode *semiauto* dimana benda bergerak diatas bed mesin bubut dan torch terkunci pada meja.
5. Pengelasan dilakukan dengan kecepatan 51,7 mm/s.
6. Pengujian sifat fisik berupa pengujian kerataan, pengujian *dye-penetrant*, pengamatan mikro- makro dan pengujian korosi. Pengujian sifat mekanik berupa, pengujian tarik, pengujian *bending*, pengujian impak, dan pengujian *Vickers mikro hardness*.

1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disampaikan maka penulis menentukan tujuan dari penelitian yaitu untuk mengetahui pengaruh variasi flux pada hasil sambungan pengelasan MIG pada sifat fisik dan mekanik hasil pengelasan dari dilakukannya uji kerataan, uji *dye-penetrant*, pengamatan struktur mikro-makro, uji tarik, uji *bending*, uji dampak, dan uji kekerasan.

1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini yaitu :

1. Penelitian ini memiliki manfaat untuk mengetahui pengaruh variasi jenis flux terhadap sifat fisik dan mekanik hasil pengelasan MIG pada baja AISI 1018 dengan metode semiauto.
2. Penelitian ini memiliki manfaat untuk mengetahui jenis flux yang paling baik untuk meningkatkan hasil pengelasan.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini diuraikan kedalam lima bab yang disusun berurutan untuk mempermudah dalam pembahasannya. Bab I berisikan latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan. Bab II berisikan kajian pustaka dan teori-teori yang melandasi penelitian tugas akhir ini. Bab III berisikan alur penelitian, tahapan-tahapan penelitian, serta alat dan bahan yang digunakan selama penelitian. Bab IV berisikan hasil dari penelitian yang telah dianalisis serta dilakukan pembahasan dari hasil-hasil tersebut. Bab V berisikan kesimpulan serta saran untuk penelitian tugas akhir ini.

Bab 2

Tinjauan Pustaka

2.1 Kajian Pustaka

Dari beberapa kajian pustaka dari penelitian-penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, berikut kajian pustaka yang telah penulis pelajari sebagai dasar bahan acuan penelitian kali ini.

Pada tahun 2021, (Madavi et al., 2021) melakukan penelitian yaitu pengaruh *fluks* oksida dalam pengelasan *metal inert gas* (MIG). Pengelasan dilakukan pada pelat tebal 5 mm dengan tiga variasi fluks yaitu ZnO, Al₂O₃, dan SiO₂. Hasil dari penelitian ini didapatkan penetrasi pengelasan meningkat 20,62% lebih tinggi ketika *fluks* oksida diberikan serta kekuatan tarik maksimal meningkat 10,80% dibandingkan tanpa pengelasan *fluks* karena pembentukan struktur butir yang menjadi lebih baik.

Penelitian ditulis oleh (Chakraborty et al., 2021) yaitu pengelasan *metal inert gas* (MIG) dilakukan pada spesimen baja tahan karat austenitik (SS-202) dengan tebal 6,15 mm. Variasi *fluks* yang digunakan yaitu ammonium ferro-sulfat (NH₄)₂(FeSO₄)₂, sodium bi-karbonat (NaHCO₃), ammonium karbonat (NH₄)₂CO₃) yang dicampur dengan spiritus. Disimpulkan bahwa terjadi kenaikan penetrasi tertinggi pada *fluks* ammonium ferro-sulfate sebesar 2,81 mm dan nilai kekerasan tertinggi pada ammonium carbonat sebesar 595,74 HVN yang selaras dengan hasil pengamatan mikrostruktur dari zona fusi dimana terdapat lebih banyak butiran ferrit.

Penelitian selanjutnya ditulis oleh (Baghel et al., 2021) menuliskan tentang penyelidikan efek dari lima *fluks* yaitu, Al₂(SO₄)₃, NaOH, Na₂CO₃, NaHCO₃, dan boraks pada pengelasan MIG pada baja AISI 1018. Metode yang digunakan adalah pengelasan MIG dilakukan dengan dan tanpa fluks yang diaplikasikan pada pelat AISI 1018 dengan tebal 6 mm. Pemberian fluks borax terbukti dapat meningkatkan kedalaman penetrasi tertinggi sebesar 2 mm pada daerah las dibandingkan dengan tanpa menggunakan fluks. Pada pengamatan struktur mikro, penggunaan fluks dapat mengurangi nilai aspek rasio ukuran butiran pada daerah las namun dapat meningkatkan aspek rasio pada daerah HAZ sebesar 0.5

Pada jurnal (Varbai et al., 2017) penulis melakukan penelitian terhadap pengaruh efek fluks pada pengelasan GMAW dengan menggunakan gas pelindung campuran (82% Ar + 18% CO₂). Delapan jenis variasi fluks yang berbeda digunakan oleh penulis yaitu NaHCO₃, MgCO₃, Fe₂O₃, Al₂O₃, TiO₂, CuO, MnO, 20% SiO₂, 40% SiO₂, 60% SiO₂, 80% SiO₂, dan SiO₂. Hasilnya penggunaan fluks dapat mengubah sedikit geometri permukaan las. Perubahan geometri las tidak mempengaruhi kekerasan atau struktur mikro sambungan, baik dalam lasan dan di HAZ. Kekerasan tertinggi terjadi pada spesimen fluks MnO yaitu sebesar 214 HVN pada daerah las dimana hal ini selaras dengan pengamatan struktur mikro yang terdapat banyak butiran ferrit.

Penelitian yang dilakukan oleh (Huang, 2010) yaitu tentang pengaruh pemberian tiga jenis fluks (Fe₂O₃, SiO₂, MgCO₃) pada pengelasan GMAW baja AISI 1020. Analisis dilakukan pada tiga arus pengelasan yang berbeda (180 A, 200 A, 220 A) dengan menggunakan gas pelindung argon. Hasilnya fluks yang diberikan (Fe₂O₃, SiO₂ dan MgCO₃) pada area logam las membuktikan kedalaman penetrasi meningkat sekitar 50%, dan juga sifat mekanik meningkat sebesar 3% dibandingkan dengan lasan yang dibuat tanpa bahan fluks.

Dari seluruh jurnal penelitian diatas tentang pengelasan MIG yaitu pengaruh variasi *fluks* pada pengelasan. Penulis dalam penelitian ini akan mencoba melakukan penyambungan pada dua bilah plat dengan menggunakan pengelasan MIG menggunakan metode pengelasan *semiauto*. Parameter konstan berupa gas pelindung campuran (argon 50% dan CO₂ 50%), tegangan 18-22 Volt, 90-110 Ampere, dan kecepatan pengelasan 51,7 mm/s . Selanjutnya spesimen dilakukan pengujian untuk mengetahui sifat fisik berupa pengujian *dye-penetrant*, pengujian mikro-makro dan pengujian korosi. Pengujian Tarik, bending, dan *Vickers microhardness* juga dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik hasil sambungan pengelasan MIG.

2.2 Dasar Teori

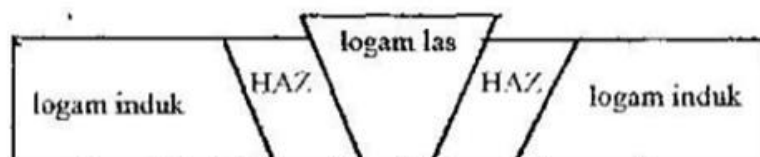
2.2.1 Pengelasan

Dalam konteks yang paling luas pengelasan adalah sebuah proses dimana material bahan dasar dari jenis atau kelas yang sama yang digabungkan melalui perlakuan panas dan penekanan sehingga menghasilkan suatu pembentukan ikatan kimia. Terdapat beberapa kelebihan dan kekurangan dalam proses pengelasan. Kelebihan dari pengelasan yaitu mempunyai efisiensi sambungan yang baik, mempunyai kekuatan yang tinggi, dapat dilakukan secara manual dan otomatis dan dapat digunakan pada aplikasi yang luas. Disisi lain pengelasan memiliki kekurangan yaitu diantaranya adalah kualitas logam las lebih rendah dibandingkan dengan logam induk, terjadi distorsi dan perubahan bentuk akibat pemanasan dan pendinginan yang berlangsung cepat, serta masalah pembongkaran yang rumit saat sambungan las tidak diperlukan

Parameter pengelasan mempunyai peranan penting terhadap hasil sambungan pengelasan. Pengaturan voltase dan ampere merupakan inti dari pengaturan panas yang digunakan saat pengelasan. Panas yang dihasilkan akan mempengaruhi hasil pengelasan dimana semakin panas akan menyebabkan material mengalami distorsi sedangkan apabila panas yang digunakan kurang maka las yang dihasilkan akan tidak memiliki penetrasi yang dalam.

Terdapat 3 daerah yang terbentuk pada hasil pengelasan diantaranya adalah logam induk, daerah HAZ dan daerah logam las.

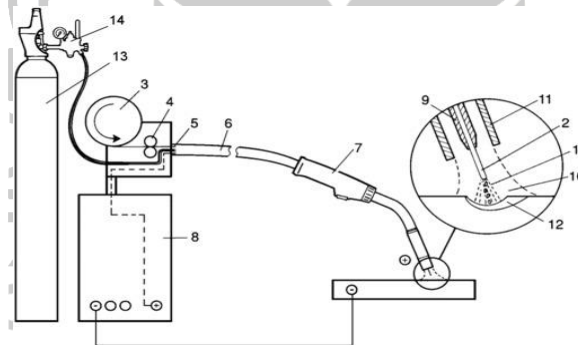
Daerah logam induk merupakan daerah yang terpengaruh dari panas hasil las namun pada logam induk tidak terjadi perubahan struktur mikro akibat dari panas hasil las. Daerah HAZ merupakan daerah yang terpengaruh panas pengelasan dimana terjadi perubahan struktur mikro pada logam. Selanjutnya daerah logam las merupakan daerah dimana terjadi perubahan struktur mikro yang paling tinggi diakibatkan dari panas penambahan logam pengisi yang melebihi titik kritis.



Gambar 2. 1 Daerah Zona Pengelasan

2.2.2 Pengelasan GMAW (*Gas Metal Arc Welding*)

Gas metal arc welding (GMAW) atau biasa disebut MIG yaitu pengelasan yang menggunakan *shielding gas*. *Shielding gas* memiliki fungsi sebagai pelindung logam las saat proses pengelasan berlangsung seperti gas atmosfer, oksigen dan nitrogen yang dapat mengurangi kualitas las atau mempersulit penggunaan proses pengelasan seperti porositas dan percikan yang berlebih. Penggunaan gas sebagai pelindung biasanya adalah gas yang tidak cepat beraksi seperti gas argon (Ar), gas Helium (He), ataupun campuran keduanya. Prinsip pengelasan GMAW adalah kawat logam dimasukkan melalui *torch* dan dilebur dalam busur (Weman & Linden, 2006). Kawat las berupa gulungan digerakkan oleh motor listrik yang dapat diatur kecepatannya dimana kecepatan mempengaruhi dari panas yang dihasilkan pada proses pengelasan. Kawat pada las GMAW berfungsi sebagai elektroda pembawa arus dan sebagai logam pengisi logam las.

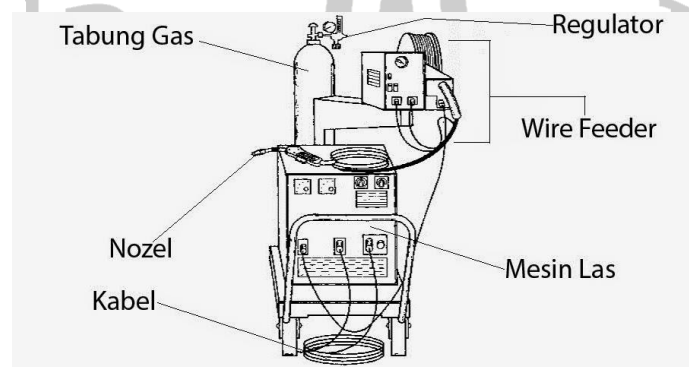


Gambar 2. 2 Prinsip Pengelasan GMAW (Agus & Pramono, 2021)

الجمعة الإسلامية الأندلسية

2.2.3 Pengelasan MIG (*Metal Inert Gas*)

Pengelasan gas inert logam (MIG) mengacu pada GMAW menggunakan gas inert. Gas yang digunakan MIG adalah gas mulia yang diantaranya adalah Argon (Ar), Helium (He) dan campuran argon murni atau argon helium. Helium meningkatkan masukan panas, yang mengkompensasi konduksi panas yang besar dalam baja, aluminium atau tembaga berdingding tebal. Argon juga menghasilkan profil penetrasi yang lebih sempit, yang berguna untuk penggunaan pada lasan *fillet* dan *butt*. Argon sering digunakan pada pengelasan logam non ferro seperti aluminium, magnesium, atau titanium dengan menggunakan kadar 100 persen Argon. Namun untuk meningkatkan kualitas las penggunaan gas campuran sering dilakukan. Campuran yang digunakan adalah Argon (Ar) dan CO₂ yaitu dengan kadar 75% Ar dan 25% CO₂. Campuran gas ini dapat membuat hasil las meningkat menjadi busur yang lebih stabil, mengurangi percikan las dan lasan yang lebih menarik secara visual (Ghosh et al., 2017). MIG dapat digunakan untuk pengelasan baja, aluminium, dan tembaga. Karena kawat pengisi diumpankan secara otomatis namun torch dikendalikan secara manual, pengelasan mig biasanya disebut sebagai metode semi otomatis. Pengelasan MIG diterapkan secara luas pada mobil, kereta api berkecepatan tinggi, dirgantara dan bidang lainnya, karena produktivitasnya yang tinggi, kecepatan tinggi, dan kualitas tinggi. (Weman & Linden, 2006) Berikut komponen dari las MIG.



Gambar 2. 3 Komponen Las MIG (Agus & Pramono, 2021)

Pengelasan MIG memiliki kelebihan diantaranya sebagai berikut :

1. Produktivitas tinggi dibandingkan dengan *Manual Metal Arc Welding*.
2. Masukan panas yang relatif rendah ke benda kerja.
3. Sangat mudah untuk diotomatisasi.

4. Dapat mengelas aluminium, magnesium, titanium.
5. Tidak perlu penggantian elektroda.
6. Hampir tidak ada terak.

Namun pengelasan MIG juga memiliki kekurangan diantaranya sebagai berikut:

1. Peralatan yang tidak ringkas atau portable.
2. Biaya yang lebih tinggi.
3. Aksesibilitas pada *torch* yang mungkin buruk pada pengelasan tertentu.

2.2.4 Fluks

Fluks pada pengelasan merupakan sebuah agen pemurni kimia sebagai pembersih pada material. Fluks sering digunakan dalam penyambungan logam dan metalurgi yang digunakan untuk mengikat perpaduan logam. Tujuan utama dari fluks las adalah untuk mencegah oksidasi bahan dasar dan bahan pengisi selama proses pengelasan.

Selama proses pengelasan, logam dasar dan bahan pengisi mengalami perubahan suhu yang signifikan dalam waktu yang sangat singkat. Logam yang dipanaskan dapat berinteraksi dengan udara di sekitarnya dan menyebabkan oksidasi, yang menciptakan lapisan oksida pada las, sehingga mengurangi kekuatan las. Selain mencegah pembentukan oksida, fluks las juga : menciptakan terak pelindung di atas logam cair, mengurangi percikan, dan mencegah pengerasan dengan memperlambat waktu pendinginan. Berikut adalah beberapa bahan flux :

1. Ammonia Chlorida
2. Zinc Chlorida
3. Hydrochloric acid
4. Borax

2.2.5 Baja

Baja merupakan paduan logam yang komponen utamanya adalah besi (Fe), dengan karbon sebagai material pengaloy utama. Karbon bekerja sebagai agen peneras, mencegah atom besi yang secara alami teratu dalam *lattice*, bergeser satu sama lain (Sari, 2018). Kadar besi (Fe) merupakan unsur yang paling banyak pada baja yaitu sebesar 97% hingga 99% dan karbon memiliki kandungan sebesar 0,2% hingga 2,1% yang menyatakan grade dari sebuah baja. Baja dengan peningkatan jumlah karbon dapat memperkeras dan memperkuat besi namun dapat membuat baja menjadi lebih rapuh. Namun selain besi (Fe) baja mempunyai kandungan lain seperti mangan (Mn), silicon (Si), tembaga (Cu), sulfur (S), dan fosfor (P) yang masing-masing memiliki jumlah yang terbatas pada setiap kandungan. Berdasarkan klasifikasinya baja dibedakan menjadi dua yaitu:

a. Baja Karbon (*Carbon Steel*)

Baja karbon adalah baja yang paduan utamanya adalah karbon. Baja karbon ini juga sering disebut sebagai baja karbon biasa. Baja karbon tidak hanya mengandung besi dan karbon. Baja karbon masih terdapat sejumlah unsur lain namun, masih dalam batas tertentu yang tidak banyak mempunyai pengaruh terhadap sifat baja (Sarippudin, 2021).

Kandungan unsur lain biasanya berasal dari ikatan yang berasal dari proses pembuatan, seperti mangan (Mn), silicon (Si), tembaga (Cu), sulfur (S), fosfor (P), dan lainnya dengan kadar kandungan yang sangat kecil. baja dengan kadar silicon (Si) kurang dari 0.5% dan mangan (Mn) kurang dari 0.8% dianggap sebagai baja karbon. Unsur tersebut sengaja ditambahkan dalam proses pembuatan baja sebagai *deoxidiser* untuk mengurangi pengaruh buruk dari beberapa unsur pengotoran. Dalam pembagiannya baja dapat diklasifikasikan dari tabel berikut :

Tabel 2. 1 Klasifikasi Baja
(Harsono, 2000; Okumura, 2000)

Jenis	Kelas	%C	σ_y (MPa)	σ_u (MPa)	Perpanjangan	HardBrinell	Penggunaan
Baja Karbon Rendah	Baja lunak khusus	0,08	18-28	32-36	40-30	95-100	Batang Kawat Plat tipis
	Baja sangat lunak	0.08-0.12	20-29	36-42	30-40	80-120	
	Baja Lunak	0.12-0.20	22-30	38-48	24-36	100-130	
Baja Karbon Sedang	Baja setengah lunak	0.20-0.30	24-36	44-55	22-32	112-145	Komponen mesin Konstruksi umum
	Baja Setengah keras	0.30-0.40	30-40	50-60	17-30	140-170	
Baja Karbon tinggi	Baja keras	0.40-0.50	34-46	58-70	14-26	160-200	Alat perkakas Rel Pegas Kawat piano
	Baja sangat keras	0.50-0.80	36-47	65-100	11-20	180-235	

- **Baja Karbon Rendah**

Baja karbon rendah tidak dapat dikeraskan dan memiliki kekuatan yang rendah. Tetapi disisi lain baja karbon rendah memiliki nilai keuletan yang tinggi, mudah dibentuk dan mudah dilakukan proses permesinan. Kandungan karbon yang terdapat pada baja karbon rendah adalah dibawah 0,2%. Aplikasi penggunaan baja karbon digunakan untuk kontruksi umum seperti rangka bangunan, baja tulangan, beton, rangka kendaraan, mur dan pipa.

- **Baja Karbon Sedang**

Baja karbon sedang merupakan baja yang tergolong kuat, keras dan dapat dikeraskan. Kandungan karbon pada baja karbon sedang berkisar 0,25 – 0,55%. Penggunaan baja karbon sedang biasanya digunakan untuk material yang membutuhkan kekutan dan ketangguhan yang tinggi seperti pada konstruksi mesin, poros, dan roda gigi.

- **Baja Karbon Tinggi**

Baja karbon tinggi memiliki sifat mekanik yang lebih kuat dan keras, namun ketangguhan dan keuletannya menjadi lebih rendah. Kandungan karbon pada baja karbon tinggi berkisar diatas 0,55%. Pada baja karbon tinggi sering digunakan untuk perkakas yang membutuhkan ketahanan aus, seperti mata bor, roda gigi, dan *bearing* karena memiliki sifat yang sulit dipotong dan dilas.

b. Baja paduan

Baja paduan ini merupakan baja yang mempunyai unsur tertentu untuk mendapatkan sifat yang diinginkan sesuai dengan aplikasinya diantaranya yaitu meningkatkan elastisitas, mampu mesin, dan ketahanan terhadap fatik serta korosi Unsur yang sering ditambahkan adalah Ni, Cr, Mo, Mn, dan Ti. Klasifikasi baja paduan dibedakan menjadi dua, yaitu *low alloy steel* dan *high alloy steel*.

- **Baja Paduan Rendah**

Low alloy steel merupakan jenis baja paduan dengan kadar unsur paduan yang rendah, kurang dari 10%. Baja jenis ini memiliki kekuatan dan ketangguhan yang tinggi dibanding dengan baja karbon dengan kadar karbon yang sama. Aplikasi penggunaan baja paduan rendah yaitu sebagai bahan konstruksi, bahan kapal, dan ketel uap(Sarippudin, 2021).

- **Baja Paduan Tinggi**

High alloy steel adalah jenis baja paduan dengan kadar unsur paduan yang tinggi biasanya diatas 10%. Baja paduan tinggi terdapat beberapa jenis yaitu baja perkakas, baja tahan karat, baja tahan panas, dan baja mangan(Sarippudin, 2021).

2.2.6 Pengujian Tarik

Pengujian tarik adalah pengujian suatu material dengan cara memberikan beban gaya yang berlawanan arah dalam satu garis lurus (Budiyanto & Handono, 2020). Pengujian Tarik digunakan sebagai tolak ukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara lambat. Pengujian tarik dapat menunjukkan perilaku bahan selama proses pembebanan yaitu tegangan tarik (σ), regangan (ϵ), dan modulus elastisitas.

Tegangan tarik yang digunakan pada kurva adalah tegangan rata-rata dari pengujian tarik yang diperoleh dengan membagi beban dengan luas penampang benda uji.

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

Dengan :

σ : Tegangan (N/m²)

F : Beban (N)

A : Luas penampang (m²)

Regangan yang digunakan untuk kurva tegangan regangan adalah besarnya penambahan panjang yang dibagi dengan panjang awal benda uji.

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0} \quad (2.2)$$

Dengan :

ϵ : Regangan (%)

ΔL : Penambahan panjang (m)

L_0 : Panjang awal (m)

Hubungan antara tegangan regangan disebut sebagai modulus elastisitas yang dirumuskan sebagai berikut :

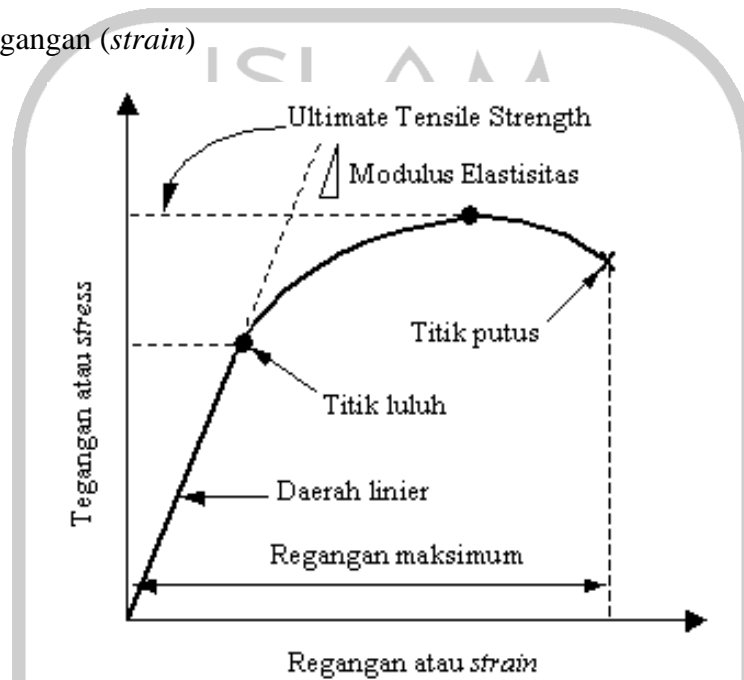
$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2.3)$$

Dengan :

E : Modulus Elastisitas

σ : Tegangan (*stress*)

ε : Regangan (*strain*)



Gambar 2. 4 Diagram kurva tegangan regangan (Budiyanto & Handono, 2020)

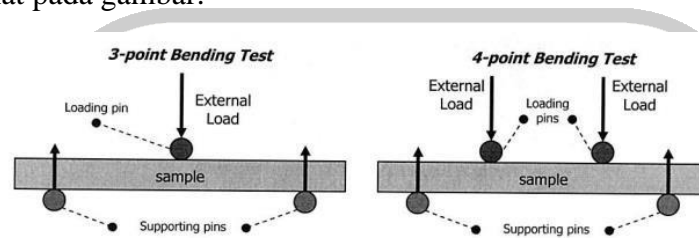
Terdapat beberapa standar yang sering digunakan seperti (ISO, ASTM, dan JIS) dibawah ini merupakan standar yang sering digunakan pada pengujian tarik.

Tabel 2. 2 Standar Spesimen (Budiyanto & Handono, 2020)

Standar Spesimen	Peruntukan
ASTM D638	Spesimen Uji Tarik bahan plastik
ISO 527-2	Spesimen Uji Tarik bahan plastik
ASTM D412	Spesimen Uji Tarik bahan elastomer
ISO 37	Spesimen Uji Tarik bahan elastomer
JIS 2201	Spesimen Uji Tarik material logam
ASTM E8/E8M	Spesimen Uji Tarik material logam
ISO 6892	Spesimen Uji Tarik material logam

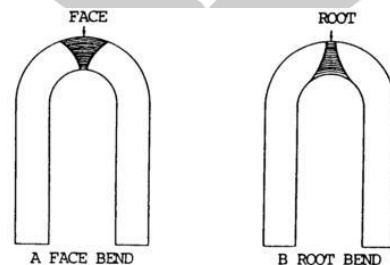
2.2.7 Pengujian Bending

Pengujian bending atau pengujian tekan merupakan pengujian untuk mengetahui besarnya kekuatan lentur dari sebuah material (Budiyanto & Handono, 2020). Pengujian dilakukan dengan pemberian beban secara terus-menerus secara perlahan sampai material mencapai titik leleh. Dalam pengujian bending terdapat 2 metode yang digunakan yaitu *three point bending* dan *four point bending* yang dapat dilihat pada gambar.



Gambar 2. 5 *Three point bend* dan *Four point bend* (Nagler, 2019)

Pada pengujian bending pengelasan terdapat dua metode yang digunakan untuk mengetahui cacat pada hasil pengelasan yaitu *face bend* dan *root bend*. *Face bend* adalah beban yang berada pada akar las dan *root bend* adalah beban yang berada pada sisi muka las.



Gambar 2. 6 *Face bend* dan *Root bend* (Rampaul, 2003)

Persamaan tegangan bending dapat dihitung sebagai berikut :

$$s = \frac{3 \times P \times L}{2 \times b \times d^2} \quad (2.4)$$

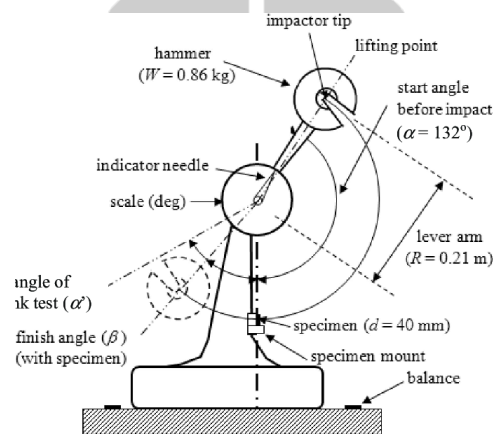
Dengan :

- S : Tegangan (Mpa)
- P : Beban (N)
- L : Panjang (m)
- b : Lebar (m)
- d : Tebal (m)

2.2.8 Pengujian Impak

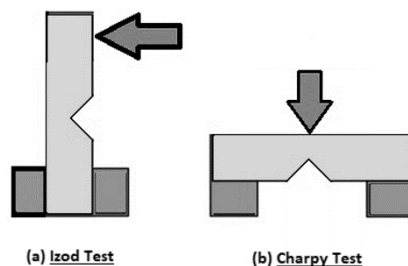
Pengujian impak adalah pengujian yang menentukan jumlah energi yang diserap oleh material selama patah. Pengujian dilakukan dengan memberikan beban kejut pada material. Prinsip dari pengujian impak yaitu material uji menyerap energi potensial pada beban pendulum yang berayun dengan sudut ketinggian tertentu.

Pada pengujian impak, banyaknya energi yang diserap oleh bahan untuk terjadinya perpatahan merupakan ukuran ketahanan impak atau ketangguhan material tersebut (Budiyanto & Handono, 2020). Sifat keuletan bahan dapat diketahui setelah melakukan pengujian impak yaitu dengan melihat hasil bentuk material. Jika material patah maka bahan tersebut termasuk bahan yang getas dan jika material tidak patah maka material tersebut termasuk bahan yang ulet.



Gambar 2. 7 Alat Uji Impak (Faudree et al., 2018)

Dalam pengujian impak terdapat dua metode yang digunakan yaitu metode izod dan metode charpy. Metode izod adalah arah pembebanan searah dengan takikan dan posisi spesimen uji pada tumpuan dengan posisi vertikal mendatar sedangkan metode charpy adalah arah pembebanan berlawanan dengan arah takikan dan posisi spesimen uji pada tumpuan dengan posisi horizontal mendatar.



Gambar 2. 8 Metode Izod dan Charpy (Manahan & Siewert, 2000)

Untuk menghitung energi yang diperlukan (W) saat mematahkan benda uji dirumuskan sebagai berikut :

$$W = m \times g \times r (\cos \beta - \cos \alpha) \quad (2.5)$$

Dengan :

W : Energi yang diperlukan untuk mematahkan benda (kgf.m/)

G : Berat pendulum (kgf)

L : Jarak lengan pengayun (m)

Cos α : Sudut posisi awal pendulum

Cos β : Sudut posisi akhir pendulum

Untuk harga ketangguhan impact (K) dirumuskan sebagai berikut :

$$K = \frac{W}{A_0} \quad (2.6)$$

Dengan :

K : Harga ketangguhan impact (kgf.m/mm²)

W : Energi yang diperlukan untuk mematahkan benda (kgf.m/)

A₀ : Luas penampang bawah takikan (mm²)

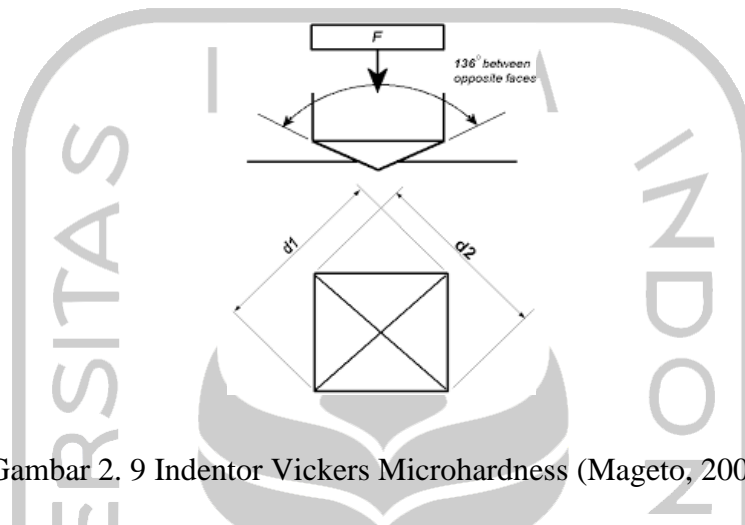
2.2.9 Pengujian Vickers Mikrohardness

Pengujian vickers menggunakan indentor berbahan intan dan memiliki bentuk piramida bujur sangkar dengan sudut 136°. Indentor selanjutnya ditekan pada benda uji dalam waktu 10-30 detik. Setelah penekanan lalu diamati menggunakan mikroskop yang kemudian diukur dari bekas penekanan yang berbentuk diagonal. Nilai kekerasan vickers dapat dihitung dengan rumus :

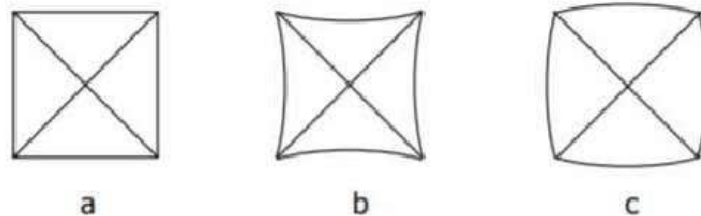
$$HV = \frac{(d1 \times d2)}{d \text{ rata-rata}^2} \quad (2.7)$$

Dengan :

- F : Gaya tekan (Kg)
- d : Diagonal tekan rata-rata (mm)
- α : Sudut puncak (136°)



Gambar 2. 9 Indentor Vickers Microhardness (Mageto, 2003)



Gambar 2. 10 Tipe bekas indentasi (a) sempurna, (b) bantal jarum, (c) tong

(Mageto, 2003)

2.2.10 Pengamatan Makro Mikro

Metallografi merupakan bidang ilmu yang mempelajari karakteristik mikro suatu logam dan paduannya serta hubungannya dengan sifat logam. Pengamatan dilakukan untuk mendukung analisis sifat-sifat yang ada. Perubahan struktur pada logam akan terjadi apabila logam mengalami perlakuan fisik dan termal (Dieter, 1987).

Metallografi dapat digolongkan menjadi dua, yaitu pengamatan makro dan pengamatan mikro. Makro yaitu pengamatan yang dilakukan dengan perbesaran 10-100 kali dan mikro yaitu pengamatan yang dilakukan dengan perbesaran diatas 100 kali. Pengamatan dilakukan dengan menggunakan alat bantu berupa mikroskop *optic*, *Scanning Electron Microscope* (SEM), atau *Transmission Elektron Mikroscope* (TEM).



Gambar 2. 11 Mikroskop Metallografi

a. Pengujian Makro

Pengujian makro bertujuan untuk mengamati bentuk fisik dari sebuah material. Pada pengamatan makro material akan terlihat jenis perlakuan yang telah diberikan pada material. Perlakuan seperti pemanasan, penekanan, tempaan, dan gesekan dapat menyebabkan benda berubah bentuk. Pengamatan akan lebih jelas dengan menggunakan cairan etsa pada material yang berfungsi untuk mengikis bagian permukaan dengan menggunakan cairan asam seperti asam nitrat dan asam klorida

b. Pengujian Mikro

Pengujian mikro bertujuan untuk melihat perubahan struktur yang terjadi akibat perlakuan mekanis dan panas terhadap suatu benda. Penggunaan perbesaran yang besar pada mikroskop ditujukan agar dapat terlihat ukuran butir, arah dan susunan butir, dan fasa-fasa yang terbentuk. Perubahan yang terjadi pada struktur butir material akan menyebabkan perubahan sifat dari sebuah bahan tersebut.

2.2.11 Pengujian Kerataan

Pengujian kerataan bertujuan untuk mengukur tingkat kerataan pada permukaan material. Prinsip dari pengujian kerataan adalah mengukur tingkat kelengkungan pada setiap titik suatu material dengan menggunakan *dial indicator*. Pada setiap titik didapatkan data berupa angka yang ditunjukkan oleh *dial indicator* yang kemudian diolah menjadi sebuah gambaran permukaan.

2.2.12 Pengujian Dye Penetrant

Pengujian *dye penetrant* bertujuan untuk menunjukkan kegagalan pada permukaan material hasil las. Kegagalan dapat berupa slag, porositas, dan *undercut*. Prinsip dari *dye penetrant* adalah dengan cara menetrasi cacat terbuka pada permukaan hasil las. Langkah kerja yang dilakukan adalah membersihkan terlebih dahulu dengan menggunakan *cleaner*, kemudian pemberian cairan penetrant pada permukaan hasil las. Selanjutnya tunggu hingga kering, jika sudah kering bersihkan permukaan menggunakan *cleaner*. Terakhir berikan *developer* agar cacat yang ada pada permukaan akan mengembang berupa buih warna penetrant.

2.2.13 Pengujian Komposisi Kimia

Jumlah unsur suatu logam dapat diketahui dengan melakukan pengujian komposisi. Alat yang digunakan pada pengujian komposisi adalah *spectrometer* dimana prinsip alat ini mengukur panjang gelombang dan intensitas dari sumber cahaya yang ditembakkan kemudian diserap atau dipantulkan melalui sampel.

Untuk mengetahui sifat sifat mampu las baja, baja diukur dari komposisi kimia yang terdapat pada logam induk dengan menghitung *Carbon equivalent* (Cek). Dalam buku *Handbook of Structural Welding* (Lancaster, 1997) nilai (Cek) dapat dihitung dengan persamaan.

$$C_{ek} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cu+Ni}{15} + \frac{Cr+Mo+V}{5} \quad (2.8)$$

Nilai sifat mampu las pada baja memiliki nilai $C_{ek} < 0,4 - 0,5$.

2.2.14 Pengujian Korosi

Korosi adalah fenomena natural yang dapat disebut proses penghancuran material (Ahmad, 2006). Korosi didefinisikan sebagai interaksi antara logam dengan lingkungan baik itu berupa padat, cair dan gas yang mengarah pada kerusakan bertahap. Disisi lain korosi dapat diartikan sebagai pembusukan material oleh agen kimia atau agen biologi. Prinsip dari korosi yaitu terjadi oksidasi pada material sedangkan oksigen dan udara mengalami reduksi.

Dalam mendapatkan laju korosi digunakan metode kehilangan berat (weight loss) untuk mengetahui seberapa besar laju korosi pada suatu material. Laju korosi adalah kecepatan logam mengalami kehilangan berat persatuan luas dinyatakan dalam satuan *mmpy* (*millimeter per year*). Laju korosi dihitung dari seberapa besar material kehilangan berat setelah dilakukan perlakuan rendaman sesuai dengan standarnya. Besar laju korosi dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$\text{Laju Korosi(mmpy)} = \frac{k \times w}{D \times A \times T} \quad (2.6)$$

Dimana :

K : konstanta (8.76×10^4)

W : massa yang hilang (g)

D : massa jenis sampel uji (g/cm^3)

A : luas penampang sampel yang terendam (cm^2)

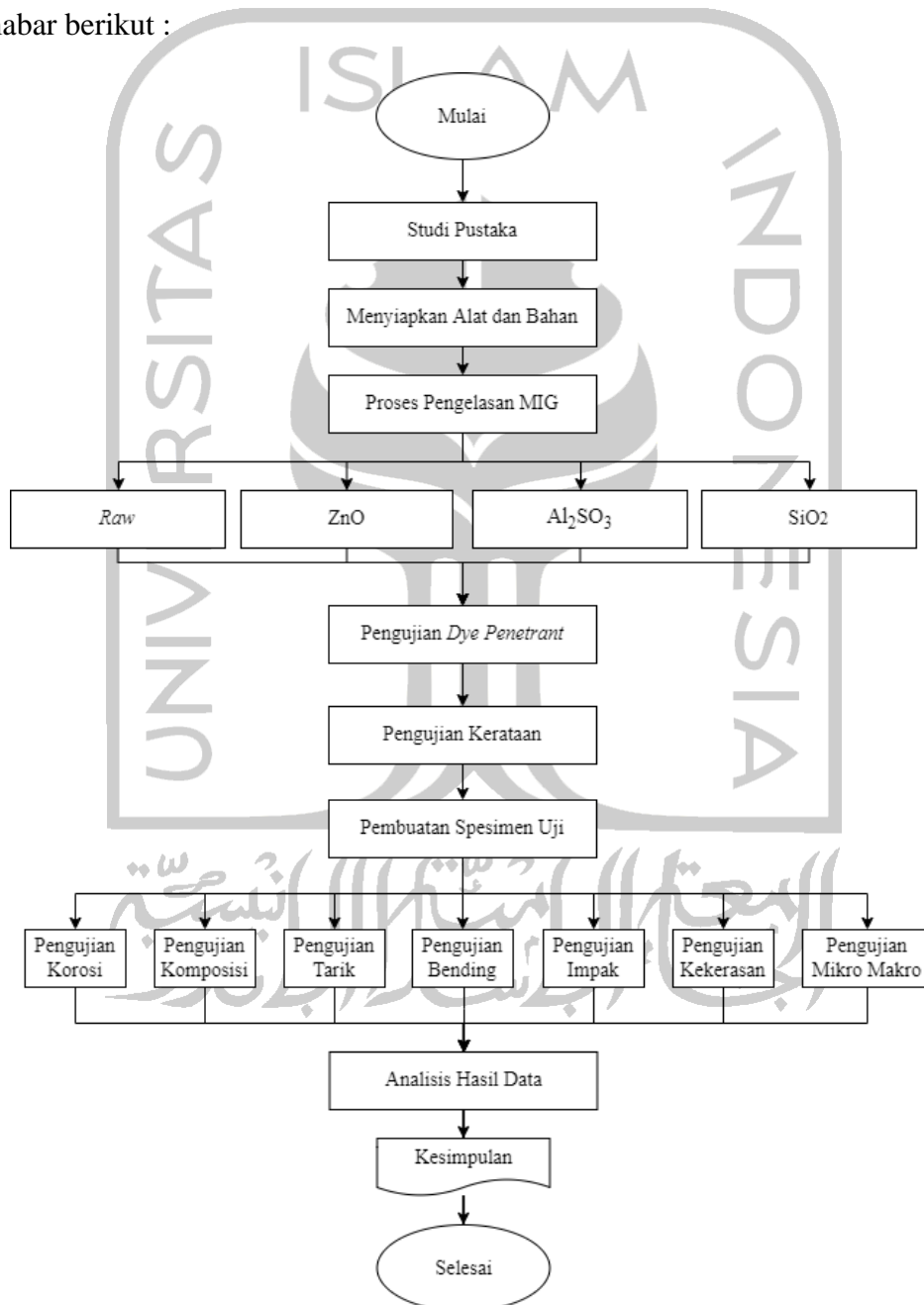
T : waktu pengujian (jam)

Bab 3

Metode Penelitian

3.1 Alur Penelitian

Alur penelitian pada tugas akhir ini melalui tahapan-tahapan pada saat memulai dan selesai. Tahapan-tahapan penelitian tugas akhir ditunjukkan oleh gambar berikut :








Gambar 3. 1 Diagram Alur Penelitian


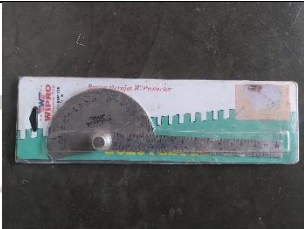


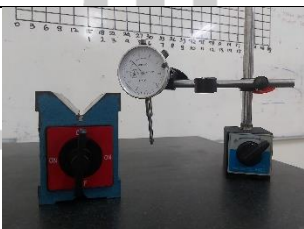

3.2 Peralatan dan Bahan






Dalam melakukan pengerjaan penelitian tugas akhir ini, digunakan beberapa peralatan dan bahan untuk mendukung penelitian ini. Berikut adalah daftar alat dan bahan dalam penelitian :

Tabel 3. 1 Tabel alat dan Fungsi



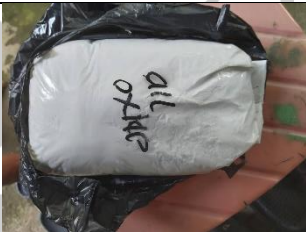



No	Alat	Gambar	Fungsi
1	Alat Pelindung Diri (APD)		Untuk melindungi diri pada saat proses penelitian (Sarung tangan, <i>earmuff</i> , kacamata, apron)
2	Las MIG Krisbow KW14-146 dengan Kawat elektroda ER70S-6		Untuk menyambungkan spesimen baja
3	Mesin Bubut SHIN SHIN		Untuk melakukan pengelasan <i>semiauto</i>
4	Jig		Untuk menyangga <i>torch</i> dan benda kerja pada mesin bubut
4	Gerinda		Untuk memotong spesimen logam

No	Alat	Gambar	Fungsi
5	Toolkit		Alat-alat untuk membantu proses pengelasan
6	Ragum		Untuk menahan spesimen saat pemotongan
7	Clamp		Untuk menahan spesimen saat pengelasan
8	Kikir		Untuk membuat takikan
9	Thermogun		Untuk mengukur suhu pengelasan
10	Amplas		Untuk meratakan dan menghaluskan spesimen

No	Alat	Gambar	Fungsi
11	Penggaris		Untuk mengukur Panjang dan lebar spesimen
12	Busur derajat		Untuk mengukur kampuh dan takikan spesimen
13	Timbangan		Untuk menakar <i>fluks</i> dan benda uji
14	Kuas dan Gelas Plastik		Untuk membuat larutan <i>fluks</i> dan resin serta memberikan larutan <i>fluks</i> pada spesimen
16	Dial Indikator dan Magnetik V block		Untuk Mengukur kerataan
17	Mesin UTM Hidrolik		Untuk melakukan pengujian tarik dan bending

No	Alat	Gambar	Fungsi
18	Alat Uji Impak Controlab	 A large industrial impact testing machine with a glass safety enclosure and a pendulum arm.	Untuk melakukan pengujian impak
19	Mesin Amplas Gripo 2M	 A white industrial grinding machine with two grinding wheels and a control panel.	Untuk mengamplas spesimen sebelum pengamatan mikro makro
20	Mikroskop MHV M3	 A specialized microscope with a large objective lens and a control panel, used for microhardness testing.	Untuk melakukan pengujian <i>Vickers microhardness</i>
21	Mikroskop SEM	 A scanning electron microscope (SEM) with a large objective lens and a control panel.	Untuk melakukan pengujian makro
22	Mikroskop Metalurgi	 A metallographic microscope with a large objective lens and a control panel, used for metallographic analysis.	Untuk melakukan pengujian mikro

Tabel 3. 2 Bahan yang digunakan

No.	Nama Bahan	Gambar
1	AISI 1018	
2	Fluks ZnO (1 kg)	
3	Fluks Al ₂ O ₃ (1 kg)	
4	Fluks SiO ₂ (500g)	
5	Aseton 1 Liter	
6	Cleaner, Penetrant, Developer	

No.	Nama Bahan	Gambar
7	Resin dan Katalis	
8	Air Laut	
9	Autosol, Alkohol dan Cairan Etsa NaOH 50%	



الجمهورية الإسلامية الإندونيسية

3.3 Proses Persiapan Spesimen

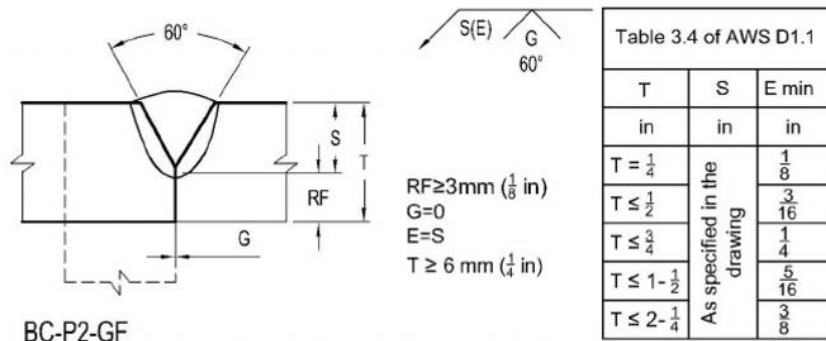
Sebelum melakukan penelitian, penulis mempersiapkan spesimen yang akan digunakan, Penelitian tugas akhir ini menggunakan plat baja dengan ketebalan 5 mm. Plat lembaran utuh dipotong menjadi delapan bagian dengan ukuran panjang 300 mm dan lebar 100 mm. Pemotongan dilakukan dengan menggunakan *metal shearing machine* karena plat baja yang cukup tebal untuk dilakukan pemotongan manual dan akan lebih presisi dalam ukuran hasil pemotongan.



Gambar 3. 2 Pemotongan Spesimen dengan *Metal Shearing Machine*

Setelah pemotongan selesai kemudian dilakukan pembuatan kampuh pada spesimen. Pembuatan kampuh dilakukan secara manual dengan menggunakan gerinda. Kampuh yang digunakan sesuai dengan standar yang ada yaitu sesuai dengan standar WPS (*Welding Procedure Spesification*) AWS D1.1. Karena ketebalan spesimen 5 mm maka digunakan kampuh *v-groove* dengan sudut lebar 60° , kedalaman 4 mm dan *root face* 1 mm.

Joint Details/Sketch:



Gambar 3. 3 Welding Procedure Spesification AWS D1.1

3.4 Proses Pengelasan

Proses pengelasan spesimen pada penelitian ini menggunakan pengelasan *metal inert gas* (MIG) Krisbow KW14-146 yang berada di laboratorium proses produksi dengan menggunakan metode *semiauto*. Sebelum dilakukan proses pengelasan, spesimen disiapkan pada jig yang berada pada bed mesin bubut. Spesimen diposisikan dengan kampuh yang saling berhadapan serta harus benar-benar datar diatas jig. Selanjutnya spesimen ditahan dengan menggunakan empat buah *clamp* agar pada saat pengelasan spesimen tidak bergerak akibat getaran mesin bubut dan tidak mengalami kelengkungan akibat panas hasil pengelasan. Setelah spesimen sudah berada pada posisi yang benar maka siap dilakukan untuk proses pengelasan.



Gambar 3. 4 Proses Pengelasan Semiauto

Parameter yang digunakan pada las (MIG) dalam penelitian ini, yaitu :

Tabel 3. 3 Parameter Pengelasan MIG

Parameter	
Gas pelindung	Campuran (50% Argon & 50% CO ₂)
Tekanan gas pelindung	5 – 10 bar
Jenis elektroda	ER70S-6
Diameter elektroda	0,9 mm
Kuat arus (I)	90 – 110 A
Tegangan (E)	18 – 20 V
Kecepatan Pengelasan	51,7 mm/s

Setelah proses pengelasan selesai, spesimen didiamkan hingga mencapai suhu ruangan dan kemudian dibersihkan dari kotoran sisa pengelasan.

3.5 Pengujian Dye-Penetrant

Pengujian dye-penetrant dilakukan untuk mengetahui adanya cacat porositas pada hasil pengelasan. Spesimen yang telah selesai dibersihkan kemudian ditempatkan di lantai. Pertama-tama spesimen disemprotkan *cleaner* untuk membersihkan dari kotoran-kotoran kecil hasil pengelasan. Kemudian *penetrant* disemprotkan pada spesimen sebagai tanda yang akan muncul jika terjadi cacat pada hasil pengelasan. Setelah *penetrant* diberikan dan ditunggu selama 3 sampai 5 menit maka selanjutnya disemprotkan *developer* untuk mengembangkan penetrant jika terjadi cacat pada hasil las. Cacat akan terlihat setelah 10-15 menit yaitu dengan munculnya noda merah pada penyemprotan spesimen yang dapat berupa cacat porositas, *undercut*, ataupun *slag inclusion*.

3.6 Pengujian Kerataan

Pengujian kerataan bertujuan untuk mengetahui seberapa besar spesimen plat baja mengalami kelengkungan akibat panas dari hasil pengelasan. Pengujian dilakukan dengan mengukur seberapa besar perbedaan ketinggian dari masing-masing titik yang telah diberikan pada spesimen plat baja dengan ukuran 10 mm x 10 mm yang menghasilkan sejumlah 600 titik. Pengujian dilakukan di atas meja datar dengan spesimen baja yang diletakkan di atas dua *magnetic v-block* untuk mengunci spesimen pada saat pengukuran dengan menggunakan *dial indicator*. Setelah pengukuran selesai maka data berupa nilai ketinggian diolah menggunakan *software matlab* dan dihitung nilai kerataan spesimen agar data tersebut dapat diproyeksikan menjadi grafik permukaan 3D serta mempunyai satu nilai yang mewakili nilai kerataannya.



Gambar 3. 5 Pengujian Kerataan

3.7 Pengujian Komposisi Kimia

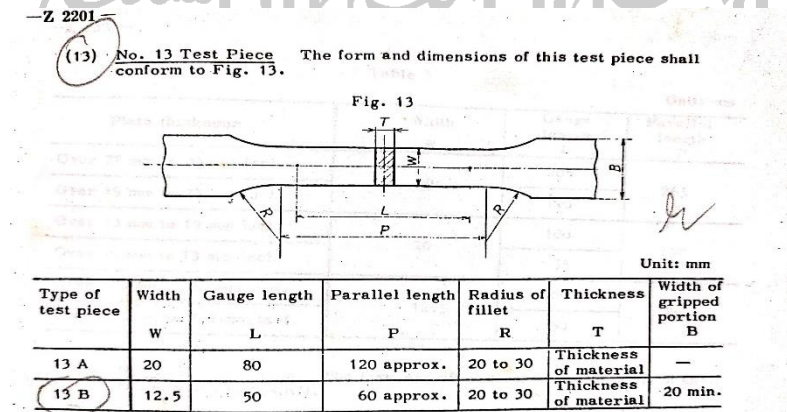
Proses pengujian komposisi pada spesimen baja dilakukan di PT. Itokoh Ceperindo Klaten dengan menggunakan alat *Spectrometer*. Spesimen yang dibutuhkan untuk pengujian yaitu ukuran 30 mm x 30 mm. Daerah yang diuji adalah daerah logam induk dan pada logam las sejumlah 4 spesimen uji yaitu *raw*, ZnO, Al₂O₃, dan SiO₂.

3.8 Pengujian Korosi

Pengujian korosi bertujuan untuk mengetahui perubahan fisik material akibat menerima reaksi kimia dari lingkungan sekitar. Pengujian korosi dilakukan dengan merendam spesimen uji pada air laut yang diambil dari pantai Samas, Bantul selama 40 hari dengan pencatatan perubahan berat pada spesimen setiap 10 hari. Spesimen yang diuji adalah pada logam induk, logam las *raw*, logam las ZnO, logam las Al₂O₃, dan logam las SiO₂. Setelah selesai pengambilan data berat spesimen kemudian dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan uji korosi dimana Hasil dari perhitungan persamaan uji korosi akan dibandingkan dengan tabel Fontana dan mendapatkan laju korosi dari material.

3.9 Pengujian Tarik

Pengujian Tarik bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik spesimen hasil pengelasan dari hasil nilai tarik yang berupa tegangan dan regangan. Standar yang digunakan pada pengujian adalah JIS Z 2201 dimana sebelum melakukan pengujian, spesimen dibentuk terlebih dahulu sesuai standar yang digunakan. Berikut adalah gambar spesimen uji yang digunakan yaitu JIS Z 2201.



Gambar 3. 6 Spesimen Standar Pengujian Tarik JIZ Z 2201 (JSA, 1981)

Pengujian dilakukan dengan UTM (*Universal Testing Machine*) yang berada di Laboratorium Bahan Teknik Sekolah Vokasi UGM. Cara pengujian tarik yaitu spesimen dijepit dengan posisi vertikal yang kemudian spesimen ditarik oleh mesin dengan beban aksial secara terus-menerus dimana akhirnya spesimen akan mengalami patahan. Nilai hasil beban yang diberikan akan terlihat pada mesin dan juga berupa grafik tegangan regangan yang kemudian dihitung kembali untuk mengetahui nilai hasil pengujian tarik berupa tegangan dan regangan.

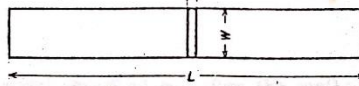
3.10 Pengujian Bending

Z 2204—

the diameter not less than 35 mm for the reason of test practice.

(3) No. 3 Test Piece This test piece shall be mainly used for bend test of thin metal sheet.

Fig. 3



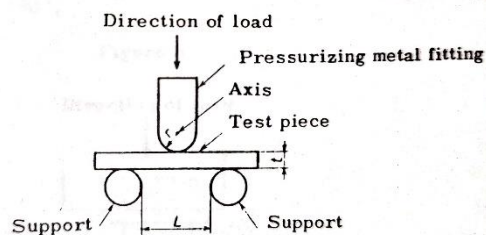
Thickness t = Original thickness
 Width W = 20 mm min.
 Length L = 150 mm min.

Gambar 3. 7 Spesimen Uji Bending JIS Z 2204 (JSA, 1981)

Pengujian bending bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik hasil pengelasan pada spesimen dengan menggunakan UTM (*Universal Testing Machine*). Sebelum melakukan pengujian, spesimen dibentuk terlebih dahulu sesuai standar yang digunakan. Standar yang digunakan adalah JIS Z 2204.

Pada pengujian bending digunakan metode *three point bend* yaitu pemberian beban ditengah dan 2 titik tumpu pada ujung spesimen. Pemberian beban tekanan dilakukan tepat diatas sambungan las dengan permukaan tekan akar las atau *face bend*.

Figure 1



Gambar 3. 8 Three Point Bend JIS Z 2204 (JSA, 1981)

Jarak kedua tumpuan atau *support* (L) sesuai standar JIS Z 2204 dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$L = 2r + 3t \quad (3.1)$$

Dimana :

L : Jarak diantara kedua penumpu (mm)

r : Panjang radius dalam *v-block* (mm)

t : Ketebalan atau diameter benda uji (mm)

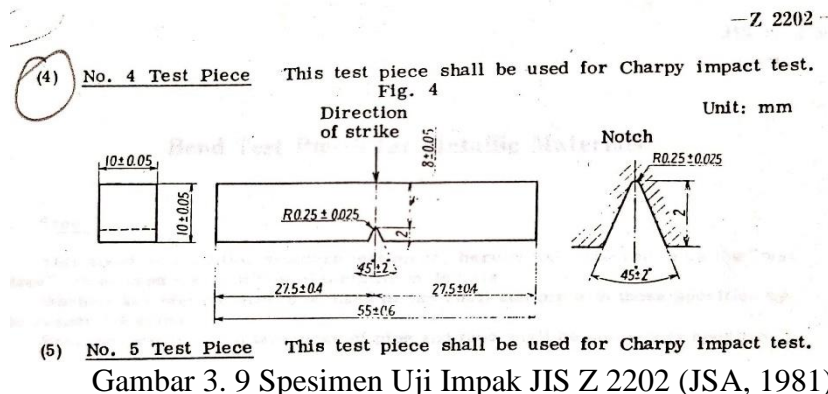
Sehingga jarak tumpuan dalam pengujian bending dengan menggunakan spesimen tebal 5 mm dan panjang radius 10 mm adalah :

$$\begin{aligned} L &= 2r + 3t \\ L &= 2(10) + 3(5) \\ L &= 35 \text{ mm} \end{aligned} \quad (3.2)$$

Jarak kedua penumpu yang digunakan adalah 35 mm.

3.11 Pengujian Impak

Pengujian impak dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik material berupa ketahanan atau ketangguhan pada spesimen. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *impact testing machine* dimana spesimen akan ditumbukkan oleh beban kejut berupa pendulum dengan berat 60 kg dan akan menunjukkan nilai energi impak spesimen. Standar yang digunakan pada spesimen adalah JIS Z 2202 dengan menggunakan metode impak charpy yaitu spesimen dalam posisi horizontal dan takikan membelakangi tumbukan. Berikut ukuran standar pengujian impak JIS Z 2202.



3.12 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan bertujuan untuk mengetahui harga kekerasan dari spesimen. Alat yang digunakan pada uji kekerasan *vickers microhardness* adalah *Vickers test* HMV M3 Japan dengan menggunakan indentor bentuk piramida intan terbalik. Pengujian dilakukan dengan memberikan pembebanan terhadap spesimen pada 3 daerah yang berbeda yaitu logam induk, HAZ, dan logam las yang masing-masing daerah dilakukan pembebanan sebanyak 3 kali. Beban yang digunakan sebesar 200 kgf dengan jarak antar titik adalah 0.01 mm. Setiap variasi dilakukan pengujian yaitu *raw*, ZnO, Al₂O₃, dan SiO₂ untuk mengetahui perbandingan kekerasan.

Untuk melakukan pengujian kekerasan diperlukan preparasi dari spesimen yang akan diuji yaitu dengan pembuatan preparat menggunakan resin. Ukuran preparat yang digunakan yaitu Panjang 45 mm, lebar 25 mm, tinggi 30 mm menyesuaikan dengan alat uji. Permukaan belakang preparat harus datar agar tidak goyang saat pengujian dilakukan. Bagian permukaan depan harus dihaluskan dengan menggunakan amplas dari grit kasar sampai halus agar permukaan halus dan rata.



Gambar 3. 10 Alat Uji Mikro Vickers HMV V3
(Laboratorium Bahan Teknik SV UGM)

3.13 Pengamatan Makro-Mikro

Pengujian dilakukan bertujuan untuk mengetahui struktur dari spesimen uji. Struktur pada spesimen uji akan menentukan sifat dari material. Spesimen terlebih dulu disiapkan sama dengan preparat yang digunakan dengan pengujian kekerasan *mikro vickers hardness*. Preparat dihaluskan sampai benar-benar halus dengan menggunakan mesin amplas Gripo 2M yang ditunjukkan pada gambar.



Gambar 3. 11 Mesin Gerinda Poles Mopao 2D
(Laboratorium Bahan Teknik SV UGM)

Proses selanjutnya adalah membuat permukaan preparat spesimen menjadi mengkilap menggunakan autosol dengan cara menggosokkan secara terus-menerus sampai spesimen dalam preparate menjadi mengkilap. Setelah proses mengkilapkan preparat dengan autosol, proses selanjutnya adalah pemberian cairan etsa NaOH 50%. Fungsi etsa adalah sebagai pengikis permukaan serta untuk memunculkan struktur butir pada logam. Selanjutnya peparat ditempatkan pada mikroskop optik kemudian mengatur mikroskop dengan perbesaran lensa 200 kali yang dilanjutkan dengan pengambilan gambar.



Gambar 3. 12 Preparat Spesimen Uji dan Mikroskop SEM


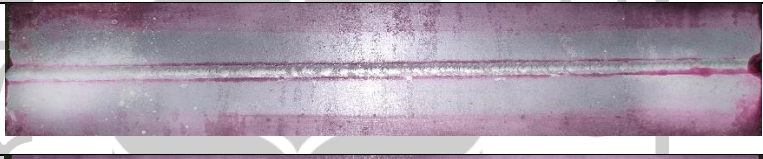


Bab 4

Hasil dan Pembahasan

4.1 Pengujian *Dye Penetrant*

Pengujian dye penetrant bertujuan untuk melihat cacat berupa *undercut* ataupun porositas dari hasil sambungan las MIG. Pengujian dilakukan pada setiap spesimen variasi yang telah dibuat. Berikut hasil pengujian dye penetrant.

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Dye Penetrant

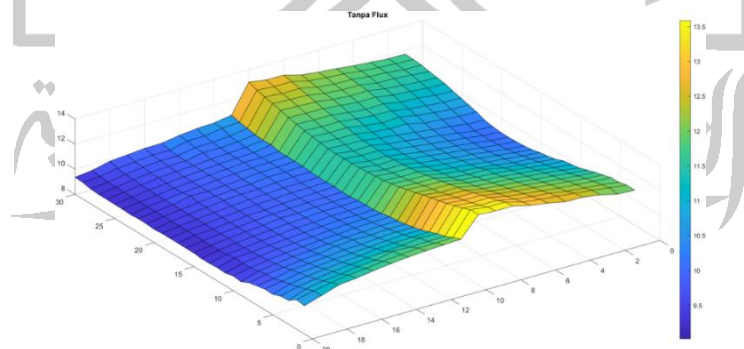
Raw	
ZnO	
Al ₂ O ₃	
SiO ₂	

Dari hasil pengujian *dye penetrant* dapat dilihat bahwa pada spesimen *raw* tidak terdapat noda merah besar pada sambungan yang mengindikasikan bahwa tidak terdapat cacat pada spesimen *raw*. Pada spesimen ZnO terdapat noda merah besar pada bagian ujung akhir sambungan yang mengindikasikan bahwa terdapat cacat *undercut*. Cacat *undercut* ini disebabkan karena pada saat proses pengelasan berlangsung terjadi pergeseran kedudukan *torch* akibat getaran yang dihasilkan oleh mesin bubut sehingga terjadi pegeseran yang menyebabkan kampuh tidak terisi penuh oleh logam las. Cacat juga terindikasi pada spesimen Al₂O₃ pada bagian tengah dan akhir sambungan. Pada bagian tengah sambungan terdapat noda merah kecil yang diakibatkan oleh *slag inclusion* dan porositas. *Slag inclusion* terjadi karena terak pada hasil pengelasan, namun cacat ini tidak mempengaruhi kualitas

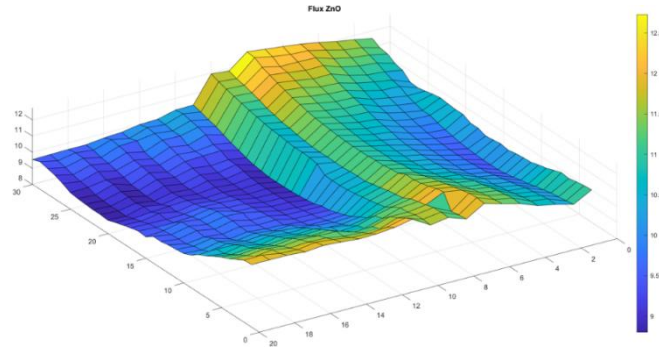
hasil pengelasan karena terjadi pada permukaan dan bisa dibersihkan. Porositas pada bagian tengah berupa lubang kecil terjadi karena gangguan angin yang berhembus sehingga menyebabkan gas pelindung hilang pada saat proses pengelasan. Pada bagian ujung sambungan terdapat noda merah yang teridentifikasi sebagai *undercut*. *Undercut* disebabkan karena torch bergeser tidak sesuai dengan alur jalur pengelasan sehingga menyebabkan kampuh tidak tertutup penuh oleh logam las. Selanjutnya untuk spesiemen SiO₂ teridentifikasi sama dengan spesiemen sebelumnya yaitu terdapat noda merah besar pada bagian ujung akhir sambungan yang disebabkan karena pergeseran torch sehingga kampuh tidak terisi logam las secara sempurna.

4.2 Pengujian Kerataan

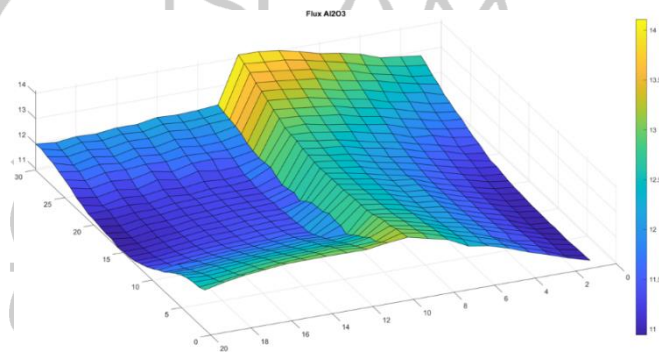
Setelah melakukan proses pengelasan spesiemen akan mengalami distorsi atau *angular misalignment* dimana material mengalami lengkungan akibat panas yang berlebih. Untuk mengukur kelengkungan tersebut maka dilakukan pengujian kerataan dengan memberikan titik-titik berjarak 10 mm pada spesiemen. Sejumlah 600 titik kemudian diukur dengan menggunakan dial indicator dimana hasil pengukuran berupa data angka ketinggian setiap titik. Data tersebut kemudian diolah dengan menggunakan *software matlab* dan menghasilkan gambar berupa grafik permukaan 3D dari data spesiemen yang telah diukur. Berikut hasil grafik pengujian kerataan dari 4 spesiemen.



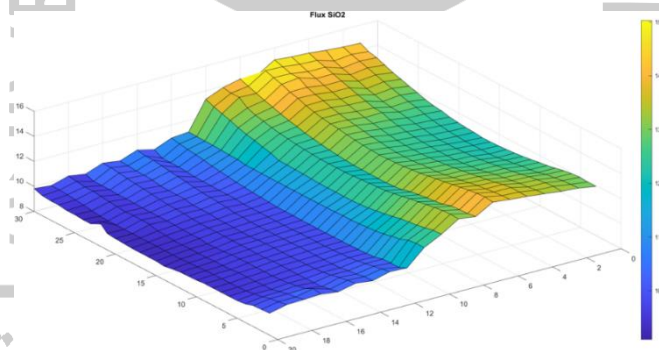
Gambar 4. 1 Grafik 3D Spesiemen Tanpa Fluks



Gambar 4. 2 Grafik 3D Spesimen Fluks ZnO



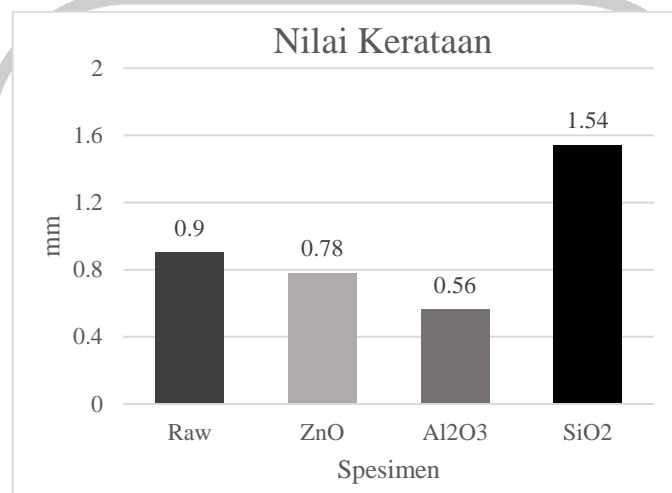
Gambar 4. 3 Grafik 3D Spesimen Fluks Al₂O₃



Gambar 4. 4 Grafik 3D Spesimen Fluks SiO₂

Dari hasil grafik diatas dapat dilihat bahwa terjadi perbedaan ketinggian pada bagian sambungan las, serta terjadi lengkungan pada bagian salah satu sisi plat yang berwarna kuning. Hal ini disebabkan oleh panas yang berlebih akibat dari hasil proses pengelasan, dan pada bagian alas jig yang tidak rata sehingga sangat memungkinkan terjadinya lengkungan.

Setelah dilakukan pengolahan data menggunakan *software matlab* selanjutnya dilakukan perhitungan nilai untuk mewakili kerataan pada spesimen. Nilai kerataan dihitung dengan cara mencari nilai mutlak dari selisih data yang ada dengan nilai median data yang kemudian dicari nilai rata-ratanya dengan menjumlahkan hasil selisih data dibagi jumlah data yang diolah. Dari hasil perhitungan tersebut kemudian dibuat grafik untuk membanding nilai kerataan pada spesimen. Berikut hasil perhitungan nilai kerataan pada spesimen.



Gambar 4. 5 Grafik Nilai Kerataan

Nilai kerataan suatu spesimen disimpulkan baik apabila simpangan nilai kerataannya tidak jauh atau mendekati nilai nol. Pada grafik (gambar 4-5) hasil perhitungan nilai kerataan didapatkan spesimen Al₂O₃ memiliki simpangan nilai terendah dibandingkan dengan yang lain sebesar 0,56 mm. Sedangkan simpangan nilai tertinggi diperoleh spesimen SiO₂ sebesar 1.54 mm. Hal ini disebabkan karena pada hasil grafik pengujian kerataan (gambar 4-4) dapat dilihat bahwa terjadi kelengkungan tinggi pada spesimen SiO₂ yang berupa *linear miss alignment* yaitu keadaan dimana material menjadi tinggi rendah tidak sejajar. Kelengkungan terjadi disebabkan oleh keadaan lingkungan dimana panas las yang tinggi kemudian diikuti oleh pendinginan yang relatif cepat serta pada bagian alas jig yang tidak rata menyebabkan kemungkinan terjadinya lengkungan

4.3 Uji Komposisi Kimia

a. Hasil Pengujian Komposisi Kimia Logam Induk

Pengujian komposisi dilakukan dengan menggunakan alat *Spectro Meter* yang dilakukan di PT ITOKOH Ceperindo. Hasil dapat dilihat pada tabel 4.2

Tabel 4. 2 Tabel Komposisi Baja

Base Metal	
Unsur	(%)
C	0,1736
Zn	0,0013
Al	0,0349
Si	0,2735
Mn	0,6954
Cu	0,0137
S	0,0170
Ni	0,0446
Cr	0,0150
Mo	-0,0021
P	0,0130
W	0,0001
Ti	0,0020
Pb	0,0004
Ca	0,0031
Fe	98,669

Dari hasil pengujian komposisi pada spesimen baja kemudian dilakukan identifikasi no seri baja yang digunakan. Dari kandungan komposisi C, Mn, dan Si didapatkan hasil no seri baja yaitu AISI 1018. AISI 1018 merupakan baja karbon rendah yang memiliki keseimbangan sifat mekanik yaitu kekuatan, keuletan, dan ketangguhan. Selain itu AISI 1018 memiliki sifat mudah dibentuk dan dimesin. AISI 1018 termasuk dalam baja terbaik untuk dilakukan karburasi serta mempunyai sifat mampu las. Kemampuan las yang baik dapat diukur dengan menggunakan nilai C_{ek} . Baja kemampuan las baik memiliki nilai $C_{ek} < 0,4 - 0,5$. Berikut perhitungan nilai C_{ek} untuk spesimen baja yang digunakan pada penelitian ini.

$$C_{ek} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cu + Ni}{15} + \frac{Cr + Mo + V}{5}$$

$$C_{ek} = 0,1736 + \frac{0,6954}{6} + \frac{0,0137 + 0,0446}{15} + \frac{0,0150 - 0,0021 + 0}{5}$$

$$C_{ek} = 0,1736 + 0,1159 + 0,003867 + 0,00258$$

$$C_{ek} = 0,295947$$

Berdasarkan hasil perhitungan dapat dilihat bahwa nilai $C_{ek} < 0,4 - 0,5$ yang menunjukkan bahwa spesimen material baja yang digunakan termasuk kategori mampu las. Aplikasi material baja ini sering digunakan untuk konstruksi, plat mounting, dan body kendaraan.

b. Hasil Pengujian Komposisi Kimia Daerah Las

Pengujian komposisi kimia juga dilakukan pada daerah logam las untuk mengetahui perbedaan komposisi yang terkandung dalam filler logam las setelah diberikan fluks. Berikut hasil pengujian komposisi pada daerah las.

Tabel 4. 3 Tabel Komposisi Daerah Las

Unsur	Raw	ZnO	Al ₂ O ₃	SiO ₂
(%)				
C	0,1020	0,1093	0,1305	0,1010
Zn	0,0006	0,0019	0,0006	0,0008
Al	0,0002	-0,0034	0,0008	-0,0059
Si	0,6515	0,5216	0,6225	0,6100
Mn	1,2091	0,9742	1,1181	1,0818
Cu	0,1895	0,1854	0,1902	0,1914
S	0,0178	0,0186	0,0176	0,0205
Ni	0,0115	0,0077	0,0086	0,0097
Cr	0,0213	0,0186	0,0214	0,0200
Mo	-0,0005	-0,0002	-0,0007	-0,0001
P	0,0128	0,0152	0,0117	0,0154
W	0,0001	0,0004	0,0001	0,0003
Ti	0,0015	0,0017	0,0016	0,0013
Pb	0,0001	0,0152	0,0001	0,0001
Ca	0,0002	0,0010	0,0017	0,0004
Fe	97,752	98,094	97,846	97,889

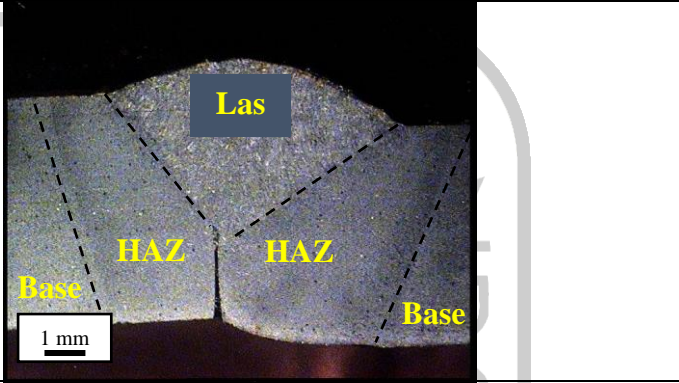
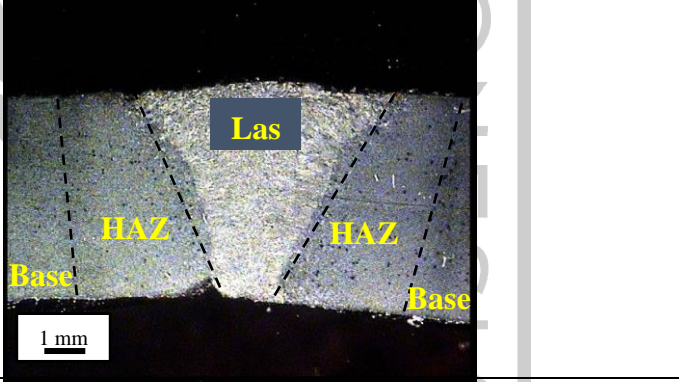
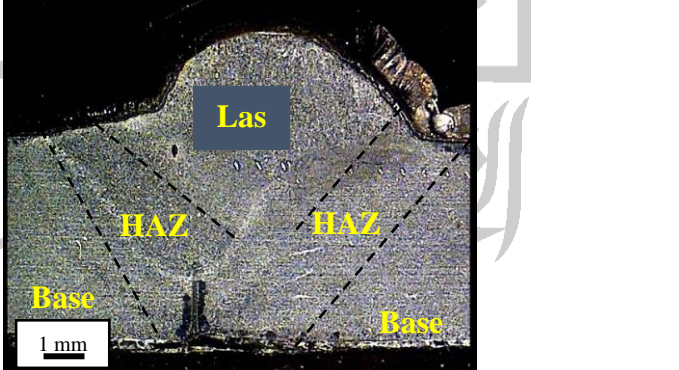
Setelah dilakukan pengujian komposisi pada daerah las yang diberikan fluks dapat dilihat pada tabel 4-3 bahwa terdapat beberapa perbedaan nilai. Secara teori penambahan jumlah suatu unsur dapat meningkatkan sifat mekanik dari suatu material. Unsur C pada Al₂O₃ sebesar 0,1305% memiliki nilai tertinggi dibandingkan dengan spesimen yang lain. Hal ini dapat membuat kekuatan tarik dan kekerasan pada material meningkat. Terjadi kenaikan unsur Zn pada spesimen ZnO dengan nilai 0,0019%. Hal ini dapat membuat material tahan terhadap korosi.

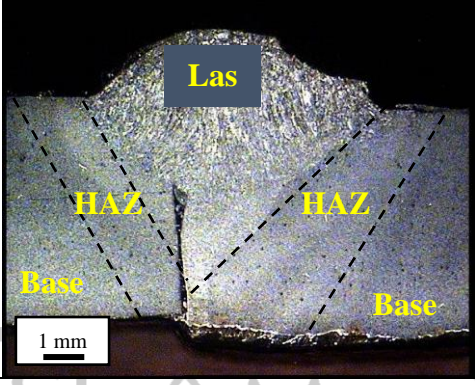
Kenaikan unsur juga terjadi pada unsur Al pada spesimen Al_2O_3 dengan nilai 0,0008% dimana hal ini dapat meningkatkan ketagguhan material.

4.4 Pengujian Metallografi

a. Pengujian Foto Makro

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Foto Makro

Fluks	Hasil Pengujian Foto Makro	
<i>Raw</i>	UNIVERSITAS	
ZnO		
Al_2O_3		

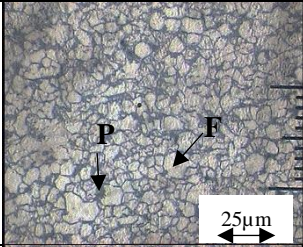
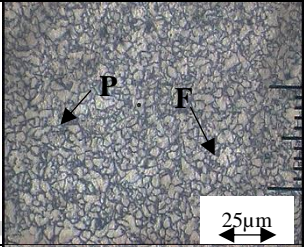
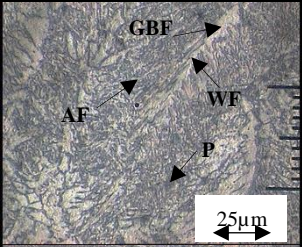
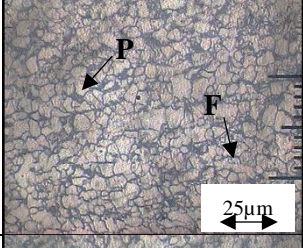
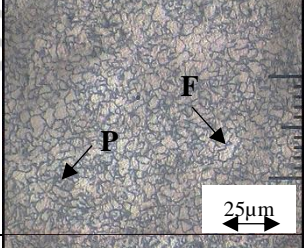
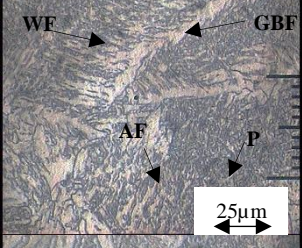
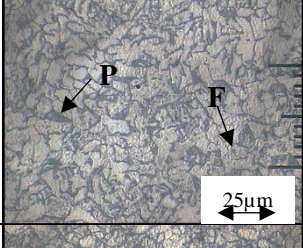
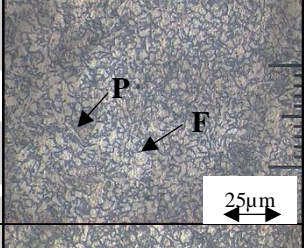
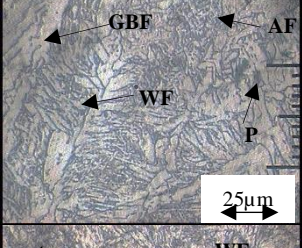
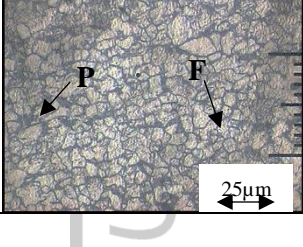
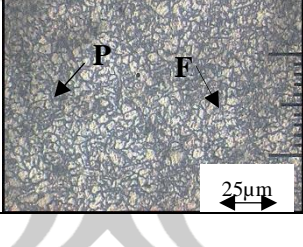
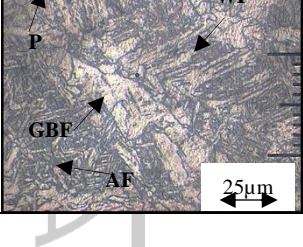
Fluks	Hasil Pengujian Foto Makro
SiO ₂	

Pengamatan struktur makro dilakukan dengan mikroskop optik SEM perbesaran 20x pada setiap spesimen. Dari hasil pengamatan makro pada tabel 4-4 dapat diidentifikasi apakah sambungan las sudah tersambung dengan baik atau tidak. Pada spesimen *raw* dan SiO₂ terlihat bahwa logam las tidak terisi penuh hingga *root*. Hal ini disebabkan oleh tidak ratanya kampuh pada bagian tertentu saat digabungkan sehingga menyebabkan *root* tidak terbuka. Berbeda dengan spesimen ZnO, dapat dilihat bahwa logam las terisi penuh pada kampuh. Sehingga dapat dikatakan pengelasan tersambung dengan baik atau tidak ada cacat. Selanjutnya pada spesimen Al₂O₃ terlihat bahwa terdapat jarak gap *root*. Cacat ini disebabkan karena panas yang dihasilkan pada setiap bagian yang dilas berbeda sehingga menyebabkan logam las tidak meleleh tidak sempurna pada dinding kampuh dan tidak mengisi secara sempurna pada *root*.

Beberapa zona dapat terlihat pada masing-masing spesimen dari hasil panas yang disebabkan oleh pengelasan yaitu daerah las, daerah HAZ, dan daerah logam induk. Daerah las adalah daerah endapan dari logam las yang mencair dan membeku pada saat pengelasan. Daerah HAZ adalah daerah yang terpengaruh oleh panas dimana terjadi perubahan struktur yang posisinya berada diantara logam las dan logam induk. Daerah base metal atau logam induk adalah daerah yang tidak terpengaruh pemanasan akibat proses pengelasan dan tidak terjadi perubahan struktur pada logam. Untuk mengamati perubahan struktur pada logam maka dilakukan pengujian mikro agar mengetahui perubahan sifat yang terjadi pada 3 daerah tersebut.

b. Pengujian Foto Mikro

Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Foto Mikro

Flux	Base Metal	HAZ	Logam Las
Raw			
ZnO			
Al ₂ O ₃			
SiO ₂			

Keterangan :

P : Pearlite AF : Acicular Ferrite W : Widmanstatten Ferrite
 F : Ferrite GBF : Grain Boundary Ferrite

Pengamatan struktur dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik metalurgi dengan perbesaran 200x. Dapat dilihat pada hasil pengamatan tabel 4-5 dimana terdapat beberapa perbedaan struktur pada setiap daerah. Struktur utama pada baja yang terkandung adalah *ferrite* dan *pearlite*. Struktur *ferrite* mempunyai sifat yang lunak sedangkan struktur *pearlite* yang merupakan campuran dari *cementite* dan *ferrite* mempunyai sifat kekerasan yang tinggi

Pada daerah *base metal* atau logam induk keempat spesimen didominasi struktur *ferrite* yang berwarna putih dimana dengan banyaknya struktur *ferrite* ini

daerah base metal mempunyai sifat ulet atau kekerasan yang rendah. Disisi lain terjadi perubahan struktur pada daerah HAZ. Struktur *pearlite* yang berwarna hitam mendominasi pada daerah HAZ dimana material daerah ini mempunyai sifat kekerasan tinggi.

Perubahan juga terjadi pada daerah las dimana bentuk dan ukuran stuktur berubah menjadi tidak beraturan. Terlihat struktur garis butir putih memanjang yang merupakan *grain boundary ferrite*, *acicular ferrite* yang berbentuk lingkaran putih kecil dan *widmanstatten ferrite* yang berbentuk garis-garis tipis. Struktur ini terbentuk akibat siklus termal pada daerah logam las yaitu terjadi pemanasan sampai suhu tinggi yang kemudian diikuti oleh pendinginan yang relatif cepat. Dengan adanya struktur *acicular ferrite* menyebabkan material las mempunyai sifat kekerasan yang tinggi namun dengan adanya *widmanstatten ferrite* menyebabkan material mempunyai sifat kelunakan tinggi .

4.5 Uji Tarik

Spesimen dilakukan pengujian tarik menggunakan mesin *Universal Testing Machine* dengan diberikan P secara kontinyu hingga spesimen mengalami patahan. Beban maksimal yang diberikan atau P_{max} akan tercatat pada mesin serta mesin akan menampilkan grafik tegangan regangan spesimen yang diuji.

Setelah nilai beban maksimal diketahui maka dapat menentukan nilai tegangan regangan pada spesimen. Nilai tegangan regangan dapat diketahui dari nilai pertambahan panjang pada spesimen (ΔL) yang dibagi dengan panjang awal (L_0). Berikut contoh perhitungan pada spesimen *raw* menggunakan persamaan nilai tegangan dan regangan (besarnya keterangan nilai yang digunakan dapat dilihat pada lampiran).

- Besar tegangan dan regangan spesimen *Raw* 1

Diketahui bahwa tebal = 4,30 mm, lebar = 16,98 mm dan $P_{max} = 22,86$ KN

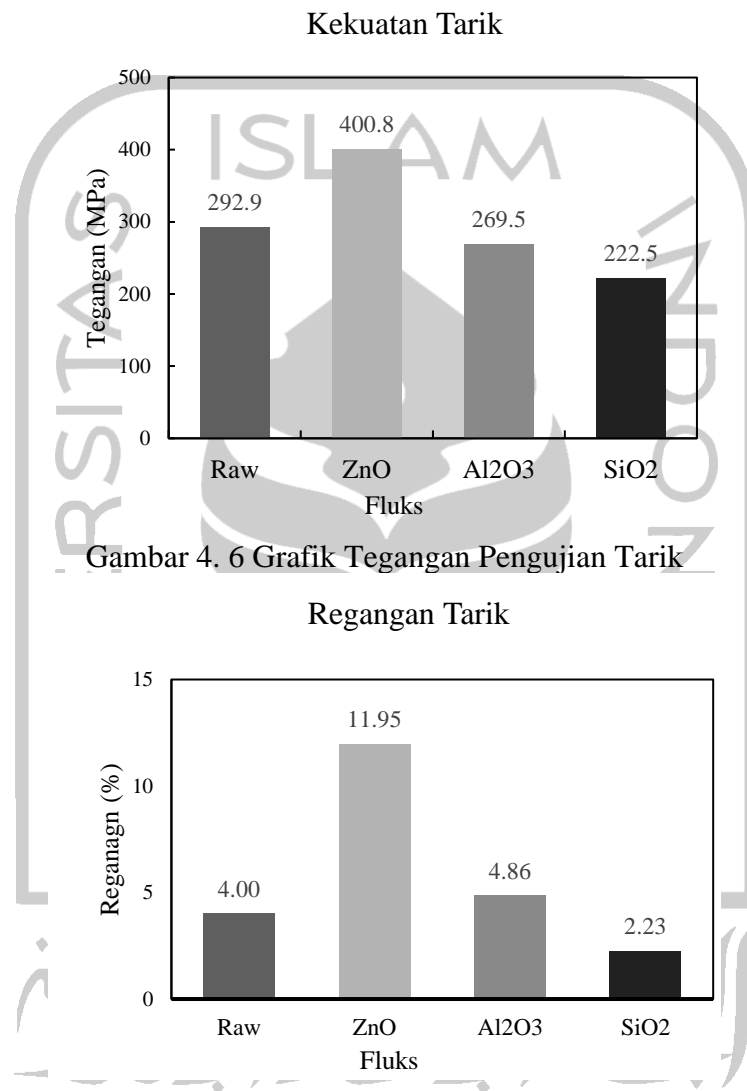
Persamaan nilai tegangan :

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{22,86 \times 10^3}{4,30 \times 16,98} = 313,09 \text{ Mpa}$$

Persamaan nilai regangan :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{2,29}{50} \times 100\% = 4,58 \%$$

Setelah mendapatkan nilai tegangan dan regangan kemudian dibuatlah grafik untuk membandingkan tegangan dan regangan yang terjadi pada setiap variasi spesimen. Berikut grafik tegangan dan regangan spesimen pada gambar 4-5 dan 4-6.



Gambar 4. 6 Grafik Tegangan Pengujian Tarik

Gambar 4. 7 Grafik Regangan Pengujian Tarik

Dari hasil pengujian didapatkan grafik nilai perbandingan rata-rata tegangan antara keempat spesimen yaitu *Raw*, ZnO, Al₂O₃, dan SiO₂. Nilai tegangan tarik tertinggi adalah spesimen ZnO yaitu sebesar 400,8 Mpa. Sedangkan nilai tegangan paling rendah terdapat pada spesimen SiO₂ yaitu sebesar 222,5 Mpa. Dari nilai regangan juga didapatkan hasil yang sama dengan nilai tegangan. Nilai tertinggi

terdapat pada spesimen ZnO yaitu sebesar 11,95% dan untuk nilai terendah ada pada spesimen SiO₂ yaitu 2,23%.

Berdasarkan hasil pengujian tarik diatas nilai tegangan dan regangan pada spesimen ZnO lebih baik daripada spesimen Al₂O₃. Terdapat beberapa kemungkinan yang dapat diidentifikasi. Penambahan jumlah unsur karbon pada Al₂O₃ (Tabel 4-3) menunjukkan bahwa tidak memiliki pengaruh yang besar pada hasil pengujian tarik. Jika dibandingkan pada spesifikasi *filler* atau logam pengisi terjadi penurunan nilai kekuatan tarik pada hasil sambungan. Kawat elektroda filler ER70S-6 mempunyai spesifikasi kekuatan tarik sebesar 78000 psi atau 537,79 Mpa (Weldwire, n.d.) sedangkan dari hasil pengujian untuk spesimen *raw* diatas adalah 292,9 Mpa. Sehingga dapat diidentifikasi bahwa penyebab nilai kekuatan tarik spesimen ZnO tinggi yaitu karena mempunyai penetrasi kedalaman las yang baik dapat dilihat pada struktur makro (Tabel 4-4). Dimana dalam hal ini penetrasi pengelasan ZnO sampai pada bagian *root*. Sedangkan pada spesimen *raw* dan Al₂O₃ penetrasi pengelasan kurang optimal (tidak sampai bagian *root*) sehingga menyebabkan nilai tegangan dan regangannya menjadi kecil.

4.6 Uji Bending

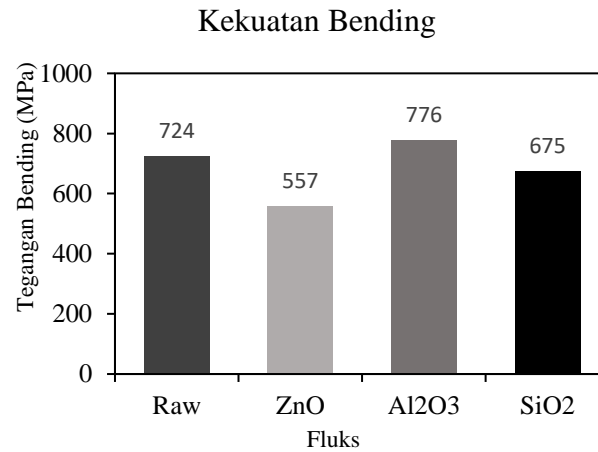
Pengujian bending dilakukan pada spesimen menggunakan *Universal Testing Machine* dengan memberikan beban secara terus-menerus hingga spesimen mengalami defleksi. Mesin akan mencatat beban maksimal (P_{Max}) yang diberikan dan defleksi yang terjadi pada spesimen. Setelah diketahui nilai beban maksimal dan nilai defleksi pada spesimen maka dapat dihitung nilai tegangan bending dengan menggunakan rumus 2-4. Berikut contoh perhitungan pada spesimen *Raw* 1 (besarnya keterangan nilai yang digunakan dapat dilihat pada lampiran).

- Besar kekuatan bending spesimen *Raw* 1

Diketahui bahwa P_{max} : 6,12 KN, tebal (d) : 4,22 mm dan lebar (b) : 23,02 mm

$$S = \frac{3 \times P \times L}{2 \times b \times d^2} = \frac{3 \times 6,12 \times 10^3 \times 35}{2 \times 23,02 \times 4,22^2} = \frac{642.600}{819,89} = 783,76 \text{ MPa}$$

Setelah mendapatkan nilai tegangan bending kemudian dibuatlah grafik untuk membandingkan tegangan bending yang terjadi pada setiap variasi spesimen. Berikut hasil pengujian bending pada gambar 4-7.



Gambar 4. 8 Grafik Tegangan Bending

Bedasarkan hasil pengujian bending, pada spesimen uji tidak ditemukan keretakan pada daerah lasan di semua variasi. Dari grafik pengujian bending pada gambar 4-9 didapatkan bahwa nilai rata-rata tertinggi tegangan bending pada spesimen Al₂O₃ lebih besar dibandingkan dengan 3 variasi lainnya. Nilai rata-rata tegangan bending pada spesimen Al₂O₃ sebesar 776 Mpa. Sedangkan pada spesimen *Raw* didapatkan nilai rata-rata tegangan bending sebesar 724 Mpa. Pada spesimen SiO₂ memiliki nilai rata-rata sebesar 675 Mpa. Sedangkan nilai terendah didapatkan oleh spesimen ZnO sebesar 557 Mpa. Sehingga dalam pengujian bending ini menunjukkan bahwa spesimen Al₂O₃ mempunyai sifat kelenturan tinggi dibanding dengan spesimen lain yang disebabkan .

4.7 Uji Impak

. Pengujian impact dilakukan dengan menggunakan standar JIS Z 2202 dengan penerapan metode charpy. Spesimen akan diberikan beban kejut berupa pendulum dengan ketinggian, sudut awal, dan berat yang sudah terdapat pada spesifikasi alat uji. Hasil pengujian berupa nilai sudut akhir dari lengan bandul saat menghantam mengenai spesimen uji. Nilai tersebut kemudian digunakan untuk perhitungan untuk mengetahui energi yang terserap dan besar harga impact pada spesimen. Berikut contoh perhitungan untuk spesimen *raw* (besarnya keterangan nilai yang digunakan dapat dilihat pada lampiran).

- Besar energi yang terserap spesimen *Raw* 1
Diketahui bahwa beban pendulum (G) = 300 Kgf. Panjang lengan (L) = 0,8 meter, $\cos \beta = 145^\circ$, $\cos \alpha = 151^\circ$.

$$W = m \times g \times r (\cos \beta - \cos \alpha)$$

$$W = 20 \times 10 \times 0,8 (\cos 145 - \cos 151)$$

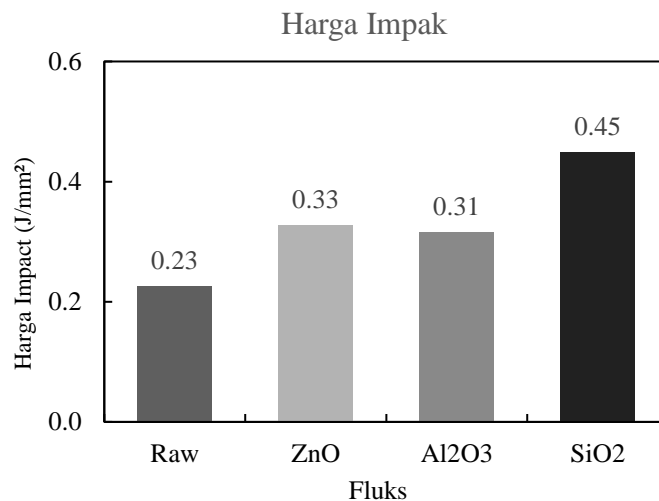
$$W = 160 (0,056)$$

$$W = 8,9 \text{ Joule}$$

- Besar harga impact spesimen *Raw* 1
Diketahui nilai $W = 8,9 \text{ Joule}$ dan $A_o = 36,6 \text{ mm}^2$

$$K = \frac{W}{A_o} = \frac{8,9 \text{ J}}{36,6 \text{ mm}^2} = 0,243 \text{ Joule/mm}^2$$

Selanjutnya dengan mengetahui besar harga impact kemudian dibuatlah grafik untuk membandingkan besar nilai pada setiap variasi spesimen. Berikut grafik harga impact spesimen pada gambar 4-9.

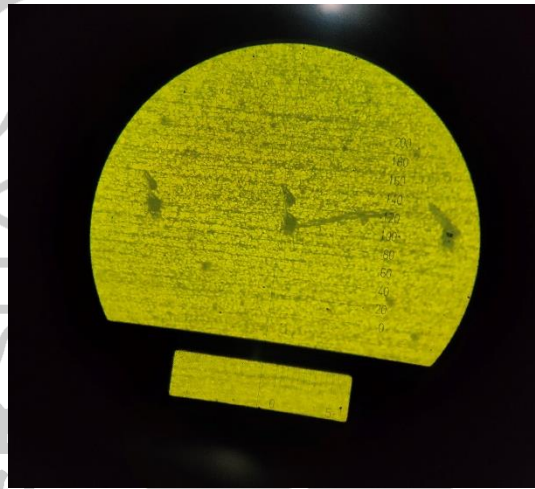


Gambar 4. 9 Grafik Nilai Harga Impak

Pada (gambar 4.9) merupakan hasil nilai ketangguhan dari masing-masing spesimen yang telah diuji. Pada spesimen baja yang diberikan fluks terjadi kenaikan nilai ketangguhannya. Peningkatan tertinggi yaitu terhadap spesimen SiO₂ yaitu sebesar 0,45 J/mm². Hal ini disebabkan oleh adanya fase *acicular ferrite* pada hasil pengujian foto mikro (tabel 4-5) yang mendominasi pada spesimen SiO₂. *Acicular ferrite* menyebabkan material meningkat sifat ketangguhannya dimana tingkat ketangguhan yang dicapai dipengaruhi oleh ukuran butir dalam struktur, semakin halus ukuran butir, semakin baik ketangguhannya. Demikian juga terhadap spesimen ZnO dan Al yang peningkatan nilainya mempunyai selisih yang kecil. Spesimen ZnO memiliki nilai ketangguhan sebesar 0,33 J/mm² dan untuk spesimen Al₂O₃ dengan nilai ketangguhan 0,31 J/mm². Sedangkan untuk spesimen *raw* dimana spesimen tidak diberikan fluks pada saat proses pengelasan mempunyai nilai ketangguhan terkecil yaitu sebesar 0,23 J/mm². Hal ini dapat membuktikan bahwa terdapat hubungan pemberian fluks pada proses pengelasan dengan kenaikan nilai harga impak.

4.8 Uji Vickers Mikrohardness

Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode *vickers microhardness* dengan menggunakan indentor berbentuk piramida intan dan beban 200 kgf dan dilakukan penekanan selama 5 detik. Pengujian kekerasan dilakukan untuk mencari nilai kekerasan pada setiap daerah pengelasan meliputi logam induk, daerah HAZ, dan daerah las. Pengujian dilakukan 3 titik pada setiap daerah dengan jarak antar titik uji adalah 0,5 mm. Berikut bekas pembebanan yang dilakukan pada spesimen



Gambar 4. 10 Bekas pembebanan pada spesimen *Raw*

Setelah pembebanan dilakukan pada spesimen, selanjutnya adalah mengukur bekas pembebanan indentor piramida intan terhadap spesimen uji berupa data dua nilai diagonal. Nilai diagonal pada spesimen uji kemudian digunakan untuk menghitung nilai kekerasan setiap daerah. Berikut contoh perhitungan nilai kekerasan daerah las pada spesimen *raw*.

- Nilai kekerasan daerah las pada spesimen *Raw*

Titik 1

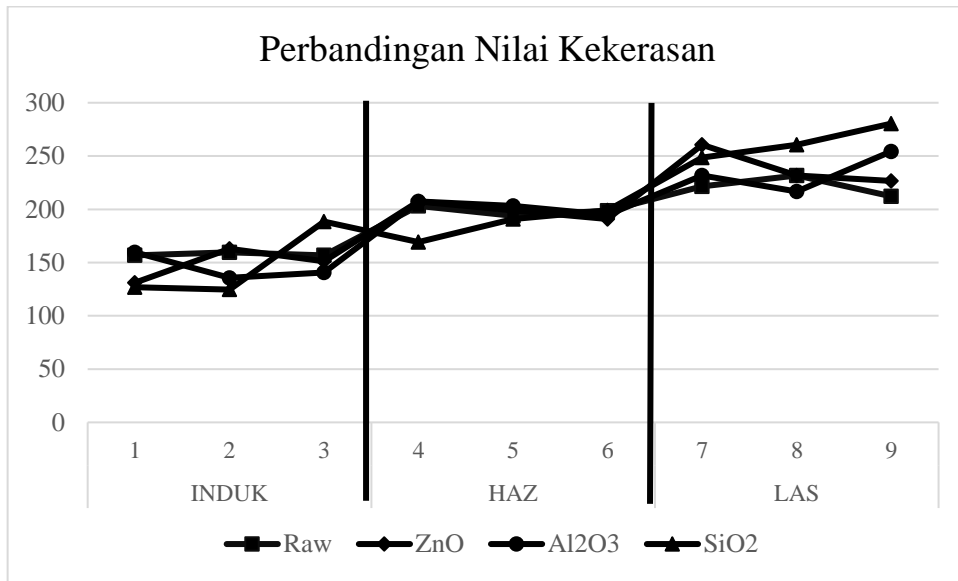
$$\frac{(1854 \times 200)}{40,91^2} = 221,56 \text{ HVN}$$

Setelah didapatkan nilai kekerasan pada tiga titik uji di daerah las kemudian dihitung nilai rata-ratanya.

- Rata-rata nilai kekerasan daerah las pada spesimen *raw*

$$\frac{221,56 + 231,75 + 212,04}{3} = 221,78 \text{ HVN}$$

Berikut grafik perbandingan kekerasan pada spesimen variasi fluks.



Gambar 4. 11 Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan

Dari hasil grafik pada pengujian kekerasan dapat dilihat gambar 4-11 bahwa terjadi tren kenaikan nilai kekerasan pada spesimen. Terjadi kenaikan dari logam induk ke daerah las. Pada daerah las kenaikan terjadi pada semua spesimen yang meliputi spesimen *Raw*, *ZnO*, *Al₂O₃*, dan *SiO₂*. Hal ini disebabkan oleh adanya fase *assicular ferrite* pada daerah lasan dimana fase ini dapat meningkatkan sifat kekerasan material. Peningkatan kekerasan tertinggi terdapat pada spesimen *SiO₂* yang disebabkan karena jumlah fase *assicular ferrite* lebih mendominasi pada struktur. Pada daerah HAZ juga terjadi kenaikan jika dibandingkan pada daerah induk. Kenaikan nilai kekerasan disebabkan karena pengaruh panas dari daerah las. Sehingga terjadi perubahan struktur mikro pada daerah HAZ dimana struktur *pearlite* lebih mendominasi daripada struktur *ferrite*. Kekerasan pada daerah induk mempunyai nilai terkecil daripada daerah HAZ dan daerah las. Ini dikarenakan dominasi dari struktur *ferrite* yang menyebabkan sifat ulet pada material.

Tabel 4. 6 Nilai Kekerasan Spesimen

Spesimen	Daerah	Kekerasan rata-rata (HVN)	Kekerasan Spesimen (HVN)
<i>Raw</i>	Las	221.78	192.81
	HAZ	198.90	
	Induk	157.74	
ZnO	Las	239.61	195.65
	HAZ	199.03	
	Induk	148.31	
Al ₂ O ₃	Las	234.27	193.79
	HAZ	201.78	
	Induk	145.33	
SiO ₂	Las	263.11	198.66
	HAZ	186.25	
	Induk	146.61	

Dari tabel nilai kekerasan spesimen diatas yaitu dengan menghitung rata-rata nilai setiap daerah, maka dapat disimpulkan bahwa spesimen SiO₂ memiliki kekerasan tertinggi daripada spesimen lain. Nilai kekerasan spesimen SiO₂ adalah sebesar 198.66 HVN. Dilanjutkan oleh spesimen ZnO yang memiliki nilai 195.65 HVN, spesimen Al₂O₃ sebesar 193,79 HVN, dan dengan nilai kekerasan terkecil adalah spesimen *raw* yaitu 192,81 HVN.

4.9 Uji Korosi

Pengujian korosi bertujuan untuk mengetahui nilai laju korosi dari sebuah material akibat interaksi dengan lingkungan. Pengujian dilakukan dengan menghitung laju korosi dimana logam akan mengalami kehilangan berat persatuan luas yang dinyatakan dalam satuan mmpy (*millimeter per year*) setelah dilakukan perlakuan rendaman dengan air laut. Pengujian dilakukan selama 40 hari dengan mengukur berat material setiap 10 hari. Berikut data hasil pengujian korosi



Gambar 4. 12 Proses Pengujian Korosi

Tabel 4. 7 Hasil pengukuran berat

Spesimen	Awal (gram)	Hasil timbang 10 hari ke- (gr)			
		1	2	3	4
AISI 1018	16.44	16.16	16.16	16.16	15.88
Raw	17.86	17.86	17.58	17.58	17.58
ZnO	13.32	13.32	13.04	13.04	13.04
Al ₂ O ₃	20.98	20.13	20.13	20.13	20.13
SiO ₂	13.04	13.04	13.04	13.04	13.04

Setelah dilakukan pengambilan data penimbangan berat yang ditunjukkan tabel 4-7, maka selanjutnya menghitung laju korosi dengan persamaan 2-6. Berikut contoh perhitungan AISI 1018 pada 10 hari ke-I.

Diketahui :

$$K = 8.76 \times 10^4$$

$$W = 0,28 \text{ gram}$$

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

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

$$A = 502 \text{ mm}$$

$$\text{Laju Korosi (mmpy)} = \frac{k \times w}{D \times A \times T} = \frac{8,76 \times 10^4 \times 0,28}{7,9 \times 130 \times 240} = 0,099$$

Tabel 4. 8 Hasil Laju Korosi

Spesimen	Laju korosi 10 hari ke - (mmpy)			
	1	2	3	4
AISI 1018	0,099	0	0	0,024
<i>Raw</i>	0	0,049	0	0
ZnO	0	0,049	0	0
Al ₂ O ₃	0,302	0	0	0
SiO ₂	0	0	0,100	0

Laju korosi terjadi pada AISI 1018 di 10 hari pertama sebesar 0,099 mmpy dan di 10 hari terakhir sebesar 0,024 mmpy. Pada spesimen *raw* dan ZnO terjadi laju korosi pada 10 hari kedua yang bernilai sama yaitu sebesar 0,049 mmpy. Spesimen Al₂O₃ mengalami laju korosi pada 10 hari pertama yaitu sebesar 0,0302 mmpy. Selanjutnya diikuti oleh spesimen SiO₂ yang terjadi laju korosi pada 10 hari ketiga sebesar 0,100 mmpy.

Setelah laju korosi dari spesimen diketahui maka langkah selanjutnya adalah mengkategorikan nilai laju korosi pada tabel standar laju korosi material untuk mengetahui dimanakah tingkat laju korosi pada spesimen.

Tabel 4. 9 Standar laju korosi material (Fontana, 1987)

Laju Korosi	Standar (mm/yr)	Hasil (mm/yr)					Keterangan
		AISI 1018	<i>Raw</i>	ZnO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	
<i>Outstanding</i>	<0,02						
<i>Excellent</i>	0,02-0,1	0,024-0,099	0,049	0,049		0,100	Excellent
<i>Good</i>	0,1-0,5				0,302		Good
<i>Fair</i>	0,5-1						
<i>Poor</i>	1-5						
<i>Unacceptable</i>	>5						

Dari hasil perbandingan nilai laju korosi pada spesimen termasuk dalam kategori *good* dan *excellent*. Kategori tersebut berarti spesimen memiliki sifat ketahanan korosi yang baik.

Bab 5

Penutup

5.1 Kesimpulan

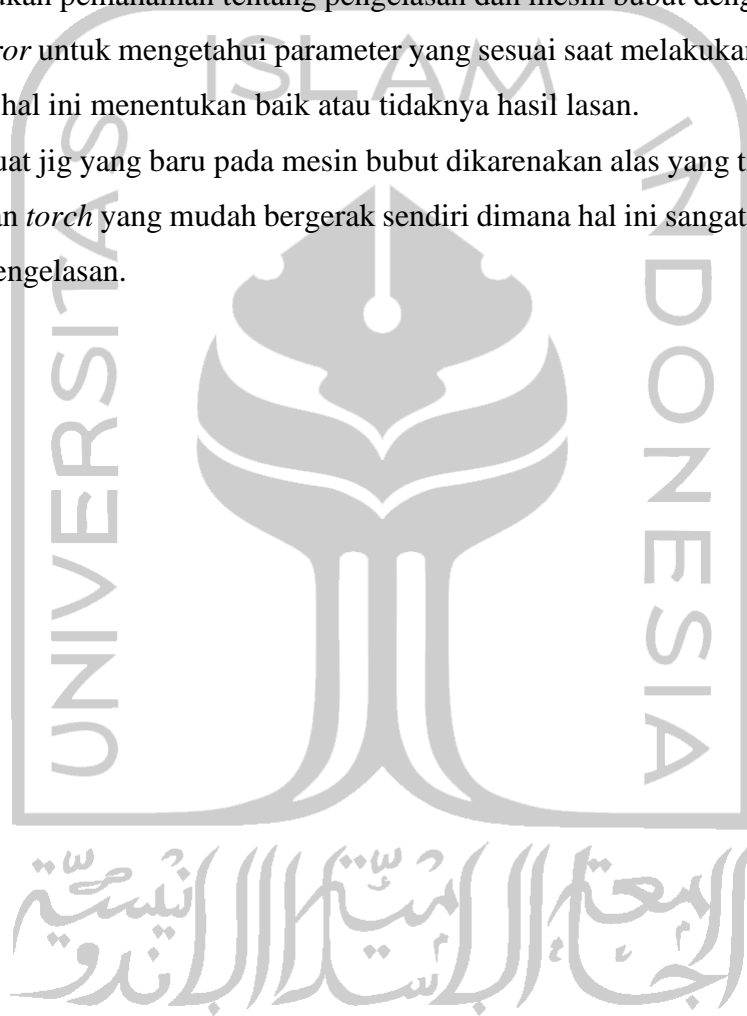
Berdasarkan hasil penelitian dan analisa yang telah dilakukan, maka diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil uji kerataan pada spesimen didapatkan bahwa nilai kerataan terbaik didapatkan oleh spesimen Al_2O_3 sebesar 0,56 mm.
2. Terjadi penambahan unsur C dengan nilai 0,1305% pada spesimen Al_2O_3 . yang merupakan nilai tertinggi dibandingkan dengan spesimen yang lain.
3. Dari hasil pengamatan metallografi spesimen, terdapat fase *grain bondary ferrite*, *acicular ferrite*, dan *widmanstatten ferrite* pada daerah las. Adanya fase *acicular ferrite* menyebabkan material meningkat sifat ketangguhannya
4. Penambahan fluks dapat meningkatkan kualitas hasil pengelasan dibuktikan dengan meningkatnya sifat mekanik dari hasil pengujian. Pada uji tarik spesimen ZnO memiliki nilai tegangan regangan tertinggi yaitu sebesar 400,8 Mpa dan 11,95%, pada uji bending nilai kekuatan bending pada spesimen Al_2O_3 memiliki nilai tertinggi yaitu sebesar 776 Mpa, dan hasil pengujian impak dan pengujian kekerasan didapatkan bahwa spesimen SiO_2 memiliki nilai tertinggi daripada variasi spesimen yang lain dengan nilai harga impak sebesar 0,45 J/mm² dan nilai kekerasan sebesar 198,66 HVN dimana hal ini disebabkan oleh adanya fase *acicular ferrite* yang medominasi pada hasil pengujian metallografi.
5. Dari hasil uji korosi, spesimen yang digunakan pada penelitian ini memiliki ketahanan korosi yang baik.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh penulis, terdapat beberapa saran untuk penelitian selanjutnya yaitu:

1. Membuat daftar kegiatan yang akan dilakukan sebelum melakukan penelitian.
2. Mengecek seluruh alat yang akan digunakan, pastikan dalam keadaan yang optimal.
3. Diperlukan pemahaman tentang pengelasan dan mesin bubut dengan cara *trial and error* untuk mengetahui parameter yang sesuai saat melakukan pengelasan karena hal ini menentukan baik atau tidaknya hasil lasan.
4. Membuat jig yang baru pada mesin bubut dikarenakan alas yang tidak rata dan dudukan *torch* yang mudah bergerak sendiri dimana hal ini sangat menentukan hasil pengelasan.



DAFTAR PUSTAKA

- Agus, & Pramono, J. (2021). *Teknik Pengelasan Gas Metal (MIG/MAG) SMK/MAK XI. Program Keahlian Teknik Mesin. Kompetensi Keahlian Teknik Pengelasan (Edisi Revisi)* (Revisi). Andi Offset.
- Ahmad, Z. (2006). *Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control*. Elsevier.
- Baghel, A., Sharma, C., Rathee, S., & Srivastava, M. (2021). Influence of activated flux on micro-structural and mechanical properties of AISI 1018 during MIG welding. *Materials Today: Proceedings*, 47, 6947–6952. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.210>
- Budiyanto, E., & Handono, S. D. (2020). *Pengujian Material*. CV. Laduny Alifatama.
- Chakraborty, A., Sharma, C., Rathee, S., & Srivastava, M. (2021). Influence of activated flux on weld bead hardness of MIG welded austenitic stainless steel. *Materials Today: Proceedings*, 47, 6884–6888. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.168>
- Dieter. (1987). *Metallurgi Mekanik Jilid 1* (S. Djaprie (ed.); 3rd ed.). Erlangga.
- Faudree, M., Nishi, Y., Gruskiewicz, M., & Salvia, M. (2018). A New Glass Fibered Reinforced Composite with Improved Charpy Impact Properties at Low and High Temperatures beyond the Extremes of Aircraft Flight. *MATERIALS TRANSACTIONS*, 59, 1280–1287. <https://doi.org/10.2320/matertrans.M2018068>
- Fontana, M. G. (1987). *Corrosion Engineering*.
- Ghosh, N., Kumar Pal, P., & Nandi, G. (2017). Engineering Science and Technology, an International Journal. *GMAW Dissimilar Welding of AISI 409 Ferritic Stainless Steel to AISI 316L Austenitic Stainless Steel by Using AISI 308 Filler Wire*, 1334–1341.
- Ginzbug, V., & Robert, B. (2000). Flat Rolling Fundamental. In *Flat Rolling*

Fundamental. Marcell Dekker.

Harsono. (2000). *Klasifikasi Baja Karbon*.

Huang, H.-Y. (2010). Effects of activating flux on the welded joint characteristics in gas metal arc welding. *Materials & Design (1980-2015)*, 31(5), 2488–2495. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matdes.2009.11.043>

ISO. (2005). *ISO 857*.

JSA. (1981). *JIS Handbook 1981 Ferrous Material and Metallurgy*.

Lancaster, J. (1997). *Handbook of Structural Welding Processes, Materials and Methods Used in the Welding of Major Structures, Pipelines and Process Plant*. Ablington Publishing.

Madavi, K. R., Jogi, B. F., & Lohar, G. S. (2021). Investigational study and microstructural comparison of MIG welding process for with and without activated flux. *Materials Today: Proceedings*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.240>

Mageto, M. (2003). *Tem study of microstructure in relation to hardness and ductility in Al-Mg-Si (6xxx) alloys*.

Manahan, M. P., & Siewert, T. A. (2000). *Pendulum Impact Testing A Century of Progress*. ASTM STP 1380.

Mesler, R. W. (2004). Principles Of Welding. In *Principles Of Welding*. Wiley-VCH.

Nagler, J. (2019). *Failure Mechanics of Multi Materials Laminated Systems Review Analysis-Based Project*.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15062.91200>

Okumura, T. (2000). *Teknologi Pengelasan Logam*. Pradnya paramita.

Rampaul, H. (2003). *Pipe Welding Procedures (Second Edi)*. Industrial Press.

Sari, N. H. (2018). *Material Teknik*. Penerbit Deepublish.

Sarippudin, M. (2021). *Mengenal Logam Sebagai Bahan Teknik*. Penerbit

Deepublish.

Varbai, B., Kormos, R., & Májlíng, K. (2017). *Effects of Active Fluxes in Gas Metal Arc Welding*. December 2016. <https://doi.org/10.3311/PPme.9756>

Weldwire. (n.d.). *ER70S-6*.

Weman, K., & Linden, G. (2006). *MIG Welding Guide*. In *MIG Welding Guide* (p. 248). Woodhead Publishing Limited.



LAMPIRAN



PT. ITOKOH CEPERINDO
Stainless Steel & Alloy Steel Casting



COMPANY : PT. ITOKOH CEPERINDO
 SAMPLE NAME : 3. plat bisaa
 CUSTOMER : Sdr. Edo Setya N
 FURNACE : 3I2783A03/33
 OPERATOR : PUTRA
 DATE / TIME : 27-SEP-2021 14:44:38
 TASK : Conc_Fei METHOD : FEGLFE

	Fe	S	Al	C	Ni	Nb	Si
1	98.6618	0.0163	0.0373	0.1740	0.0443	0.0009	0.2770
2	98.6774	0.0177	0.0326	0.1733	0.0448	0.0008	0.2700
AVG	98.6696	0.0170	0.0349	0.1736	0.0446	0.0009	0.2735
SD	0.01108	0.00093	0.00331	0.00050	0.00035	0.00011	0.00493
SD%	0.01	5.49	9.43	0.29	0.78	12.55	1.80

	Cr	V	Mn	Mo	W	P	Cu
1	0.0151	0.0049	0.7009	-0.0022	0.0001	0.0125	0.0135
2	0.0149	0.0046	0.6399	-0.0020	0.0001	0.0134	0.0139
AVG	0.0150	0.0048	0.6954	-0.0021	0.0001	0.0130	0.0137
SD	0.00014	0.00021	0.00776	0.00012	0.00000	0.00067	0.00030
SD%	0.94	4.32	1.12	5.45	0.00	5.19	2.21

	Ti	N	B	Pb	Sb	Ca	Mg
1	0.0021	0.0001	0.0003	0.0006	0.0001	0.0032	0.0103
2	0.0020	0.0001	0.0003	0.0003	0.0001	0.0030	0.0095
AVG	0.0020	0.0001	0.0003	0.0004	0.0001	0.0031	0.0099
SD	0.00008	0.00000	0.00001	0.00022	0.00003	0.00014	0.00051
SD%	3.62	0.00	2.83	49.62	35.63	4.43	5.11

	Zn	Co
1	0.0013	0.0311
2	0.0013	0.0310
AVG	0.0013	0.0310
SD	0.00001	0.00008
SD%	0.54	0.27



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



PT. ITOKOH CEPERINDO
Stainless Steel & Alloy Steel Casting



COMPANY : PT. ITOKOH CEPERINDO
 SAMPLE NAME : Sample Besi 1. 0
 CUSTOMER : Sdr. Edo Setya N
 FURNACE : ZI2733A03/31
 OPERATOR : PUTRA
 DATE / TIME : 27-SEP-2021 14:41:01
 TASK : Conc_Fei METHOD : FEGLFE

	Fe	S	Al	C	Ni	Nb	Si
1	97.7426	0.0186	0.0003	0.1046	0.0116	0.0011	0.6555
2	97.7608	0.0169	0.0002	0.0994	0.0114	0.0003	0.6475
AVG	97.7522	0.0178	0.0002	0.1020	0.0115	0.0007	0.6515
SD	0.01214	0.00125	0.00011	0.00367	0.00014	0.00060	0.00566
SD%	0.01	7.05	45.65	3.59	1.23	84.10	0.87

	Cr	V	Mn	Mo	W	P	Cu
1	0.0213	0.0002	1.2054	-0.0003	0.0001	0.0131	0.1897
2	0.0213	0.0001	1.2127	-0.0007	0.0001	0.0124	0.1898
AVG	0.0213	0.0002	1.2091	-0.0005	0.0001	0.0128	0.1895
SD	0.00001	0.00005	0.00513	0.00029	0.00000	0.00051	0.00029
SD%	0.03	50.57	0.42	54.21	0.00	4.02	0.16

	Ti	N	B	Pb	Sb	Ca	Mg
1	0.0015	0.0161	0.0005	0.0001	0.0020	0.0002	0.0016
2	0.0015	0.0129	0.0005	0.0001	0.0015	0.0001	0.0001
AVG	0.0015	0.0145	0.0005	0.0001	0.0017	0.0002	0.0008
SD	0.00005	0.00225	0.00003	0.00000	0.00032	0.00013	0.00101
SD%	3.27	15.52	6.18	0.00	18.26	65.37	119.66

	Mn	Co
1	0.0006	0.0059
2	0.0006	0.0058
AVG	0.0006	0.0059
SD	0.00001	0.00007
SD%	2.31	1.20



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



PT. ITOKOH CEPERINDO
Stainless Steel & Alloy Steel Casting



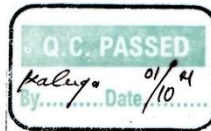
COMPANY : PT. ITOKOH CEPERINDO
 SAMPLE NAME : SAMPLE BESI NO.5 ZN
 CUSTOMER : Sdr. Edo Setya N
 FURNACE : ZJ0112F01/57
 OPERATOR : WENDY
 DATE / TIME : 01-OCT-2021 11:11:01
 TASK : Conc_Fei METHOD : FEGLFE

	Fe*	S	Al	C	Ni	Nb	Si
1	98.0410	0.0182	-0.0025	0.1093	0.0076	0.0006	0.5396
2	98.1477	0.0189	-0.0044	0.1094	0.0077	0.0004	0.5035
AVG	98.0943	0.0186	-0.0034	0.1093	0.0077	0.0005	0.5216
SD	0.07545	0.00043	0.00133	0.00008	0.00012	0.00014	0.02596
SD%	0.08	2.59	38.73	0.07	1.59	28.12	4.89

	Cr	V	Mn	Mo	W	P	Cu
1	0.0187	0.0005	0.9392	-0.0002	0.0007	0.0150	0.1865
2	0.0184	0.0005	0.9493	-0.0002	0.0001	0.0154	0.1843
AVG	0.0186	0.0005	0.9742	-0.0002	0.0004	0.0152	0.1854
SD	0.00025	0.00006	0.03533	0.00002	0.00041	0.00029	0.00150
SD%	1.36	13.00	3.63	10.69	104.92	1.89	0.81

	Ti	N	B	Pb	Sb	Ca	Mg
1	0.0020	0.0417	0.0005	0.0001	0.0040	0.0013	0.0001
2	0.0014	0.0284	0.0005	0.0001	0.0032	0.0008	0.0001
AVG	0.0017	0.0350	0.0005	0.0001	0.0036	0.0010	0.0001
SD	0.00043	0.00941	0.00003	0.00000	0.00051	0.00029	0.00000
SD%	25.61	26.85	5.84	0.00	14.16	28.07	0.00

	Zn	Co
1	0.0021	0.0044
2	0.0017	0.0043
AVG	0.0019	0.0043
SD	0.00029	0.00009
SD%	15.49	2.14



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



PT. ITOKOH CEPERINDO
Stainless Steel & Alloy Steel Casting



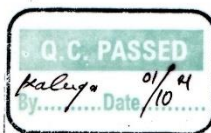
COMPANY : PT. ITOKOH CEPERINDO
 SAMPLE NAME : SAMPLE BESI NO.5 ZN
 CUSTOMER : Sdr. Edo Setya N
 FURNACE : ZJ0112F01/57
 OPERATOR : WENDY
 DATE / TIME : 01-OCT-2021 11:11:01
 TASK : Conc_Fei METHOD : FEGLFE

	Fe*	S	Al	C	Ni	Nb	Si
1	98.0410	0.0182	-0.0025	0.1093	0.0076	0.0006	0.5396
2	98.1477	0.0189	-0.0044	0.1094	0.0077	0.0004	0.5035
AVG	98.0943	0.0186	-0.0034	0.1093	0.0077	0.0005	0.5216
SD	0.07545	0.00043	0.00133	0.00008	0.00012	0.00014	0.02596
SD%	0.08	2.59	38.73	0.07	1.59	28.12	4.89

	Cr	V	Mn	Mo	W	P	Cu
1	0.0187	0.0005	0.9392	-0.0002	0.0007	0.0150	0.1865
2	0.0184	0.0005	0.9493	-0.0002	0.0001	0.0154	0.1843
AVG	0.0186	0.0005	0.9742	-0.0002	0.0004	0.0152	0.1854
SD	0.00025	0.00006	0.03533	0.00002	0.00041	0.00029	0.00150
SD%	1.36	13.00	3.63	10.69	104.92	1.89	0.81

	Ti	N	B	Pb	Sb	Ca	Mg
1	0.0020	0.0417	0.0005	0.0001	0.0040	0.0013	0.0001
2	0.0014	0.0284	0.0005	0.0001	0.0032	0.0008	0.0001
AVG	0.0017	0.0350	0.0005	0.0001	0.0036	0.0010	0.0001
SD	0.00043	0.00941	0.00003	0.00000	0.00051	0.00029	0.00000
SD%	25.61	26.85	5.84	0.00	14.16	28.07	0.00

	Zn	Co
1	0.0021	0.0044
2	0.0017	0.0043
AVG	0.0019	0.0043
SD	0.00029	0.00009
SD%	15.49	2.14



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



PT. ITOKOH CEPERINDO
Stainless Steel & Alloy Steel Casting



COMPANY : PT. ITOKOH CEPERINDO
 SAMPLE NAME : Sample Besi 2. Al
 CUSTOMER : Sdr. Edo Setya N
 FURNACE : ZI2733A03/32
 OPERATOR : PUTRA
 DATE / TIME : 27-SEP-2021 14:42:54
 TASK : Conc_Fei METHOD : FEGLFE

	Fe	S	Al	C	Ni	Nb	Si
1	97.8820	0.0177	0.0011	0.1354	0.0085	0.0006	0.6051
2	97.8099	0.0175	0.0005	0.1257	0.0087	0.0007	0.6393
AVG	97.8460	0.0176	0.0008	0.1305	0.0086	0.0007	0.6225
SD	0.05100	0.00006	0.00046	0.00637	0.00018	0.00007	0.02406
SD%	0.05	0.47	56.06	5.26	2.05	10.27	3.96

	Cr	V	Mn	Mo	W	P	Cu
1	0.0214	0.0003	1.0962	-0.0003	0.0001	0.0118	0.1873
2	0.0215	0.0003	1.1400	-0.0006	0.0001	0.0116	0.1931
AVG	0.0214	0.0003	1.1181	-0.0007	0.0001	0.0117	0.1902
SD	0.00005	0.00000	0.03099	0.00017	0.00000	0.00009	0.00413
SD%	0.23	0.62	2.77	28.47	0.00	0.75	2.17

	Ti	N	B	Pb	Sb	Ca	Hg
1	0.0016	0.0077	0.0005	0.0001	0.0011	0.0018	0.0070
2	0.0016	0.0081	0.0005	0.0000	0.0012	0.0016	0.0047
AVG	0.0016	0.0079	0.0005	0.0001	0.0012	0.0017	0.0059
SD	0.00001	0.00033	0.00003	0.00006	0.00011	0.00016	0.00167
SD%	0.62	4.18	5.78	115.26	9.57	9.61	28.46

	Zn	Co
1	0.0006	0.0043
2	0.0006	0.0043
AVG	0.0006	0.0043
SD	0.00000	0.00002
SD%	0.20	0.45



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



PT. ITOKOH CEPERINDO
Stainless Steel & Alloy Steel Casting



COMPANY : PT. ITOKOH CEPERINDO
 SAMPLE NAME : SAMPLE BESI NO.4 3I
 CUSTOMER : Sdr. Edo Satya N
 FURNACE : ZU0112F01/56
 OPERATOR : WENDY
 DATE / TIME : 01-OCT-2021 11:06:57
 TASK : Conc_Fei METHOD : FEGLFE

	Fe	S	Al	C	Ni	Nb	Si
1	97.9064	0.0210	-0.0060	0.0990	0.0102	0.0009	0.6069
2	97.8699	0.0199	-0.0059	0.1031	0.0092	0.0008	0.6142
AVG	97.8891	0.0205	-0.0059	0.1010	0.0097	0.0008	0.6100
SD	0.02720	0.00077	0.00015	0.00290	0.00071	0.00008	0.00566
SD%	0.03	3.77	2.51	2.87	7.30	9.10	0.96

	Cr	V	Mn	Mo	W	P	Cu
1	0.0209	0.0004	1.0790	0.0000	0.0005	0.0159	0.1914
2	0.0198	0.0005	1.0847	-0.0002	0.0001	0.0148	0.1913
AVG	0.0200	0.0004	1.0816	-0.0001	0.0003	0.0154	0.1914
SD	0.00031	0.00003	0.00399	0.00018	0.00027	0.00078	0.00003
SD%	1.57	7.15	0.37	196.51	92.42	5.05	0.02

	Ti	N	B	Pb	Sb	Ca	Mg
1	0.0013	0.0352	0.0005	0.0001	0.0040	0.0003	0.0001
2	0.0013	0.0615	0.0005	0.0001	0.0032	0.0005	0.0001
AVG	0.0013	0.0484	0.0005	0.0001	0.0036	0.0004	0.0001
SD	0.00002	0.01854	0.00004	0.00000	0.00055	0.00014	0.00000
SD%	1.34	38.85	8.87	0.00	15.21	32.86	0.00

	Zn	Co
1	0.0008	0.0053
2	0.0008	0.0052
AVG	0.0008	0.0052
SD	0.00001	0.00007
SD%	1.62	1.30



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
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

HASIL PENGUJIAN TARIK

No.	Variasi Penambahan Serbuk	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (KN)	ΔL (mm)	Tegangan (MPa)	Regangan (%)
1	Raw_1	4,30	16,98	22,86	2,29	313,09	4,58
2	Raw_2	4,45	15,50	18,44	2,28	267,34	4,56
3	Raw_3	4,18	17,07	21,28	1,43	298,24	2,86
4	Zn_1	4,40	17,23	30,72	5,97	405,21	11,94
5	Zn_2	4,40	15,86	29,97	5,98	429,47	11,96
6	Zn_3	4,43	15,13	24,65	5,98	367,77	11,96
7	Al_1	5,03	15,90	19,21	3,32	240,19	6,64
8	Al_2	4,58	15,96	21,08	1,82	288,38	3,64
9	Al_3	4,69	16,56	21,73	2,15	279,79	4,30
10	Si_1	4,79	14,78	15,18	0,76	214,42	1,52
11	Si_2	4,19	17,75	17,78	1,79	239,07	3,58
12	Si_3	4,53	14,90	14,45	0,80	214,08	1,60

Lembar asli, tidak untuk digandakan

Keterangan:

1. Pengujian dilakukan tanggal 2 Oktober 2021
2. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine
3. Standar spesimen menggunakan JIS Z 2201

Yogyakarta, 2 Oktober 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 Penambahan Serbuk	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (KN)	Defleksi (mm)	Tegangan Bending (MPa)
1	Raw_1	4,22	23,02	6,12	28,75	783,76
2	Raw_2	4,24	22,66	5,85	23,74	753,92
3	Raw_3	4,57	24,01	6,06	28,91	634,46
4	Zn_1	5,05	23,24	5,64	27,64	499,60
5	Zn_2	4,66	24,18	6,03	28,12	602,90
6	Zn_3	4,88	23,94	6,18	29,31	569,09
7	Al_1	4,86	21,99	7,86	27,96	794,48
8	Al_2	5,00	22,96	8,29	27,97	758,23
9	Al_3	4,93	24,49	8,78	28,49	774,41
10	Si_1	4,49	22,97	5,77	27,31	654,16
11	Si_2	4,29	23,95	6,28	28,26	748,00
12	Si_3	4,64	21,82	5,57	29,97	622,48

Lembar asli, tidak untuk digandakan

Keterangan:

1. Pengujian dilakukan tanggal 2 Oktober 2021
2. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine
3. Standar spesimen menggunakan JIS Z 2248

Yogyakarta, 2 Oktober 2021

Staf Laboratorium Bahan Teknik



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

NIP. 197703312002121002



LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

HASIL PENGUJIAN IMPACT

No.	Variasi Penambahan Serbuk	Sudut α (°)	Energi (J)	Sudut β (°)	Energi Terserap (J)	Luas (mm ²)	Harga Impact (J/mm ²)
1	Raw_1	151	300	145,00	8,9	36,6	0,243
2	Raw_2	151	300	145,00	8,9	42,6	0,208
3	Raw_3	151	300	144,00	10,5	40,9	0,257
4	Zn_1	151	300	142,00	13,9	35,1	0,395
5	Zn_2	151	300	143,00	12,2	36,7	0,332
6	Zn_3	151	300	144,00	10,5	44,3	0,237
7	Al_1	151	300	146,00	7,3	39,4	0,185
8	Al_2	151	300	138,00	21,0	40,3	0,523
9	Al_3	151	300	137,00	22,9	38,0	0,604
10	Si_1	151	300	138,00	21,0	40,0	0,526
11	Si_2	151	300	140,00	17,4	40,7	0,427
12	Si_3	151	300	141,00	15,6	39,7	0,393

Lembar asli, tidak untuk digandakan

Keterangan :

1. Menggunakan metode Charpy
2. Standar benda uji mengacu JIS 2202
3. Panjang lengan 0,8 meter
4. Berat palu 20 kilogram
5. Pengujian dilakukan pada tanggal 8 Oktober 2021

Yogyakarta, 8 Oktober 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

Daerah Uji	Titik Uji	D1 (mm)	D2 (mm)	D rata-rata (mm)	Kekerasan (VHN)
Raw_Las	1	41,82	40,00	40,91	221,56
	2	40,91	39,09	40,00	231,75
	3	42,73	40,91	41,82	212,04
Raw_HAZ	1	42,73	42,73	42,73	203,11
	2	43,64	43,64	43,64	194,73
	3	42,73	43,64	43,18	198,86
Raw_Induk	1	47,27	50,00	48,64	156,75
	2	49,09	47,27	48,18	159,73
	3	50,00	47,27	48,64	156,75
Zn_Las	1	37,27	38,18	37,73	260,51
	2	40,91	39,09	40,00	231,75
	3	40,00	40,91	40,45	226,57
Zn_HAZ	1	41,82	42,73	42,27	207,50
	2	43,64	42,73	43,18	198,86
	3	44,55	43,64	44,09	190,74
Zn_Induk	1	52,73	53,64	53,18	131,10
	2	47,27	48,18	47,73	162,78
	3	49,09	50,00	49,55	151,05
Al_Las	1	39,09	40,91	40,00	231,75
	2	40,91	41,82	41,36	216,72
	3	38,18	38,18	38,18	254,35
Al_HAZ	1	40,91	43,64	42,27	207,50
	2	43,64	41,82	42,73	203,11
	3	42,73	44,55	43,64	194,73
Al_Induk	1	47,27	49,09	48,18	159,73
	2	52,73	51,82	52,27	135,70
	3	51,82	50,91	51,36	140,55

Lembar asli, tidak untuk digandakan





LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

PENGUJIAN KEKERASAN VICKERS

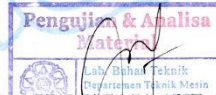
Daerah Uji	Titik Uji	D1 (mm)	D2 (mm)	D rata-rata (mm)	Kekerasan (VHN)
Si_Las	1	38,18	39,09	38,64	248,40
	2	37,27	38,18	37,73	260,51
	3	36,36	36,36	36,36	280,42
Si_HAZ	1	46,36	47,27	46,82	169,17
	2	43,64	44,55	44,09	190,74
	3	42,73	43,64	43,18	198,86
Si_Induk	1	53,64	54,55	54,09	126,73
	2	53,64	55,45	54,55	124,63
	3	44,35	44,35	44,35	188,48

Lembar asli, tidak untuk digandakan

Keterangan:

1. Pengujian dilakukan tanggal 2 Oktober 2021
2. Pengujian menggunakan Hardness Micro Vickers (HMV M-3)
3. Pembebanan menggunakan 200 gf

Yogyakarta, 2 Oktober 2021
Staf Laboratorium Bahan Teknik



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