PENGARUH VARIASI SUHU *ANNEALING* TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN FISIK BAJA AISI 1018 HASIL SAMBUNGAN PENGELASAN MIG DENGAN FLUKS AL_2O_3

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin

Disusun Oleh :

Nama : Daffa Rizal Firmansyah
No. Mahasiswa : 17525072
NIRM : 2017023618

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA

2022

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa tugas akhir yang berjudul "Pengaruh Variasi Suhu *Annealing* Terhadap Sifat Mekanik dan Fisik Baja AISI 1018 Hasil Sambungan Pengelasan MIG dengan Fluks Al_2O_3" adalah hasil kerja saya sendiri. Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tugas akhir ini tidak terdapat tulisan orang lain, kecuali kutipan yang secara tertulis saya jelaskan setiap sumbernya. Apabila pernyataan saya tidak benar di kemudian hari, saya sanggup menerima sanksi atau hukuman sesuai aturan yang berlaku.

Sleman, 8 Februari 2021



Daffa' Rizal Firmansyah

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

PENGARUH VARIASI SUHU *ANNEALING* TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN FISIK BAJA AISI 1018 HASIL SAMBUNGAN PENGELASAN MIG DENGAN FLUKS AL_2O_3

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Daffa Rizal Firmansyah

No. Mahasiswa : 17525072

NIRM : 2017023618

Yogyakarta, 8 Februari 2022

Pembimbing I,

Yustiasih Purwaningrum, S.T., M.T

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

PENGARUH VARIASI SUHU *ANNEALING* TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN FISIK BAJA AISI 1018 HASIL SAMBUNGAN PENGELASAN MIG DENGAN FLUKS AL_2O_3

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Daffa Rizal Firmansyah

No. Mahasiswa : 17525072

NIRM : 2017023618

Tim Penguji

Yustiasih Purwaningrum, S.T., M.T.
Ketua
Tanggal : 10 Maret 2022

Dr. Muhammad Khafid, S.T., M.T.
Anggota I
Tanggal : 9 Maret 2022

Donny Suryawan, S.T., M.Eng.
Anggota II
Tanggal : 4 Maret 2022

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA ★ YOGYAKARTA ★ FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

Ir. Ing. Risdiyono, S.T., M.Eng.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Puji Syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis diberikan kesehatan, kekuatan, dan semangat dalam mengerjakan tugas akhir ini sehingga bisa diselesaikan dengan baik.

Terima kasih kepada kedua orang tua dan kakak penulis yang telah mendukung penulis serta selalu memberikan semangat dan doa agar selalu berusaha meraih yang terbaik. Seindah apapun ucapan ini tidak akan mampu membalas jasa kedua orang tua penulis. Sehingga tugas akhir ini saya persembahkan untuk orang tua penulis.

HALAMAN MOTTO

"Maka sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan, sesungguhnya beserta kesulitan itu ada kemudahan."
(Q.S. Al-Insyirah ayat 5-6)

"Balas dendam terbaik adalah menjadikan dirimu lebih baik."
(Ali bin Abi Thalib)

"Menuntut ilmu adalah takwa. Menyampaikan ilmu adalah ibadah. Mengulang-ulang ilmu adalah zikir. Mencari ilmu adalah jihad." (Abu Hamid Al Ghazali)

"Use your head, not just your spirit. Think, think, think!"
(Kamado Tanjiro of Demon Slayer)

"Every journey has its final day. Don't rush."
(Zhongli of Genshin Impact)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Alhamdulillah, puji dan syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga laporan tugas akhir ini dapat terselesaikan. Sholawat serta salam tidak selalu dipanjatkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah menuntun kita dari zaman jahiliyah menuju kehidupan yang lebih baik melalui ajaran islam. Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar sarjana pada Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.

Proses pelaksanaan dan penyusunan laporan tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan lancar tak lepas dari bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Ayah, Ibu, serta kakak yang selalu memberikan do'a dan dukungan serta motivasi kepada penulis.
2. Bapak Dr.Eng. Risdiyono, S.T., M.Eng. selaku Ketua Prodi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.
3. Ibu Yustiasih Purwaningrum, S.T,.M.T. selaku dosen pembimbing penulis yang tidak lelah memberikan semangat dan arahan selama bimbingan tugas akhir ini.
4. Mas Nur Muhammad Syafii dan Bapak Adi Swandono, A.Md. selaku laboran Laboratorium Proses Produksi dan Laboratorium Metrologi Industri Teknik Mesin FTI UII yang telah membantu penulis saat melakukan proses pengelasan dan pengujian.
5. Seluruh Dosen dan Karyawan pada lingkup Teknik Mesin FTI UII yang telah banyak membantu dan mengajarkan ilmu serta pengalaman dengan sepenuh hati.
6. Bapak Dr. Lilik Dwi Setyana, S.T., M.T selaku pembimbing saat pengujian di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin SV UGM.
7. Edo Setya Noorseta selaku rekan kerja dalam melakukan penelitian tugas akhir ini.
8. Teman-teman seperjuangan Teknik Mesin UII Angkatan 2017.

Akhir kata penulis menyadari bahwa tidak ada yang sempurna, penulis masih melakukan kesalahan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis meminta maaf atas kesalahan serta kekurangan yang ada pada laporan ini.

Penulis berharap semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan dapat dijadikan referensi demi pengembangan ke arah yang lebih baik. Semoga Allah Swt. senantiasa melimpahkan rahmat dan ridha-Nya kepada kita semua.

Wabillahitaufiq walhidayah,
Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Sleman, 8 Februari 2022



Daffa Rizal Firmansyah

ABSTRAK

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi suhu annealing terhadap sifat mekanik dan fisik baja AISI 1018 hasil sambungan pengelasan MIG dengan fluks Al_2O_3. Penelitian ini memakai baja AISI 1018 yang memiliki kandungan unsur 0,1736% C, 0,6954% Mn, 98,669% Fe dan beberapa unsur paduan. Pengelasan MIG semiauto dengan gas pelindung 50% argon dan 50% karbon dioksida serta penambahan fluks Al_2O_3 telah dilakukan. Selanjutnya hasil pengelasan dipotong menjadi bentuk spesimen pengujian. Tiga dari lima kelompok spesimen pengujian dilakukan PWHT annealing dengan suhu 750, 850, dan 950 °C selama 1 jam dan pendinginan didalam furnace sampai suhu spesimen mencapai suhu ruang. Pengamatan foto makro spesimen menunjukkan adanya cacat lack of fusion. Foto mikro menunjukkan adanya perubahan fase yang mulanya pada spesimen non PWHT ferrite dan pearlite kemudian menjadi bainite pada spesimen PWHT 950 °C. Perubahan fase juga diikuti dengan pembesaran ukuran butiran mikro. Hasil uji tarik menunjukkan spesimen annealing suhu 750 °C memilki nilai tegangan tarik tertinggi sebesar 403,5 MPa. Nilai tertinggi regangan didapatkan spesimen 950 °C sebesar 35,3 %. Hasil uji bending spesimen non PWHT memiliki nilai kekuatan bending tertinggi sebesar 775,7 MPa. Hasil uji impak menunjukkan kemiripan harga impak antara spesimen annealing 750 °C dan 850 °C akibat kemiripan struktur mikro. Nilai kekerasan tertinggi diraih oleh spesimen non PWHT, tetapi spesimen annealing 950 °C memiliki nilai kekerasan hampir seragam karena perbedaan struktur yang tidak jauh antara ketiga daerah. Keseluruhan spesimen memiliki ketahanan korosi yang cukup baik.

Kata kunci : MIG, Fluks, PWHT, AISI 1018, Variasi Suhu

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 x
Daftar Tabel xii
Daftar Gambar xiii
Daftar Notasi xvi
Bab 1 Pendahuluan 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Batasan Masalah 2
1.4 Tujuan Penelitian 3
1.5 Manfaat Penelitian 3
1.6 Sistematika Penulisan 3
Bab 2 Tinjauan Pustaka 5
2.1 Kajian Pustaka 5
2.2 Dasar Teori 7
2.2.1 Pengelasan 7
2.2.2 Pengelasan GMAW 8
2.2.3 Fluks 10
2.2.4 Baja 10
2.2.5 *Annealing* 12
2.2.6 Pengujian Material 13
Bab 3 Metode Penelitian 26
3.1 Alur Penelitian 26

3.2 Peralatan dan Bahan 27
3.3 Proses Pengelasan dengan Fluks 36
3.4 Proses Pembuatan Spesimen 38
3.5 Proses *Annealing* 40
3.6 Proses Pengujian 41
3.6.1 Pengujian Komposisi Kimia 41
3.6.2 Pengujian *Dye Penetran*t 41
3.6.3 Pengujian Tarik 43
3.6.4 Pengujian *Bending* 44
3.6.5 Pengujian Impak 45
3.6.6 Pengujian Stuktur Mikro dan Makro 46
3.6.7 Pengujian Kekerasan 48
3.6.8 Pengujian Korosi 49
Bab 4 Hasil dan Pembahasan 50
4.1 Hasil Pengujian Komposisi Kimia 50
4.2 Hasil Pengamatan Struktur Mikro dan Makro 52
4.3 Hasil Pengujian Tarik 56
4.4 Hasil Pengujian *Bending* 58
4.5 Hasil Pengujian Impak 59
4.6 Hasil Pengujian Kekerasan 61
4.7 Hasil Pengujian Korosi 63
Bab 5 Penutup 66
5.1 Kesimpulan 66
5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya 66
Daftar Pustaka 67

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi Baja Karbon (Wirjosumarto & Okumura, 1979) 11
Tabel 2. 2 Tabel Kualitas Resistansi Korosi (Ekasari & Marbun, 2015) 24
Tabel 4. 1 Komposisi Kimia Logam Induk 50
Tabel 4. 2 Komposisi Kimia Logam Las 51
Tabel 4. 3 Foto Mikro Spesimen Hasil Pengelasan 54
Tabel 4. 4 Foto Mikro Spesimen Tanpa Pengelasan 55
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Kekerasan 62
Tabel 4. 6 Hasil Pengukuran Berat Spesimen Selama 40 Hari 64
Tabel 4. 7 Hasil Perhitungan Laju Korosi 64
Tabel 4. 8 Standar Kualitas Ketahanan Korosi 65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Daerah Pengelasan 8
Gambar 2. 2 Proses Pengelasan GMAW (Naidu et al., 2003) 9
Gambar 2. 3 *Burnback* 10
Gambar 2. 4 Grafik Tegangan – Regangan (Sani, 2021) 14
Gambar 2. 5 *Three-point Bending* dan *Four-point Bending* (Nagler, 2019) 15
Gambar 2. 6 *Transversal Face Bend* (Irwandy, 2021) 16
Gambar 2. 7 *Transversal Root Bend* (Irwandy, 2021) 16
Gambar 2. 8 *Transversal Side Bend* (Irwandy, 2021) 17
Gambar 2. 9 *Longitudinal Face Bend* (Irwandy, 2021) 17
Gambar 2. 10 *Longitudinal Root Bend* (Irwandy, 2021) 17
Gambar 2. 11 Metode *Charpy* (Bozkurt et al., 2017) 19
Gambar 2. 12 Jenis Takikan Metode *Charphy* (Sani, 2021) 19
Gambar 2. 13 Metode *Izod* (Ding & Konyukhov, 2018) 20
Gambar 2. 14 Spesimen Metode *Izod* (Sani, 2021) 20
Gambar 2. 15 Pengujian Kekerasan *vickers* 21
Gambar 3. 1 Diagram Alur Penelitian 27
Gambar 3. 2 Mesin Las MIG dan Kawat ER70S-6 27
Gambar 3. 3 Baja AISI 1018 28
Gambar 3. 4 Cairan Aseton 28
Gambar 3. 5 Bubuk Alumunium Oksida 29
Gambar 3. 6 Mesin Bubut 29
Gambar 3. 7 Jig Pengelasan 30
Gambar 3. 8 Perlengkapan APD 30
Gambar 3. 9 Tabung Gas Pelindung 31
Gambar 3. 10 Klem 31
Gambar 3. 11 Ragum 32
Gambar 3. 12 *Muffle Furnace* 32
Gambar 3. 13 Termometer Inframerah 33
Gambar 3. 14 Toolkit 33
Gambar 3. 15 Gerinda Tangan 33

Gambar 3. 16 Kikir Tangan 34
Gambar 3. 17 Ampelas 34
Gambar 3. 18 Resin dan Katalis 35
Gambar 3. 19 Kuas dan Gelas Plastik 35
Gambar 3. 20 Timbangan 35
Gambar 3. 21 Air Laut 36
Gambar 3. 22 Peralatan Uji *Dye Penetrant* 36
Gambar 3. 23 *Setup* Pengelasan 37
Gambar 3. 24 Posisi Pelat Baja pada Jig Pengelasan 37
Gambar 3. 25 Proses Pembuatan Pasta Fluks (Madavi et al., 2021) 38
Gambar 3. 26 Proses Pemotongan Pelat Baja 38
Gambar 3. 27 WPS AWS D1.1 39
Gambar 3. 28 Hasil *Dye Penetrant* 39
Gambar 3. 29 Posisi Spesimen dalam *Furnace* 40
Gambar 3. 30 Spesimen setelah *Annealing* 40
Gambar 3. 31 Spesimen Uji Komposisi Kimia 41
Gambar 3. 32 Tahapan Pengujian *Dye Penetrant* 42
Gambar 3. 33 Dimensi Spesimen Uji Tarik JIS Z 2201 43
Gambar 3. 34 Mesin UTM 44
Gambar 3. 35 Ketentuan Spesimen Uji *Bending* JIS Z 2204 44
Gambar 3. 36 Metode 3-Point Bend Test 44
Gambar 3. 37 Bagian Uji *Bending* Mesin UTM 45
Gambar 3. 38 Ketentuan Spesimen Uji Impak JIS Z 2202 46
Gambar 3. 39 Alat Uji Impak 46
Gambar 3. 40 Mikroskop Stereo Olympus SZ-PT Series 47
Gambar 3. 41 Mikroskop Metalurgi Olympus PME3 47
Gambar 3. 42 Spesimen Uji Struktur Mikro, Makro, dan Kekerasan 48
Gambar 3. 43 Alat Uji Kekerasan Shimadzu HMV M3 48
Gambar 3. 44 Pengujian Korosi 49
Gambar 4. 1 Foto Makro Spesimen Hasil Las Non PWHT 52
Gambar 4. 2 Foto Makro Spesimen Hasil Las dengan *Annealing* 750 °C 53
Gambar 4. 3 Foto Makro Spesimen Hasil Las dengan *Annealing* 850 °C 53

Gambar 4. 4 Foto Makro Spesimen Hasil Las dengan *Annealing* 950 °C 53
Gambar 4. 5 Diagram Tegangan Hasil Uji Tarik 57
Gambar 4. 6 Diagram Batang Regangan Uji Tarik 57
Gambar 4. 7 Diagran Tegangan *Bending* 59
Gambar 4. 8 Diagram Harga Impak 60
Gambar 4. 9 Diagram Kekerasan Spesimen Tanpa Pengelasan 62

DAFTAR NOTASI

GMAW	: *Gas Metal Arc Welding*
MIG	: *Metal Inert Gas*
PWHT	: *Post Weld Heat Treatment*
HVN	: *Hardness Vickers Number*
HAZ	: *Heat Affected Zone*
AISI	: *American Iron and Steel Institute*
JIS	: *Japanese Industrial Standard*
C	: *Carbon* / Karbon
Mn	: *Manganese* / Mangan
Si	: *Silicon* / Silika
Al	: *Aluminum*
Al_2O_3	: *Aluminum Oxide* / Aluminium Oksida

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengelasan adalah proses menyambungkan 2 buah logam/lebih dengan metode mencairkan sebagian logam induk dengan atau tidak dengan logam pengisi hingga terbentuk ikatan kimia. Pengelasan dilakukan menggunakan suhu tinggi dan dapat memakai tekanan maupun tidak. Sambungan yang dihasilkan dari pengelasan cukup kuat dan tahan lama (Messler, 2004). Penerapan pengelasan cukup luas di berbagai bidang industri, seperti pada industri manufaktur kendaraan yang banyak menggunakan logam sebagai bahan dasar maupun pembuatan suku cadangnya.

Pada industri manufaktur kendaaran, pengelasan umum digunakan pada proses perakitan berbagai *part* yang diproduksi secara terpisah dan penyambungan pelat untuk badan kendaraan. Selain itu, pengelasan juga bisa digunakan untuk perawatan dan perbaikan kendaraan, seperti menutup retak dan melakukan penyambungan ulang. Logam yang umum digunakan adalah baja. Baja adalah logam paduan yang sebagian besar terdiri dari besi dan karbon serta unsur paduan lainya. Berdasarkan komposisi kimianya, baja dapat dibedakan menjadi dua jenis secara umum yaitu, baja karbon dan baja paduan (Suarsana, 2017).

Banyak sekali jenis metode pengelasan yang telah ditemukan. Salah satu jenis pengelasan yang dijumpai pada industri manufaktur kendaraan adalah pengelasan GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) atau lebih popular dengan nama MIG (*Metal Inert Gas*). Pengelasan GMAW merupakan pengelasan yang menggunakan elektroda terumpan dan disertai gas pelindung yang bersifat inert, seperti argon (Ar) dan karbondioksida (CO_2). Penambahan fluks oksida dalam pengelasan GMAW dapat menambah sifat keuletan dan kekerasan dalam sambungan las (Madavi et al., 2021).

Pengelasan GMAW menghasilkan panas yang tinggi dalam waktu yang cepat pada logam sehingga terjadi perubahan metalurgi pada logam tersebut. Perubahan metalurgi yang terjadi bisa berupa perubahan keuletan, kekerasan, serta

struktur mikro pada logam. Perubahan metalurgi tersebut dapat mengurangi sifat logam yang dibutuhkan untuk aplikasi tertentu. Untuk itu, perlu dilakukan perbaikan pada logam hasil dari pengelasan. Salah satu cara perbaikan sifat logam adalah perlakuan panas pasca pengelasan atau PWHT (*Post Weld Heat Treatment*).

PWHT merupakan salah satu metode dari proses perlakuan panas. Proses PWHT dilakukan dengan memanaskan kembali seluruh/sebagian logam setelah dilakukan pengelasan untuk meningkatkan sifat dari hasil pengelasan (Totten & Colas, 2016). PWHT terbagi menjadi beberapa jenis tergantung metode, suhu, dan pendinginan logamnya. *Annealing* merupakan salah satu jenis PWHT yang bertujuan untuk melunakkan logam dan meredakan tegangan sisa akibat pengelasan. Proses *annealing* dapat meningkatkan sifat keuletan dan menurunkan kekerasan logam. Berdasarkan uraian latar belakang diatas, penulis bertujuan untuk meneliti pengaruh variasi suhu *annealing* terhadap hasil sambungan pengelasan MIG dengan fluks Al_2O_3 pada pada sifat mekanik dan fisik baja AISI 1018.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, maka penulis merumuskan masalah pada tugas akhir ini yaitu bagaimana pengaruh variasi suhu *annealing* terhadap hasil sambungan pengelasan MIG dengan fluks Al_2O_3 pada pada sifat mekanik dan fisik baja AISI 1018.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada topik tugas akhir ini agar tidak menyimpang dan terarah adalah sebagai berikut:

1. Jenis las yang digunakan adalah las MIG.
2. Parameter pengelasan yang dipakai adalah sama untuk setiap spesimen, yakni tegangan 20-22 V, kecepatan pengelasan 51,7 mm/s. Gas pelindung yang dipakai adalah kombinasi 50% argon dan 50% karbondioksida.
3. Fluks yang dipakai saat pengelasan adalah bubuk alumunium oksida (Al_2O_3).
4. PWHT yang digunakan adalah *annealing* dengan variasi suhu 750, 850, dan 950 ^{O}C.

5. Material yang digunakan adalah baja AISI 1018.
6. Pembahasan penelitian ini hanya mencakup pengaruh variasi suhu *annealing* pada sambungan las MIG dengan fluks teraktivasi terhadap sifat mekanik dan fisik logam dari dilakukannya uji komposisi, uji kerataan, uji tarik, uji bending, uji kekerasan, uji korosi, dan uji pengamatan struktur mikro serta struktur makro.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka penulis menentukan tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh variasi suhu *annealing* terhadap hasil sambungan pengelasan MIG dengan fluks Al_2O_3 pada sifat mekanik dan fisik baja AISI 1018 dari dilakukannya uji komposisi kimia, uji korosi, pengamatan struktur mikro-makro, uji tarik, uji *bending*, uji impak, dan uji kekerasan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini mempunyai manfaat untuk mengetahui pengaruh variasi suhu *annealing* terhadap hasil sambungan pengelasan MIG dengan fluks Al_2O_3 pada pada sifat mekanik dan fisik baja AISI 1018.
2. Penelitian ini mempunyai manfaat untuk mengetahui perbandingan sifat mekanis dan fisik logam dari hasil *annealing* pada logam induk dan sambungan las MIG dengan fluks Al_2O_3.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini diuraikan kedalam lima bab yang disusun berurutan untuk mempermudah dalam pembahasanya. 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

Berikut adalah beberapa jurnal penelitian mengenai perlakuan panas terhadap hasil pengelasan. Jurnal dibawah ini menjadi patokan perlakuan panas yang akan diterapkan pada penelitian tugas akhir ini.

Penelitian yang dilakukan oleh (Azimi et al., 2020) tentang pengaruh variasi *holding time* 30, 45, dan 60 menit pada proses perlakuan panas *annealing* dengan suhu 900 ^{o}C baja AISI 1050 hasil pengelasan SMAW menunjukkan adanya peningkatan nilai ketangguhan impak dan keuletan baja. Berdasarkan pengujian impak yang sudah dilakukan, nilai ketangguhan impak tertinggi didapatkan oleh variasi *holding time* 45 menit, yaitu 2,28 Joule/mm^2. Sedangkan nilai ketangguhan impak terendah didapatkan oleh variasi tanpa perlakuan panas sebesar 1,75 Joule/mm^2. Seluruh spesimen *annealing* menghasilkan patahan ulet sedangkan spesimen tanpa *annealing* menunjukkan patah getas.

Jurnal lain yang ditulis oleh (Widayat & Saputro, 2012) tentang pengaruh *annealing* terhadap nilai kekerasan *Vickers* hasil pengelasan SMAW pada baja EMS-45 menunjukkan adanya penurunan kekerasan setelah diberi perlakuan panas *annealing*. Penurunan kekerasan terbanyak terjadi pada spesimen 750 ^{O}C sebanyak 66 HVN jika dibandingkan dengan spesimen tanpa *annealing* pada titik logam las. Penurunan kekerasan menyebabkan penambahan sifat mampu mesin dan keuletan material EMS-45. Kenaikan sifat keuletan ditandai dengan bentuk patahan *cup-cone.* Sedangkan patahan spesimen tanpa *annealing* adalah berbentuk *granular*.

Selain itu, ada beberapa kajian pustaka dari berbagai penelitian tentang pengaruh fluks terhadap hasil pengelasan yang sudah dilakukan sebelumnya. Hasil penelitian berikut akan menjadi rujukan penggunaan fluks pada penelitian tugas akhir ini.

Hasil penelitian yang dilakukan oleh (Varbai et al., 2017) tentang pengaruh berbagai jenis fluks teraktivasi dalam pengelasan GMAW menunjukkan adanya pengaruh fluks pada *form factor* dan pengaruh unsur oksigen dalam fluks.

Pengaruh fluks pada *internal form factor* yang paling signifikan adalah pada fluks MnO karena dapat menurunkan *internal form factor* sebesar 20%. Sedangkan pada *external form factor*, pengaruh fluks yang paling signifikan adalah pada fluks SiO_2 dengan peningkatan sebesar 37%. Pengaruh unsur oksigen dalam fluks adalah menambah lebar dan mengurangi tinggi muka pengelasan.

Jurnal lain yang dituliskan oleh (Chakraborty et al., 2021) tentang pengelasan MIG *stainless steel* austenit (SS-202) dengan variasi fluks ammonium ferro-sulfat, sodium bikarbonat, dan ammonium karbonat menunjukkan peningkatan pada kedalaman penetrasi, lebar manik las, kualitas las, dan kekerasan pada logam induk serta logam las. Kekerasan pada daerah HAZ menunjukkan perbedaan tidak berarti antara pengelasan fluks dengan tanpa fluks, yaitu pada sampel pengelasan dengan fluks ammonium karbonat menghasilkan nilai kekerasan terendah. Perbedaan sebesar 30 – 50 HVN dengan sampel lainya disebabkan oleh kemiripan pertumbuhan butiran mikro pada daerah HAZ yang terjadi pada seluruh sampel.

Selanjutnya, penelitian lain yang dilakukan oleh (Madavi et al., 2021) pada pengelasan MIG menggunakan beberapa fluks oksida (ZnO, SiO_2, dan Al_2O_3) pada baja SS316 menunjukkan peningkatan tegangan tarik, kedalaman penetrasi, serta struktur mikro yang lebih teratur. Analisis struktur mikro menggunakan SEM menunjukkan hasil pengelasan dengan menggunakan variasi fluks menghasilkan struktur butiran yang lebih tertata dan meningkatkan struktur serta permukaan las dibandingkan pengelasan tanpa fluks. Pengelasan menggunakan variasi fluks juga menambahkan kedalam penetrasi sebesar 20,82% dibandingkan pengelasan tanpa fluks. Pengujian tarik menunjukkan hasil pengelasan menggunakan variasi fluks meningkatkan nilai UTS sebesar 10,80% dibandingkan pengelasan tanpa fluks. Fluks Al_2O_3 menunjukkan peningkatan seluruh sifat mekanik dan fisik dari hasil pengelasan dibandingkan kedua fluks lainya, sehingga menjadi referensi fluks pada penelitian tugas akhir ini.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Pengelasan

Pengelasan adalah proses menyambungkan 2 buah logam/lebih dengan metode mencairkan sebagian logam induk dengan atau tidak dengan logam pengisi hingga terbentuk ikatan kimia. Pengelasan dilakukan menggunakan suhu tinggi dan dengan atau tidak memakai tekanan. Menurut *American Welding Society*, pengelasan adalah proses penggabungan material yang menghasilkan gabungan material dengan memanaskan material itu hingga mencapai suhu leleh dengan menggunakan tekanan maupun tidak menggunakan tekanan atau hanya menggunakan tekanan saja dan memakai atau tidak memakai material pengisi.

Kelebihan pengelasan adalah sambungan yang dihasilkan cukup kuat dan tahan lama sehingga penerapanya luas di berbagai bidang industri, manufaktur, dan perawatan. Proses yang bisa manual maupun otomatis juga menjadi nilai unggul dari pengelasan. Kekurangan pengelasan adalah terjadinya perubahan sifat fisik dan mekanik dari material yang dilas. Kekurangan lainya adalah jika sambungan atau hasil pengelasan salah, perbaikannya adalah dengan merusak sambungan yang dapat merusak material.

Pengelasan secara umum dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu:

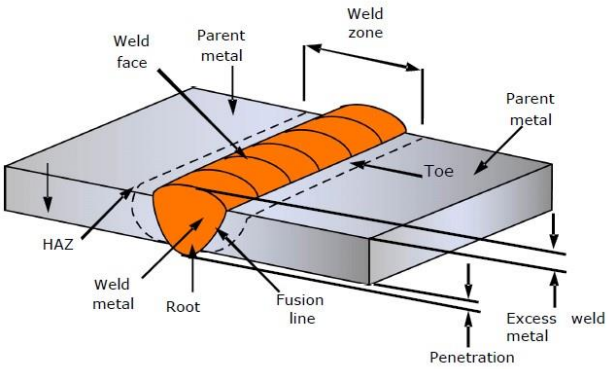
1. Pengelasan busur listrik
2. Pengelasan gas
3. Pengelasan resistansi listrik
4. Pengelasan *solid state*
5. Pengelasan *high energy beam*

Pada pengelasan, material akan naik suhunya akibat panas yang dihasilkan. Panas tersebut akan menghasilkan 3 daerah:

1. Daerah logam induk / *parent metal*: daerah yang terkena panas pengelasan tetapi tidak mengalami perubahan strruktur mikro
2. HAZ (*Heat Affected Zone*): daerah yang terkena panas pengelasan dan mengalami perubahan struktur mikro

3. Daerah logam las / *weld metal*: daerah yang terkena panas pengelasan hingga melebihi titik kritis dan bercampur dengan logam pengisi serta terjadi perubahan struktur mikro yang signifikan.

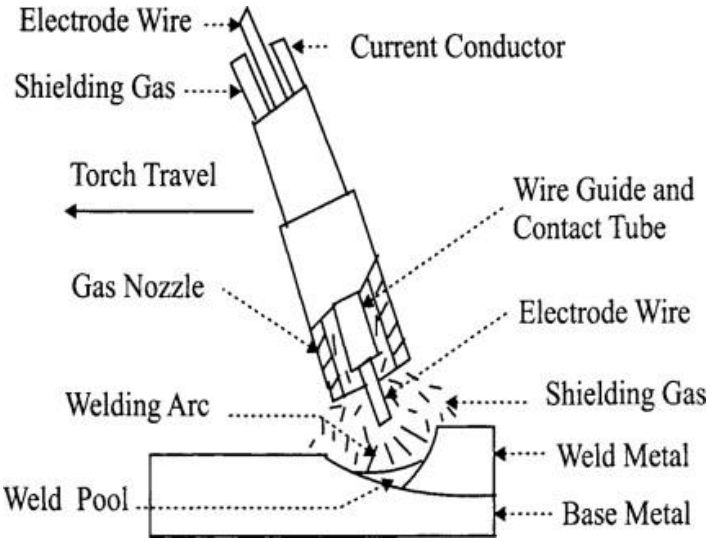
Ketiga daerah pengelasan yang dijelaskan diatas diilustrasikan gambar 2.1 berikut.



Gambar 2. 1 Daerah Pengelasan

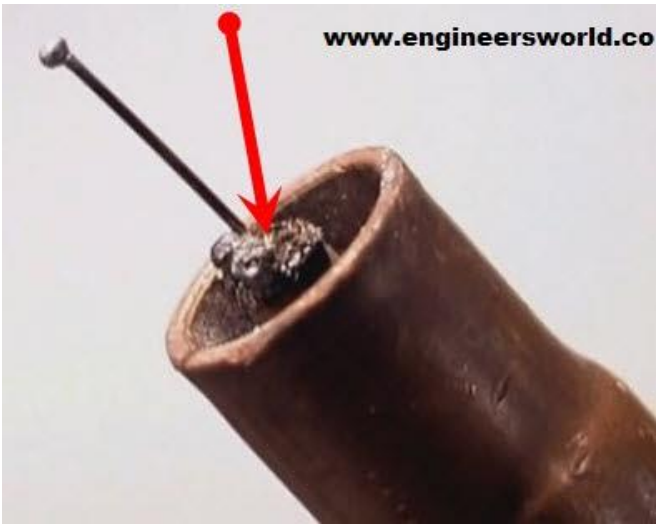
2.2.2 Pengelasan GMAW

Pengelasan GMAW (*gas metal arc welding*) atau lebih popular dengan nama MIG (*metal inert gas*) adalah metode pengelasan busur listrik yang menggunakan gas pelindung dan elektroda berupa kawat yang terumpan. Pengelasan GMAW menggunakan gas pelindung yang bersifat inert atau tidak mudah bereaksi dengan lingkungan, sehingga dapat melindungi busur listrik dari udara luar selama pengelasan berlangsung. Unsur oksida logam akan terbentuk selama pengelasan MIG akibat gabungan oksigen dan karbon dari logam las. Unsur – unsur lainya yang bisa bereaksi dengan logam las dapat menyebabkan cacat las (Agus & Pramono, 2021). Proses pengelasan GMAW secara visual diilustrasikan oleh gambar 2.2 berikut.



Gambar 2. 2 Proses Pengelasan GMAW (Naidu et al., 2003)

Gas pelindung yang biasanya dipakai adalah gas mulia seperti helium (He) dan argon (Ar), namun ada juga gas pelindung yang tidak termasuk gas mulia, yaitu karbondioksida (CO_2). Kawat elektroda pengelasan GMAW akan dipasok secara kontinyu karena ada motor pengumpan kawat pada mesin las GMAW sehingga hasil pengelasan GMAW konsisten dan cocok untuk pekerjaan yang membutuhkan kecepatan serta kualitas yang tinggi. Kelebihan pengelasan GMAW adalah yang lainya adalah tidak menghasilkan terak. Kekurangan pengelasan GMAW adalah biaya peralatan termasuk mahal jika dibandingkan dengan metode pengelasan lainnya serta dapat terjadi *burnback*, yaitu kawat elektroda las menempel pada ujung *torch / contact tip* yang menyebabkan pengelasan berhenti. *Burnback* diilustrasikan pada gambar 2.3 berikut.



Gambar 2. 3 *Burnback*

2.2.3 Fluks

Fluks adalah material yang menginisiasi penggabungan logam dalam proses pengelasan. Fluks bisa berbentuk serbuk maupun pasta, serta umunya dijumpai sebagai pelapis dalam elektroda pengelasan. Fungsi utama fluks adalah mencegah oksidasi dari logam induk dan logam pengisi saat pengelasan (Primahidin, 2019). Fluks juga membantu aliran logam las agar tidak tercecer yang menyebabkan *spatter*. Contoh fluks yang umum digunakan adalah ammonium klorida, zinc klorida, dan boraks.

2.2.4 Baja

Baja adalah logam gabungan dari Fe dan C serta tambahan unsur lain yang seperti Zn, Mn, N, S, P, dan unsur-unsur lainya. Unsur-unsur tambahan tersebut biasanya berasal dari residu pembuatan baja atau ditambahkan sesuai permintaan untuk mencapai sifat tertentu. Berdasarkan komposisi kimianya, baja dapat dibedakan menjadi dua jenis secara umum yaitu, baja karbon dan baja paduan (Suarsana, 2017).

a. Baja Karbon

Baja karbon adalah baja yang memiliki kandungan Fe dan C tetapi unsur paduannya dalam jumlah kecil sehingga tidak memengaruhi sifat dari baja tersebut.

Baja dengan unsur Mn < 0,8%, Si < 0,5%, dan unsur lainya yang sangat sedikit merupakan ciri kimia dari baja karbon. Saat pembuatan baja, produsen menambahakn Mn dan Si yang berperan sebagai deoksidiser untuk mengeliminasi efek jelek dari unsur pengotor dalam pembuatan baja. Berikut adalah klasifikasi baja karbon menurut (Wirjosumarto & Okumura, 1979) pada tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Klasifikasi Baja Karbon (Wirjosumarto & Okumura, 1979)

Jenis	Kelas	%C	σ_Y (MPa)	σ_u (MPa)	Perpanjangan	HBN	Penggunaan
Baja Karbon Rendah	Baja lunak khusus	0,08	18-28	32-36	40-30	95-100	Batang Kawat Pelat 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 terbagi menjadi 3 jenis berdasarkan kadar karbon.:

- Baja karbon rendah

Baja karbon rendah memiliki kadar C < 0,2 %. Baja karbon rendah digunakan sebagai baja konstruksi, rangka kendaraan, pembuatan mur baut, pelat baja, pipa baja dan lain-lain. Baja karbon rendah bersifat lunak dan kekuatannya rendah, tetapi keuletannya tinggi sehingga mudah dibentuk dan diproses dengan alat.

- Baja karbon sedang

Baja karbon sedang memiliki kadar C diantara 0,25 hingga 0,55 %. Baja karbon sedang memiliki sifat lebih kuat dan keras sehingga dapat dikeraskan. Aplikasinya juga mirip seperti baja karbon rendah tetapi lebih memerlukan sifat kekerasan yang baik sehingga awet dari aus, seperti poros, roda gigi, dan *bearing*.

- Baja karbon tinggi

Baja karbon tinggi memiliki kadar C > 0,55 %. Baja ini memiliki kekerasan yang baik, tetapi keuletan dan ketangguhannya kurang baik. Baja ini diaplikasikan untuk kebutuhan alat-alat yang tahan aus, seperti mata bor, palu, dan perkakas lainnya.

b. Baja Paduan

Baja paduan adalah baja yang ditambahkan unsur lainya saat proses pembuatan baja demi meningkatkan sifat – sifat mekanis tertentu, seperti kekerasan, ketangguhan, tahan karat, dan sifat – sifat lainya. Baja paduan terbagi menjadi 2 berdasarkan kandungan unsur paduannya :

- Baja paduan rendah

Baja paduan rendah memiliki kandungan unsur paduan < 10 %. Sifat kekuatan ketangguhan, dan keuletan baja paduan rendah bisa melebihi baja karbon yang memiliki kandungan C setara. Umumnya digunakan dalam konstruksi mesin.

- Baja paduan tinggi

Baja paduan tinggi adalah baja dengan unsur paduan yang tinggi sehingga memiliki keunggulan di berbagai sifat tertentu sesuai dengan pengaruh unsur paduannya. Contoh umum baja paduan tinggi adalah baja tahan karat, baja perkakas / HSS (*High Speed Steel*), baja tahan panas, dan baja lainya yang memiliki keunggulan tertentu.

2.2.5 *Annealing*

Annealing adalah salah satu dari beberapa jenis perlakuan panas yang sering diterapkan pada logam. *Annealing* merupakan perlakuan panas dengan suhu mendekati kritis dan didinginkan dengan sangat pelan agar tidak terjadi pengerasan. Proses *annealing* tidak melibatkan udara luar ketika logamnya masih panas karena dapat menyebabkan lapisan logam terluar menjadi teroksidasi. Suhu *annealing* berkisar mendekati *temperature* kritis yang berbeda-beda untuk setiap baja karbon. Suhu *annealing* pada baja karbon rendah adalah 1650 F, sedangkan pada baja karbon tinggi berkisar diantara 1400 F hingga 1500 F. Suhu tersebut harus ditahan untuk beberapa waktu agar panas logam merata ke permukaan

logam. Suhu *annealing* harus dijaga agar tidak melebihi titik kritis agar butiran struktur mikro dari logam tidak kasar. (Oberg, 2017)

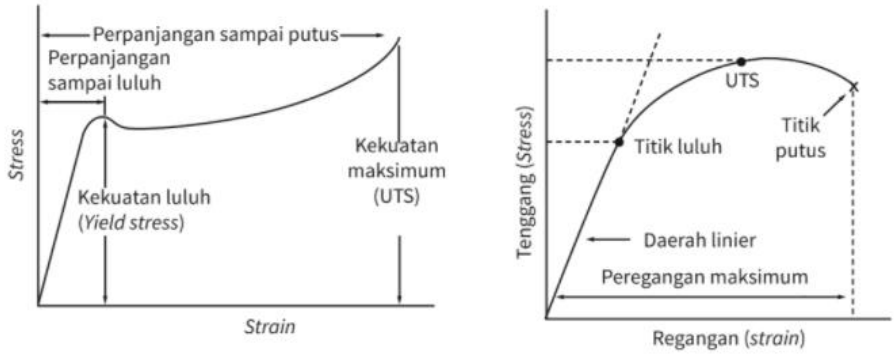
Proses *Annealing* bertujuan untuk menghasilkan butiran – butiran struktur mikro logam yang lebih halus dan memperbaiki ukuran butiran struktur mikro logam sehingga meningkatkan keuletan dan mengurangi tegangan internal yang dapat menyebabkan kegetasan (Dieter, 1996). Proses pemanasan pada *annealing* akan merekristalisasi butiran mikro yang kasar menjadi halus dan lebih teratur. Pendinginan yang dilakukan secara perlahan-lahan dengan udara didalam *furnace* menyebabkan struktur butiran saat rekristalisasi tetap sama sehingga tidak terjadi pembentukan *case* dengan perbedaan struktur mikro.

2.2.6 Pengujian Material

a. Pengujian Tarik

Pengujian tarik adalah pengujian yang berfungsi untuk memprediksi perilaku sebuah material ketika diberi tekanan uniaksial. Hasil pengujian tarik digunakan sebagai dasar pemilihan material pada desain sehingga bisa memprediksi nilai *safety factor* dari desain. Sifat-sifat material yang didapatkan dari pengujian tarik adalah: deformasi plastis yang berguna untuk menentukan *safety factor* material, keuletan yang berguna untuk perhitungan tegangan dan penerapan material, serta elastisitas (Davis, 2004).

Pada pengujian tarik, spesimen diberi beban aksial pada kedua ujungnya dan kemudian diamati regangan yang terjadi pada spesimen dengan mengamati perpanjangan spesimen. Hasil dari uji tarik adalah grafik tegangan – regangan, contohnya adalah pada gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Grafik Tegangan – Regangan (Sani, 2021)

Besar tegangan tarik diperoleh dari pembagian beban dan luas penampang daerah yang dikenai beban. Secara matematis dapat dirumuskan

$$\sigma = \frac{P}{A} \tag{2.1}$$

dengan:

σ = Tegangan tarik (N/m^2 atau Pa)

P = Beban (N)

A = Luas penampang (m^2).

Pengujian tarik juga akan menghasilkan nilai regangan, yaitu nilai perbandingan perubahan panjang spesimen dan panjang akhir spesimen setelah dikenai tegangan. Nilai regangan tidak mempunyai satuan karena merupakan perbadingan nilai dengan dimensi yang sama. Secara matematis dapat ditunjukkan dengan

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \tag{2.2}$$

dengan:

ε = Regangan

ΔL = Perubahan panjang spesimen (m)

L_0 = Panjang awal spesimen (m).

Hubungan antara tegangan tarik dan regangan adalah *young's modulus*. *Young's modulus* atau lebih umum dikenal dengan modulus elastisitas mewakili ketahanan material terhadap perubahan panjang. *Young's modulus* memiliki satuan N/m^2 atau Pa. *Young's modulus* diwakilkan dengan persamaan sebagai berikut (Umar, 2007)

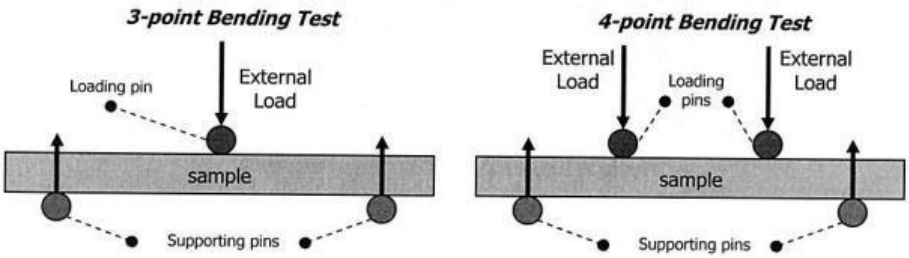
$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F / A}{\Delta L / L_0} \tag{2.3}$$

dengan E adalah modulus elastisitas (N/m^2 atau Pa), σ adalah tegangan (N/m^2 atau Pa), ε adalah regangan, F adalah gaya (N), A merupakan luas penampang (m^2), ΔL adalah perubahan panjang (m), dan L_0 adalah panjang awal (m).

b. Pengujian Lengkung / *Bending*

Pengujian *bending* adalah pengujian yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan material terhadap kelengkungan ketika diberi beban. Pengujian ini dapat menentukan seberapa baik material bisa melengkung karena beberapa proses produksi membutuhkan pelengkungan material agar bisa digunakan sebagai *part*. Spesimen hasil pengujian merupakan salah satu jenis spesimen yang sering diujikan *bending*. Pengujian *bending* bisa digunakan untuk menguji kelentukan hasil pengelasan pada daerah logam las maupun HAZ (Irwandy, 2021).

Pengujian lengkung umumnya memakai 2 metode, yaitu *three-point bending* dan *four-point bending.* Perbedaan antara keduanya adalah jumlah dan penempatan beban pada spesimen yang dijelaskan pada gambar 2.5.



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

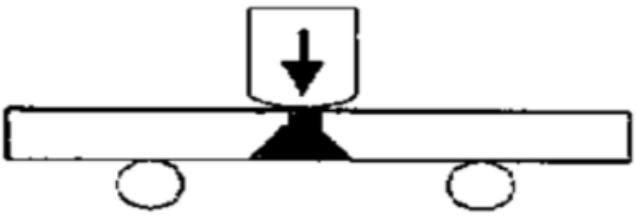
Pengujian *bending* untuk hasil pengelasan dibagi menjadi 2 dari jenis penempatan spesimen, yaitu transversal dan longitudinal.

- Transversal *bending*

Pada transversal *bending*, spesimen diposisikan tegak lurus dengan arah pengelasan. Transversal *bending* dibagi lagi menjadi 3 jenis dari arah pembebanannya :

a) *Face bend*

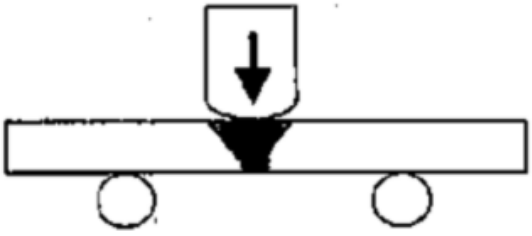
Pada *face bend*, pembebanan dilakukan pada *root* pengelasan sehingga tegangan tarik terjadi di permukaan / *face*. Selanjutnya ditinjau apakah ada retak atau tidak pada permukaan las, jika ada ditinjau lagi retakan tersebut ada di daerah logam las, HAZ, atau daerah antara logam las dan HAZ / *fusion zone*.



Gambar 2. 6 *Transversal Face Bend* (Irwandy, 2021)

b) *Root bend*

Pada *root bend*, pembebanan dilakukan pada permukaan / *face* pengelasan sehingga tegangan tarik terjadi di *root* pengelasan. Selanjutnya ditinjau apakah ada retak atau tidak pada *root* pengelasan, jika ada ditinjau lagi retakan tersebut ada di daerah logam las, HAZ, atau daerah antara logam las dan HAZ / *fusion zone.*

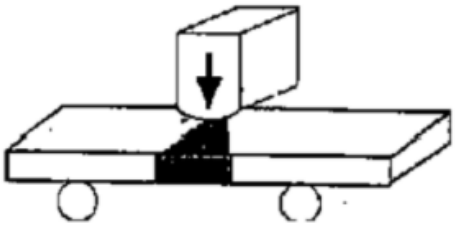


Gambar 2. 7 *Transversal Root Bend* (Irwandy, 2021)

c) *Side bend*

Pada *side bend*, pembebanan dilakukan pada sisi samping las sehingga tegangan tarik mengenai seluruh daerah pengelasan. Selanjutnya ditinjau apakah ada retakan atau tidak. jika ada ditinjau lagi retakan tersebut ada di daerah logam

las, HAZ, atau daerah antara logam las dan HAZ / *fusion zone*. Perlu diketahui bahwa metode *side bend* hanya dilakukan untuk material dengan ketebalan lebih dari 3/8 inchi atau 9,525 milimeter.

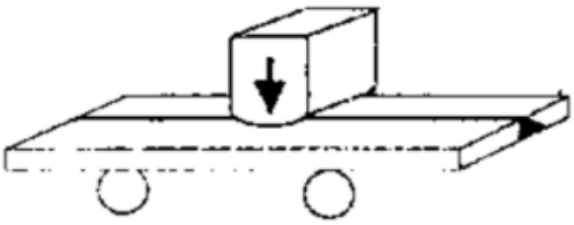


Gambar 2. 8 *Transversal Side Bend* (Irwandy, 2021)

- Longitudinal *bending*

a) *Face bend*

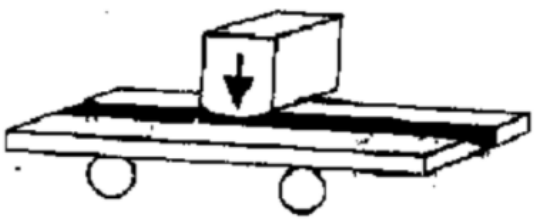
Pada *face bend*, pembebanan dilakukan pada root pengelasan sehingga tegangan tarik terjadi di permukaan / *face*. Selanjutnya ditinjau apakah ada retak atau tidak pada permukaan las, jika ada ditinjau lagi retakan tersebut ada di daerah logam las, HAZ, atau daerah antara logam las dan HAZ / *fusion zone.*



Gambar 2. 9 *Longitudinal Face Bend* (Irwandy, 2021)

b) *Root bend*

Pada *root bend*, pembebanan dilakukan pada permukaan / face pengelasan sehingga tegangan tarik terjadi di *root* pengelasan. Selanjutnya ditinjau apakah ada retak atau tidak pada *root* pengelasan, jika ada ditinjau lagi retakan tersebut ada di daerah logam las, HAZ, atau daerah antara logam las dan HAZ / *fusion zone*.



Gambar 2. 10 *Longitudinal Root Bend* (Irwandy, 2021)

Pengujian *bending* menghasilkan nilai tegangan *bending* yang berasal dari perhitungan pada rumus berikut

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

dengan:

S = Tegangan bending (MPa)

P = Gaya tekan (N)

L = Panjang spesimen (m)

b = Lebar spesimen (m)

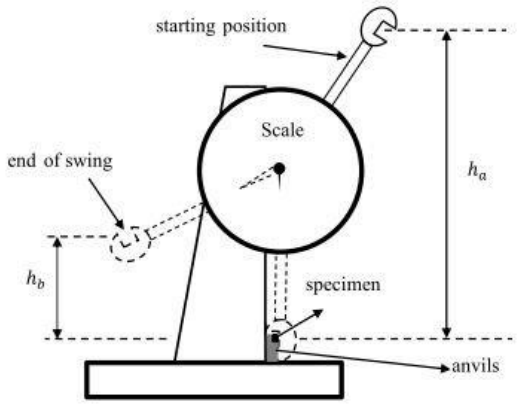
d= tebal spesimen (m)

c. Pengujian Impak

Pengujian impak bertujuan untuk mengukur ketangguhan material ketika dikenai beban kejut / impak sehingga dapat mengetahui kegetasan/keuletan material. Menurut (Gunanto & Pramono, 2021), uji impak mengukur kemampuan material menyerap energi potensial dari bandul yang ditahan pada ketinggian tertentu lalu ditumbukkan ke material tersebut. Pada umumnya, pengujian impak memiliki 2 jenis metode yang masing – masing berbeda pada dimensi spesimen, arah tumbukan serta penempatan takik, yaitu metode *charpy* dan *izod* (Sani, 2021).

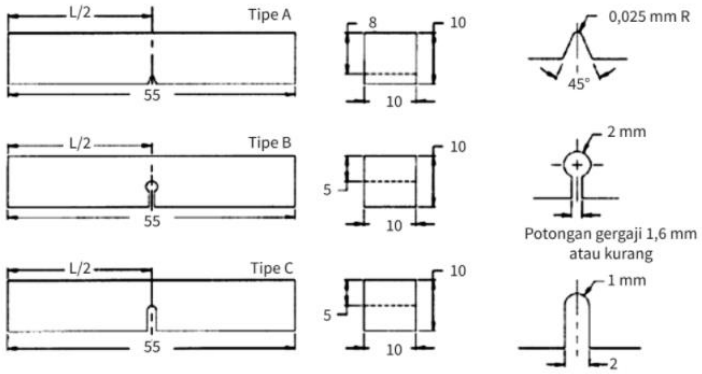
- Metode *Charpy*

Metode *charpy* merupakan metode yang ditemukan oleh Georges Charphy (1865 – 1945). Metode *charpy* mengukur energi yang diserap material saat ditumbuk bandul. Metode *charphy* bisa digunakan pada logam, komposit, polimer, dan polimer. Spesimen diatur horizontal sehingga bandul akan menabrak bagian tengah spesimen serta posisi takikan menghadap searah ayunan bandul. Berikut adalah ilustrasi metode *charpy* yang ditampilkan pada gambar 2.11.



Gambar 2. 11 Metode *Charpy* (Bozkurt et al., 2017)

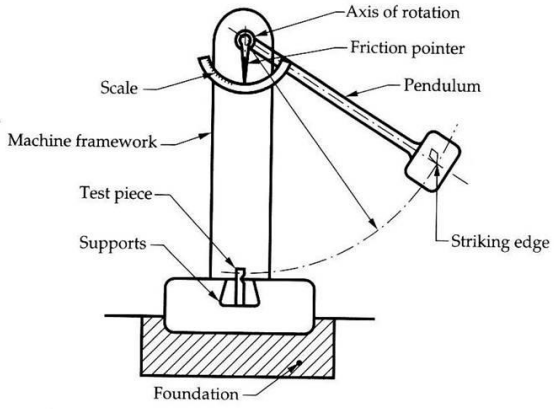
Spesimen metode *charphy* memiliki dimensi 10 x 10 x 55 mm dengan takikan ditengah spesimen, namun memliki 3 jenis bentuk takikan, yaitu V, U / *Saw-cut*, dan *keyhole*. Dimensi takikan secara detail dijelaskan pada gambar 2.12.



Gambar 2. 12 Jenis Takikan Metode *Charphy* (Sani, 2021)

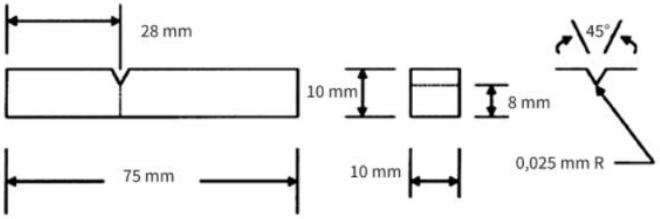
- Metode *Izod*

Metode *izod* ditemukan oleh Edwin Gilbert Izod (1876 – 1946). Prinsip metode *izod* sama seperti metode *charpy*, tetapi ada perbedaan pada dimensi spesimen, arah takikan, serta penempatan spesimen. Spesimen akan ditempatkan vertikal pada ragum dengan bagian yang akan dikenai bandul tidak dijepit. Metode *izod* diilustrasikan pada gambar 2.13.



Gambar 2. 13 Metode *Izod* (Ding & Konyukhov, 2018)

Spesimen metode *izod* berukuran 10 x 10 x 75 mm dengan takikan V 45^{O} yang terletak 28 mm dari bagian ujung yang akan dikenai bandul. Dimensi spesimen metode *izod* diilustrasikan pada gambar 2.14.



Gambar 2. 14 Spesimen Metode *Izod* (Sani, 2021)

Pada pengujian impak didapatkan beberapa data yang digunakan untuk menghitung energi impak, yaitu energi yang diperlukan untuk mematahkan spesimen. Persamaan energi impak adalah

$$W = G\ x\ L\ (cos\beta - cos\alpha) \quad (2.5)$$

dengan :

W = Energi Impak (kgfm)

G = Berat Pendulum (kgf)

L = Jarak Lengan Pengayun (m)

$Cos\beta$ = Sudut Akhir Posisi Pendulum

$Cos\alpha$ = Sudut Awal Posisi Pendulum

Setelah didapatkan energi impak, untuk menilai mutu sebuah material diperlukan nilai ketangguhan impak. Nilai ketangguhan impak didapatkan melalui rumus

$$K = \frac{W}{A_0} \tag{2.6}$$

dengan:

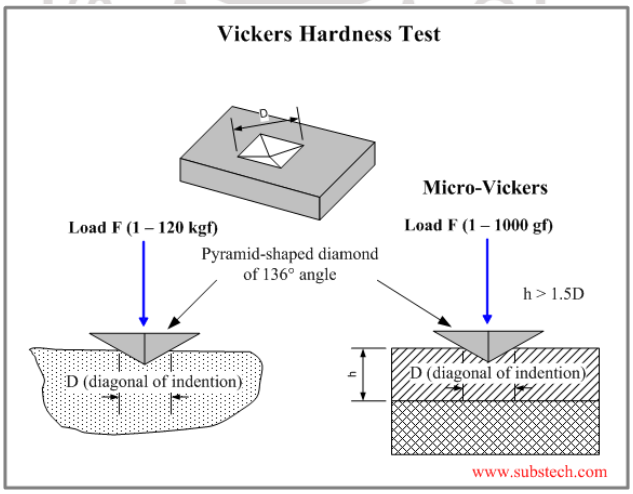
K = Nilai Ketangguhan Impak (kgfm/mm^2)

W = Energi Impak (kgfm)

A_0 = Luas penampang bagian bawah takikan (mm^2)

d. Pengujian *Microhardness Vickers*

Pengujian kekerasan merupakan pengujian yang bertujuan untuk mengukur ketahanan material terhadap beban lokal yang terpusat melalui indentor (Sani, 2021). Pengujian kekerasan juga bisa menilai ketahanan material terhadap goresan maupun abrasi. Pengujian kekerasan mikro merupakan pengujian kekerasan dengan gaya penekanan 10 – 1000 gf dan tepat dilakukan untuk menguji kekerasan lapisan terluar maupun beberapa fase berbeda dari material. Ilustrasi pengujian kekerasan *vickers* bisa dilihat pada gambar 2.15.



Gambar 2. 15 Pengujian Kekerasan *vickers*

Pengujian kekerasan mikro *vickers* adalah salah satu dari beberapa jenis pengujian kekerasan. Pengujian mikro *vickers* menggunakan indentor berbentuk piramida dengan sudut 136^O dan berbahan intan. Pembebanan pada metode *vickers* dilakukan pada rentang 5 – 45 detik. Hasil indentasi kemudian dilihat melalui mikroskop untuk mengetahui panjang diagonal indentasi. Hasil indentasi tersebut digunakan untuk mengukur nilai kekerasan *vickers*. Nilai kekerasan *vickers* didapatkan dari rumus berikut.

$$HVN = \frac{1{,}854\ x\ F}{D^2} \quad (2.7)$$

dengan:

HVN = Nilai kekerasan *vickers* atau *Hardness Vickers Number*

F = gaya penekanan (kg)

D = panjang diagonal indentasi (mm)

e. Pengujian *Dye Penetrant*

Pengujian *Dye Penetrant* merupakan salah satu jenis pengujian tidak merusak. Pengujian *Dye Penetrant* bertujuan untuk mendeteksi kecatatan pada permukaan logam maupun non logam. Pengujian ini sering dilakukan setelah dilakukan pengelasan. Prinsip kapilaritas digunakan pada pengujian ini, dengan membiarkan penetrant masuk ke dalam cacat dan selanjutnya *developer* akan menunjukkan letak cacat tersebut terlihat secara kasat mata.

Pengujian ini menggunakan 3 macam larutan, yaitu *cleaner, penetrant,* dan *developer*. *Cleaner* berfungsi untuk membersihkan permukaan dari kotoran, minyak, dan residu lain yang dapat menganggu sebelum maupun sesudah pengujian. Cairan *penetrant* akan memasuki cacat yang terbuka pada permukaan dan selanjutnya *developer* akan mengembangkan cairan *penetrant* sehingga indikasi cacat akan terlihat pada permukaan. *Penetrant* memerlukan waktu agar seluruh cairan bisa memasuki cacat dengan sempurna, untuk itu diperlukan waktu tunggu / *dwell time* setidaknya 5 menit atau mengikuti spesifikasi produsen cairan pengujian.

Pengujian *dye penetrant* memiliki kelebihan ekonomis, cepat, tidak merusak objek pengujian, portabel, dan cocok untuk hasil pengelasan dan bentuk kompleks. Namun terdapat kekurangan seperti hanya mendeteksi cacat yang terbuka pada permukaan sehingga cacat yang tidak terbuka di permukaan tidak diketahui. Selain itu, pengujian *dye penetrant* tidak bisa dilakukan pada objek berpori-pori dan mempunyai permukaan yang kasar.

f. Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi bertujuan untuk mengetahui struktur makro dan mikro dari material. Hasil dari pengujian metalografi dapat menjadi acuan dalam menentukan hubungan sifat mekanis dari material dengan struktur butiran pada material.

Pengujian makro adalah pengujian untuk melihat struktur dari material dengan menggunakan perbesaran mikroskop dibawah 50x. Pengujian makro menampilkan gambar bagian permukaan spesimen. Pengujian makro dapat menentukan sifat struktur, cacat, dan segregasi elemen campuran dengan mata telanjang maupun perbesaran minimal dari mikroskop.

Pengujian mikro adalah pengujian untuk melihat struktur butiran dari material dengan menggunakan perbesaran 50 – 1000x. Hasil pengujian mikro adalah gambar dari struktur butiran material dari berbagai fasa. Pada spesimen pengelasan akan terlihat bagaimanan struktur mikro dari logam las, HAZ, dan logam induk yang masing – masing memiliki fasa yang berbeda akibat panas pengelasan.

g. Pengujian Korosi

Menurut (Herlina Sari et al., 2021), korosi merupakan perubahan warna, penurunan kualitas, fenomena destruktif dari bahan sebgai akibat dair adanya reaksi reduksi-oksidasi secara kimiawi maupun elektrokimia antara bahan dengan berbagai zat korosif di lingkungannya. Korosi adalah fenomena merusak bagi aset industri, bangunan, dan rumah tangga.

Pengujian korosi bertujuan untuk mengetahui laju korosi dari sebuah material. Laju korosi adalah banyaknya massa yang hilang akibat korosi per satuan waktu. Untuk mendapatkan laju korosi, digunakan metode *weight loss* yaitu dengan merendam spesimen dalam beberapa waktu yang telah ditentukan pada air. Nilai laju korosi dapat menjadi referensi untuk tindakan pencegahan korosi pada material yang akan dipakai saat produksi maupun perawatan. Nilai laju korosi didapatkan dari rumus berikut:

$$Laju\ korosi\ (mmpy)\ =\ \frac{K\ x\ W}{D\ x\ A\ x\ T} \tag{2.8}$$

dengan:

K = konstanta ($8{,}76x10^4$ untuk *millimeter per year* atau mmpy)

W= massa yang hilang (g)

D = massa jenis material (g/cm^3)

A = total luas penampang material (cm^2)

T = waktu pengujian (jam)

Nilai laju korosi selanjutnya digunakan untuk mengukur daya tahan korosi sebuah material. Berikut adalah tabel 2.2 yang menampilkan kualitas resistansi korosi material berdasarkan nilai laju korosinya.

Tabel 2. 2 Tabel Kualitas Resistansi Korosi (Ekasari & Marbun, 2015)

Relative to corrosion resistance	Corrosion rate	
	(mpy)	(mm/year)
Outstanding	< 1	<0.025
Excellent	1 - 5	0.025 - 0.1
Good	5 - 20	0.1 - 0.5
Fair	20 - 50	0.5 - 1.27
Poor	50 - 200	1.27 - 5.08
Unacceptable	200 ++	5.08 ++

Hasil laju korosi dapat digunakan untuk menentukan perlakuan serta aplikasi yang tepat untuk material tersebut. Laju korosi juga dapat digunakan untuk mengetahui keberhasilan pelapisan pada material.

h. Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia bertujuan untuk mengetahui kandungan unsur apa saja yang terdapat pada material (Setiawan, 2013). Pengujian komposisi kimia menggunakan alat *spectrometer* yang berguna untuk mendeteksi unsur yang ada pada material melalui cahaya.

Hasil dari pengujian komposisi digunakan untuk mengetahui nilai *carbon equivalent value* (CEV) yang menjadi dasar kelayakan baja untuk pengelasan.

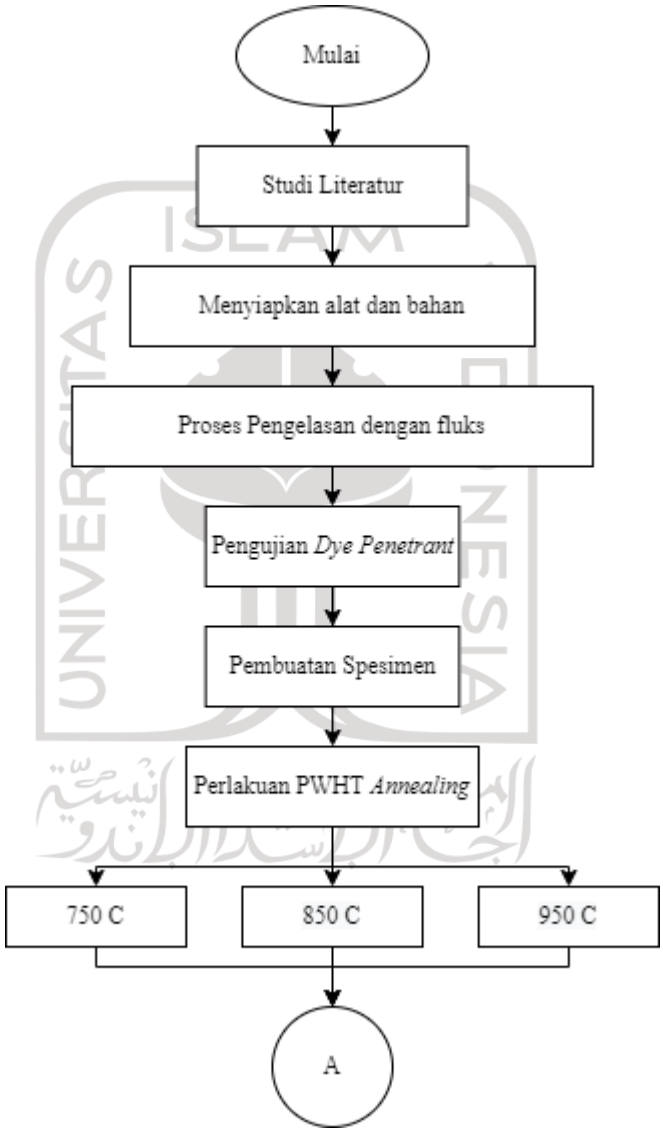
Nilai CEV yang dianggap layak untuk mampu las adalah dibawah 0,4-0,5. Keberadaan unsur lain pada baja dapat memengaruhi kualitas pengelasan (Samuels, 1999). Menurut *International Institute of Welding* (IIW), rumus untuk mendapatkan nilai CEV adalah

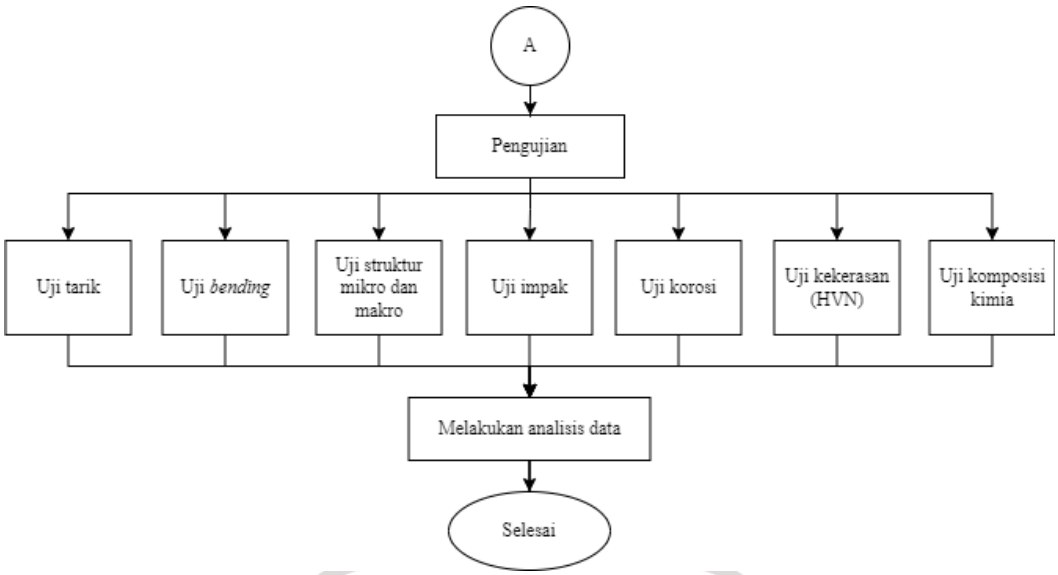
$$CEV = C\% + \frac{Mn\%}{6} + \frac{Cr\% + Mo\% + V\%}{5} + \frac{Ni\% + Cu\%}{15} \qquad (2.9)$$

BAB 3
METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Proses penelitian pada tugas akhir ini memiliki alur yang ditunjukkan oleh gambar 3.1.





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 :

a. Mesin Las MIG

Mesin las MIG digunakan untuk menyambungkan spesimen 2 pelat baja AISI 1018 yang dipakai dalam penelitian ini. Mesin las MIG yang dipakai menggunakan kawat elektroda jenis ER70S-6 berdiameter 0,9 mm. *Torch* mesin las MIG dipasangkan pada penyangga yang berada tegak lurus dengan jig pengelasan.



Gambar 3. 2 Mesin Las MIG dan Kawat ER70S-6

b. Baja AISI 1018

Spesimen dalam penelitian ini adalah pelat baja AISI 1018. Pelat baja ini mempunyai ketebalan 4,8 mm yang nantinya dipotong menjadi ukuran spesimen sesuai standar pengujian maupun dengan panjang 300 mm dan lebar 100 mm untuk dilakukan pengelasan MIG.



Gambar 3. 3 Baja AISI 1018

c. Cairan Aseton

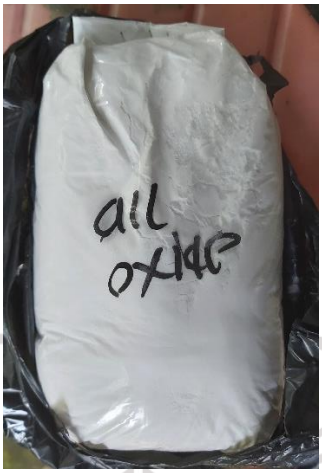
Cairan aseton berfungsi untuk membuat pasta fluks teraktivasi yang selanjutnya dipakai dalam penelitian ini. Cairan aseton membuat pengaplikasian bubuk fluks ke spesimen menjadi lebih rata. Cairan aseton akan menguap sendiri dalam waktu yang singkat setelah pengolesan pasta pada spesimen.



Gambar 3. 4 Cairan Aseton

d. Bubuk Al_2O_3 (alumunium oksida)

Bubuk Al_2O_3 merupakan fluks teraktivasi yang dipakai dalam penelitian ini. Pemberian bubuk dilakukan dengan cara mencampurkan bubuk dengan cairan aseton sehingga terbentuk pasta fluks Al_2O_3.



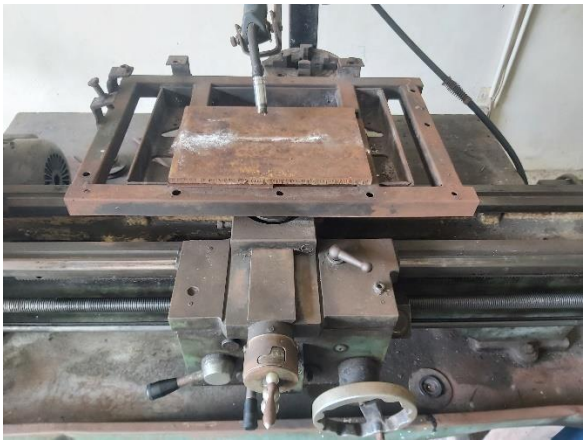
Gambar 3. 5 Bubuk Alumunium Oksida

e. Mesin Bubut

Mesin bubut digunakan untuk melakukan pengelasan *semi-auto*. Bagian *tool post* mesin bubut telah dimodifikasi dengan dipasangkan jig pengelasan.



Gambar 3. 6 Mesin Bubut



Gambar 3. 7 Jig Pengelasan

f. APD (Alat Perlindungan Diri)

Alat perlindungan diri berguna untuk menjaga keselamatan saat melakukan pengelasan maupun pemotongan baja. APD yang dipakai terdiri dari celemek, sarung tangan, kacamata pelindung, *earmuff*, dan helm pengelasan.



Gambar 3. 8 Perlengkapan APD

g. Gas Pelindung Campuran Ar dan CO_2

Gas pelindung berguna untuk menjaga busur listrik dan lelehan logam las dari oksidasi dan mengurangi percikan las. Gas pelindung yang dipakai adalah campuran 50% argon dan 50% karbondioksida.



Gambar 3. 9 Tabung Gas Pelindung

h. Klem

Klem berfungsi untuk menjepit pelat baja yang akan dilas ke jig. Pelat baja perlu dijepit klem agar pelat tidak melengkung akibat panas dari proses pengelasan.



Gambar 3. 10 Klem

i. Ragum

Ragum digunakan untuk menjepit pelat baja saat akan dipotong menjadi bentuk spesimen pengujian.



Gambar 3. 11 Ragum

j. *Muffle Furnace*

Muffle furnace atau tanur elektrik digunakan untuk memanaskan spesimen pengujian.



Gambar 3. 12 *Muffle Furnace*

k. Termometer Inframerah

Termometer inframerah digunakan untuk mengukur suhu pelat baja. Pelat baja setelah pengelasan didiamkan sampai mencapai suhu ruang agar pelat tidak melengkung.



Gambar 3. 13 Termometer Inframerah

l. *Toolkit*

Toolkit berisi berbagai macam alat teknik yang membantu proses pengelasan maupun pemotongan baja.



Gambar 3. 14 Toolkit

m. Gerinda Tangan

Gerinda tangan digunakan untuk memotong baja serta membuat kampuh.



Gambar 3. 15 Gerinda Tangan

n. Kikir Tangan

Kikir digunakan untuk membuat dan menyempurnakan takikan untuk spesimen pengujian impak.



Gambar 3. 16 Kikir Tangan

o. Ampelas

Ampelas digunakan untuk membersihkan permukaan baja dari karat dan menghaluskan permukaan baja yang akan dicetak dalam resin.



Gambar 3. 17 Ampelas

p. Resin dan katalis

Resin dan katalis digunakan dalam pembuatan spesimen pengujian struktur mikro dan makro serta kekerasan. Baja spesimen pengujian yang sudah dipotong sesuai ukuran akan dimasukan dalam campuran resin dan katalis yang mengeras sehingga mempermudah proses pengujian.



Gambar 3. 18 Resin dan Katalis

q. Gelas plastik dan kuas

Gelas plastik berguna sebagai wadah pembuatan pasta fluks dan wadah pencampuran resin-katalis. Kuas dipakai untuk mengoleskan pasta fluks ke permukaan kampuh pelat baja spesimen pengelasan.



Gambar 3. 19 Kuas dan Gelas Plastik

r. Timbangan

Timbangan digunakan untuk mengukur massa dari spesimen pengujian korosi.



Gambar 3. 20 Timbangan

s. Air laut

Air laut berfungsi sebagai media pengujian korosi. Air laut diambil dari Pantai Parangtritis, Bantul.



Gambar 3. 21 Air Laut

t. Peralatan uji *dye penetrant*

Peralatan uji dye penetrant terdiri dari *cleaner*, *penetrant*, dan *developer*. *Cleaner* berfungsi untuk membersihkan permukaan sebelum dan sesudah pengujian. *Penetrant* berfungsi untuk memasuki celah-celah yang ada pada pengelasan. Selanjutnya *developer* berfungsi sebagai agen pengembang *dye penetrant* agar terlihat cacat yang ada pada hasil pengelasan.



Gambar 3. 22 Peralatan Uji *Dye Penetrant*

3.3 Proses Pengelasan dengan Fluks

Pengelasan MIG dilakukan secara *semiauto*, yaitu dengan memanfaatkan kombinasi mesin las MIG dan mesin bubut. Mesin bubut berfungsi untuk menjalankan pelat baja secara otomatis, sedangkan *torch* mesin las ditaruh di penyangga statis sehingga didapatkan hasil pengelasan yang baik dan seragam. Sepasang potongan pelat baja yang sudah diberi kampuh selanjutnya diletakkan

diatas jig pengelasan yang sudah terpasang di *toolpost* mesin bubut. Posisi kampuh dan *torch* mesin las diatur tegak lurus serta kampuh harus sejajar dengan eretan mesin bubut sehingga hasil pengelasan lurus. Masing-masing potongan pelat baja diberi klem pada sudut-sudutnya agar menjaga posisi plat baja statis dan mencegah terjadi lengkungan akibat suhu pengelasan.

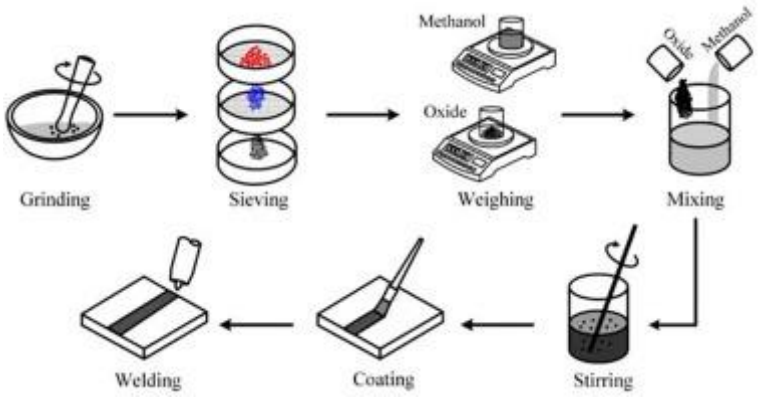


Gambar 3. 23 *Setup* Pengelasan



Gambar 3. 24 Posisi Pelat Baja pada Jig Pengelasan

Kedua sisi panjang potongan pelat baja yang sudah diberi kampuh diletakkan berhadapan satu sama lain dan diberi jarak 1 mm. Sebelum pengelasan, permukaan kampuh dioleskan pasta fluks memakai kuas sehingga fluks merata. Pasta fluks dibuat dengan mencampurkan bubuk fluks dengan aseton hingga menjadi larutan. Pada dasarnya bubuk fluks dan aseton tidak bisa bercampur sehingga endapan larutan tersebut yang digunakan. Ilustrasi pembuatan fluks ditunjukkan pada gambar 3.25.



Gambar 3. 25 Proses Pembuatan Pasta Fluks (Madavi et al., 2021)

Parameter pengelasan yang digunakan adalah sebagai berikut:

a. Tegangan : 20 – 22 V
b. Kecepatan ulir mesin bubut : 51,7 mm/s
c. Arus : 90 – 100 A
d. Kecepatan kawat elektroda : 75 mm/s
e. Kawat elektroda : ER70S-6

3.4 Proses Pembuatan Spesimen

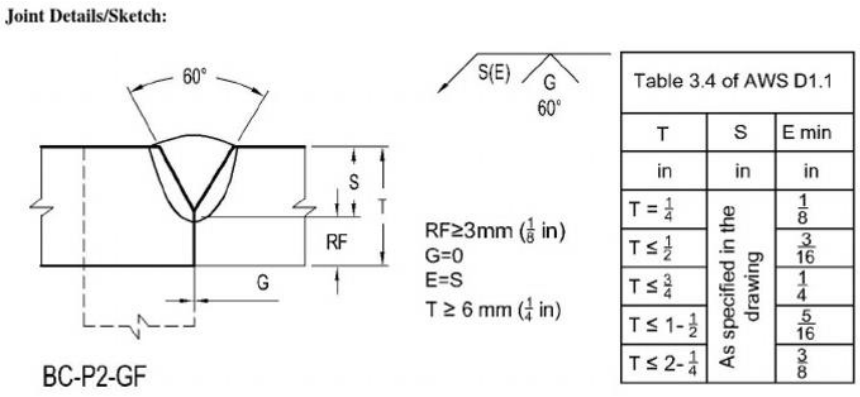
Spesimen pada penelitian ini dibagi menjadi 2 jenis, yaitu spesimen tanpa pengelasan dan spesimen dengan pengelasan. Kedua jenis spesimen berasal dari pelat baja yang dipotong-potong menggunakan mesin pemotong pelat hidrolik.



Gambar 3. 26 Proses Pemotongan Pelat Baja

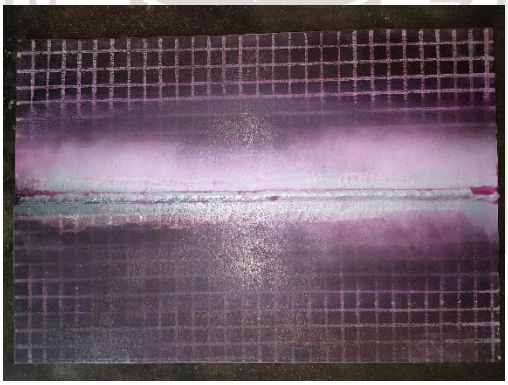
Spesimen dengan pengelasan dibuat dengan memotong pelat baja besar menjadi ukuran 300 mm x 100 mm sebanyak 3 pasang dan diberi kampuh pada ujung sisi panjang potongan pelat besi tersebut. Pembuatan kampuh dilakukan secara manual dengan menggunakan gerinda tangan. Kampuh yang digunakan

menyesuaikan standar WPS (*Welding Procedure Spesification)* AWS D1.1. Karena ketebalan spesimen 5 mm maka digunakan kampuh V tunggal dengan sudut lebar 60˚, kedalaman 4 mm dan *root face* 1 mm.



Gambar 3. 27 WPS AWS D1.1

Spesimen hasil pengelasan selanjutnya dipotong menjadi berbagai spesimen sesuai ukuran standar pengujian. Sebelum dipotong, penulis melaksanakan uji *dye penetrant* pada hasil pengelasan untuk memilih bagian pengelasan yang baik.



Gambar 3. 28 Hasil *Dye Penetrant*

Setelah ditentukan bagian pengelasan yang baik untuk pengujian, penulis menggambar sketsa berbagai spesimen pengujian pada hasil pengelasan. Sketsa spesimen berasal dari *print-out* 1:1 desain spesimen berbagai pengujian dengan ukuran sudah sesuai standar. Selanjutnya spesimen hasil pengelasan dengan sketsa spesimen pengujian dipotong menggunakan gerinda tangan dan *laser cut*. Spesimen tanpa pengelasan sudah dibuat berbagai spesimen pengujian yang ukuran sesuai standar pada saat sebelum mengelas.

3.5 Proses *Annealing*

Proses *annealing* dilakukan dengan memakai *muffle furnace* kapasitas 12 L. Pengaturan suhu pada *furnace* adalah 750, 850, dan 950 ^{O}C. Pemilihan suhu ini berdasarkan panduan *annealing* untuk baja AISI 1018, yaitu sedikit diatas garis temperatur A_3 / temperatur transisi fase *ferrite* menuju *austenite* pada diagram fasa baja karbon. Spesimen pengujian diletakkan seperti pada gambar 3.29.



Gambar 3. 29 Posisi Spesimen dalam *Furnace*

Waktu pemanasan atau *holding time* yang diatur pada *furnace* adalah 1 jam. Setelah dipanaskan selama 1 jam, spesimen pengujian dibiarkan didalam *furnace* agar suhu spesimen turun secara perlahan.



Gambar 3. 30 Spesimen setelah *Annealing*

3.6 Proses Pengujian

3.6.1 Pengujian Komposisi Kimia

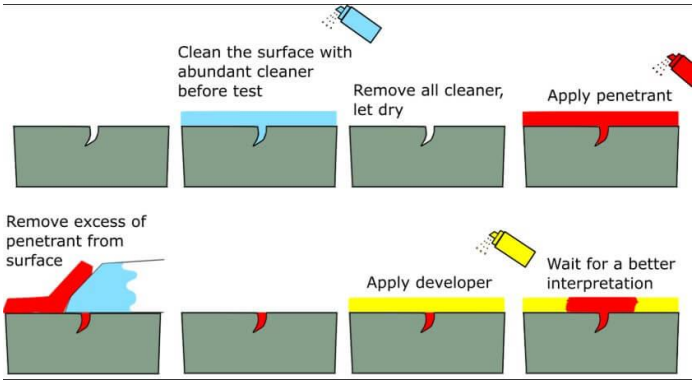
Proses pengujian komposisi kimia dilakukan di PT Itokoh Ceperindo, Klaten. Pengujian komposisi kimia dilakukan dengan mengikuti prosedur yang diberikan oleh PT Itokoh Ceperindo. Dimensi spesimen pengujian juga mengikuti arahan dari PT Itokoh Ceperindo, yaitu berbentuk persegi dengan ukuran 30 x 30 mm.



Gambar 3. 31 Spesimen Uji Komposisi Kimia

3.6.2 Pengujian *Dye Penetrant*

Pengujian *Dye Penetrant* dilakukan di rumah penulis dengan menggunakan cairan uji *dye penetrant* Nabakem Chemical & Aerosol. Pengujian ini dilakukan khusus pada spesimen pengelasan. Pengujian ini bertujuan untuk mendeteksi cacat terbuka pada hasil pengelasan sehingga penulis dapat memilih bagian spesimen pengelasan yang bisa digunakan untuk dipotong menjadi beberapa spesimen pengujian. Tahapan pengujian *dye penetrant* diperlihatkan pada gambar 3.31.



Gambar 3. 32 Tahapan Pengujian *Dye Penetrant*

Penjelasan tahapan pengujian *dye penetrant* secara singkat adalah sebagai berikut:

a. Persiapan dan pembersihan permukaan (*Pre-cleaning*)

   Permukaan spesimen pengelasan dibersihkan dengan air dan kain lap. Setelah dibersihkan dengan air, spesimen dijemur hingga kering. Lalu permukaan spesimen diberikan cairan *cleaner* dan ditunggu selama 1 menit agar cairan *cleaner* benar – benar mengering. Setelah itu, permukaan dilap agar membersihkan kotoran.

b. Pemberian cairan *penetrant* ke permukaan

   Cairan *penetrant* disemprotkan ke permukaan secara merata dan ditunggu selama minimal 5 menit agar *penetrant* bisa meresap masuk kedalam cacat. Setelah itu, cairan *penetrant* dibersihkan menggunakan kain lap yang berbeda dan dilakukan searah dan berulang kali. Selanjutnya diberikan sedikit *cleaner* pada kain lap pada pengelapan berikutnya dan dibiarkan 1 menit hingga kering.

c. Pemberian *developer*

   Selanjutnya adalah pemberian *developer* pada permukaan spesimen yang sudah dibersihkan secara merata. Cairan *developer* memerlukan waktu 10 – 20 menit untuk dapat menampilkan indikasi *penetrant* secara sempurna. Setelah itu, indikasi cacat akan terlihat dan dilakukan dokumentasi. Letak indikasi kemudian ditandai dengan spidol agar bagian cacat tidak dipakai dalam proses selanjutnya.

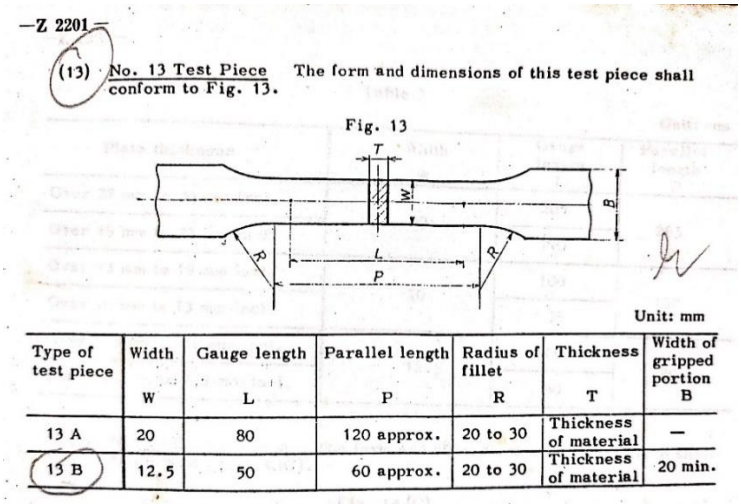
d. Pembersihan setelah pengujian

   Pembersihan terakhir dilakukan dengan membilas spesimen di air yang mengalir serta digosok dengan spons / kain lap. Selanjutnya spesimen

dikeringkan dan dibersihkan lagi dengan semprotan *cleaner* agar tidak ada *developer* / *penetrant* yang tertinggal.

3.6.3 Pengujian Tarik

Pengujian tarik penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin SV UGM. Standar pengujian yang diterapkan adalah JIS Z 2201 dengan ketentuan dimensi spesimen dijelaskan pada gambar 3.32.



—Z 2201—

(13) No. 13 Test Piece The form and dimensions of this test piece shall conform to Fig. 13.

Fig. 13

Unit: mm

Type of test piece	Width W	Gauge length L	Parallel length P	Radius of fillet R	Thickness T	Width of gripped portion B
13 A	20	80	120 approx.	20 to 30	Thickness of material	—
13 B	12.5	50	60 approx.	20 to 30	Thickness of material	20 min.

Gambar 3. 33 Dimensi Spesimen Uji Tarik JIS Z 2201

Pengujian tarik menggunakan mesin UTM (*Universal Testing Machine*) Controlab. Cara pengujian tarik yang dipakai adalah menjepit kedua tepi spesimen dan diposisikan secara vertikal. Mesin UTM akan menarik spesimen hingga terputus. Pada saat bersamaan, mesin UTM akan menampilkan tegangan yang diterapkan ke spesimen melalui panel LED sekaligus menggambar grafik tegangan-regangan secara simultan. Nilai tegangan saat spesimen putus digunakan sebagai nilai tegangan maksimal dan dimasukkan ke perhitungan untuk mengetahui hasil uji tarik.

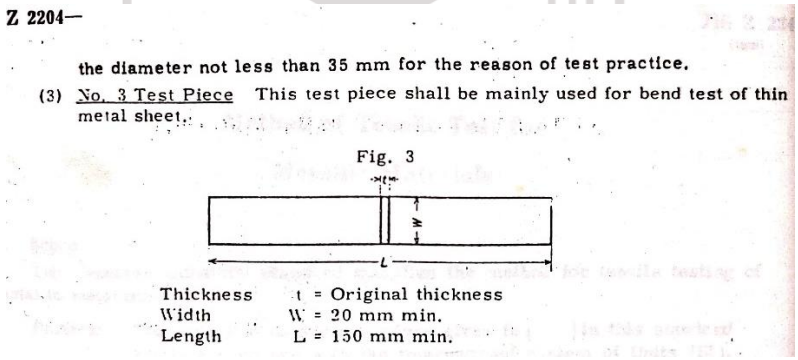


Gambar 3. 34 Mesin UTM

(Lab Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin SV UGM)

3.6.4 Pengujian *Bending*

Pengujian *bending* penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin SV UGM. Pengujian *bending* masih menggunakan mesin UTM yang digunakan untuk pengujian tarik. Standar pengujian yang diterapkan pada pengujian ini adalah JIS Z 2204 dengan ketentuan dimensi spesimen dijelaskan pada gambar 3.34.


Z 2204—

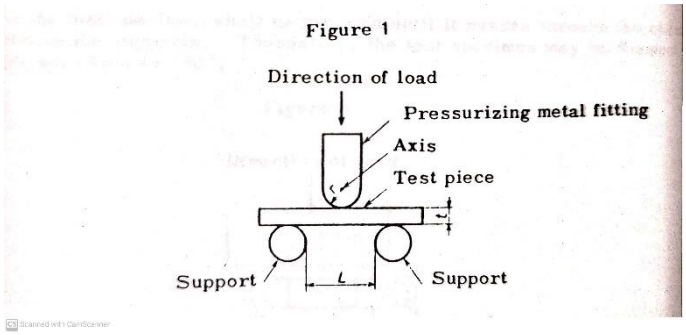
the diameter not less than 35 mm for the reason of test practice.

(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. 35 Ketentuan Spesimen Uji *Bending* JIS Z 2204



Gambar 3. 36 Metode 3-Point Bend Test

Metode pengujian bending yang dipakai adalah *3-point bend test* dan pembebanan transversal *face bend*. Pembebanan spesimen dilakukan sampai nilai beban pada panel LED mesin UTM berhenti naik. Nilai beban tersebut yang digunakan dalam perhiitngan tegangan *bending*.



Gambar 3. 37 Bagian Uji *Bending* Mesin UTM

(Lab Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin SV UGM)

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

$$L = 2r + 3t \tag{3.1}$$

dengan :

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 :

$$L = 2r + 3t$$

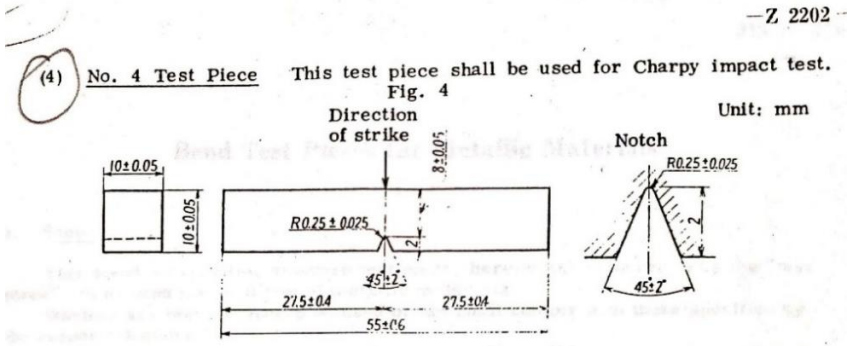
$$L = 2(10) + 3(5)$$

$$L = 35\ mm$$

3.6.5 Pengujian Impak

Pengujian impak bertujuan untuk mengetahui ketangguhan impak dari material. Pengujian impak dilaksanakan di Laboratorium Bahan Teknik

Departemen Teknik Mesin SV UGM dengan alat uji impak Controlab. Standar pengujian impak penelitian ini mengikuti JIS Z 2202 dengan dimensi spesimen ditunjukkan pada gambar 3.37.



Gambar 3. 38 Ketentuan Spesimen Uji Impak JIS Z 2202

Metode yang digunakan adalah metode *charphy* dengan kampuh model V. Pada pengujian impak didapatkan data sudut setelah bandul menghantam spesimen. Data tersebut dimasukkan ke perhitungan untuk mendapatkan nilai ketangguhan impak spesimen.



Gambar 3. 39 Alat Uji Impak

(Lab Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin SV UGM)

3.6.6 Pengujian Stuktur Mikro dan Makro

Pengujian struktur mikro dan makro dilakukan dengan mengamati penampang spesimen uji melalui mikroskop. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin SV UGM dengan mikroskop metalurgi Olympus PME3 untuk pengamatan mikro dan mikroskop stereo Olympus SZ-PT Series. Mikroskop metalurgi tersebut terhubung langsung

dengan PC sehingga memudahkan pengamatan. Pengujian makro menggunakan perbesaran 20x sedangkan pengujian mikro menggunakan perbesaran 100 - 200x.



Gambar 3. 40 Mikroskop Stereo Olympus SZ-PT Series
(Lab Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin SV UGM)



Gambar 3. 41 Mikroskop Metalurgi Olympus PME3
(Lab Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin SV UGM)

Spesimen pengujian ini berukuran 10 x 60 mm yang dicetak kedalam resin agar posisinya tidak berubah saat pengujian. Setelah diberi resin, spesimen tersebut diampelas sampai halus. Ampelas yang digunakan adalah grit 100, 200, 400, 600, 800, 1000, dan 1500 secara berurutan dan bertahap agar mendapatkan permukaan yang halus serta memperjelas struktur mikro. Setelah diampelas, spesimen akan dipoles menggunakan autosol agar menghilangkan buram akibat resin. Langkah selanjutnya adalah mengetsa spesimen dengan asam HNO_3 (asam nitrat) berkonsentrasi 2,5 % agar menunjukkan garis-garis struktur mikro serta zona yang terbentuk akibat efek panas pengelasan.



Gambar 3. 42 Spesimen Uji Struktur Mikro, Makro, dan Kekerasan

3.6.7 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin SV UGM dengan menggunakan alat uji kekerasan Shimadzu HMV M3. Alat ini menggunakan prinsip metode *microhardness vickers* sehingga data kekerasan pada penelitian ini juga memiliki satuan HVN. Spesimen yang dipakai pada uji kekerasan sama dengan spesimen uji struktur mikro dan makro.



Gambar 3. 43 Alat Uji Kekerasan Shimadzu HMV M3

(Lab Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin SV UGM)

Pengujian ini dilaksanakan dengan memberikan indentasi dengan beban 200 gf selama 5 detik ke 3 titik daerah pengelasan pada spesimen. Ketiga titik tersebut diambil berjarak antara satu titik dengan titik lainya. Selanjutnya titik bekas indentasi tersebut diamati di mikroskop metalurgi yang sama untuk diukur

diagonal indentasinya. Data diagonal indentasi tersebut digunakan untuk menghitung nilai HVN dari spesimen.

3.6.8 Pengujian Korosi

Pengujian korosi bertujuan untuk mengetahui ketahanan material terhadap korosi. Pengujian dilakukan dengan merendam potongan spesimen kedalam air laut selama 40 hari. Pengujian dilaksanakan di tempat tinggal penulis dengan cara setiap gelas rendaman ditaruh diluar ruangan. Setiap 10 hari selama masa pengujian, berat spesimen akan selalu diukur untuk melihat perubahan berat akibat efek korosi. Air laut yang digunakan berasal dari Pantai Parangtritis, Bantul. Setelah mendapat data pengurangan berat akibat korosi, data tersebut akan dimasukkan ke perhitungan laju korosi.



Gambar 3. 44 Pengujian Korosi

BAB 4
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia dilakukan dengan menggunakan spectrometer milik PT Itokoh Ceperindo, Klaten. Hasilnya berupa kandungan unsur yang terdapat pada spesimen pengujian yang diuraikan pada tabel 4.1

Tabel 4. 1 Komposisi Kimia Logam Induk

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

Hasil pengujian komposisi kimia pada spesimen baja selanjutnya digunakan untuk identifikasi nomor seri baja. Berdasarkan kandungan komposisi C, Mn, dan Si, ditentukan hasil golongan baja ini menurut standar *American Iron & Steel Institute* (AISI) yaitu AISI 1018.

AISI 1018 termasuk pada golongan baja karbon rendah yang memiliki kadar karbon mendekati 0,18 %. AISI 1018 memiliki keseimbangan pada sifat mekanik kekuatan, keuletan, dan ketangguhan. Selain itu AISI 1018 memiliki sifat mudah dibentuk dan baik untuk proses permesinan. Aplikasi material baja AISI

1018 sering digunakan untuk pembuatan poros motor, suku cadang, pelat *mounting*, serta badan kendaraan,

AISI 1018 termasuk dalam baja terbaik untuk dilakukan karburasi serta mempunyai sifat mampu las. Kemampuan las yang baik dapat diukur dengan mennggunakan nilai CEV. Baja kemampuan las baik memiliki nilai CEV < 0,4 – 0,5. Berikut perhitungan nilai CEV untuk spesimen baja yang digunakan pada penelitian ini.

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

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

$$CEV = 0{,}1736 + 0{,}1159 + 0{,}003867 + 0{,}00258$$

$$CEV = 0{,}295947$$

Hasil perhitungan diatas menunjukkan bahwa nilai CEV < 0,4 – 0,5, sehingga spesimen material baja yang digunakan termasuk kategori mampu las.

Lalu pengujian juga dilakukan pada spesimen hasil pengelasan untuk mengetahui kandungan unsur yang ada setelah diberikan logam pengisi dan fluks Al_2O_3. Berikut adalah hasil unsur yang terdeteksi pada logam las yang diuraikan pada tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Komposisi Kimia Logam Las

	Tanpa fluks	Al_2O_3
Unsur	(%)	(%)
C	0,1020	0,1305
Zn	0,0006	0,0006
Al	0,0002	0,0008
Si	0,6515	0,6225
Mn	1,2091	1,1181
Cu	0,1895	0,1902
S	0,0178	0,0176
Ni	0,0115	0,0086
Cr	0,0213	0,0214
Mo	-0,0005	-0,0007
P	0,0128	0,0117
W	0,0001	0,0001

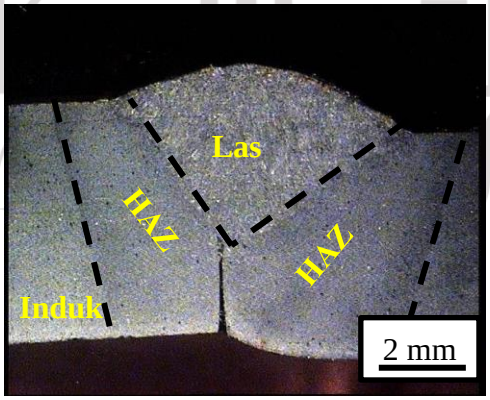
Ti	0,0015	0,0016
Pb	0,0001	0,0001
Ca	0,0002	0,0017
Fe	97,752	97,846

Jika dibandingkan dengan unsur las tanpa fluks, terdapat penambahan kandungan unsur Al yang disebabkan oleh fluks Al_2O_3. Unsur C juga mengalami penambahan akibat dari penambahan kawat elektroda las MIG. Penambahan elemen aluminium dalam komposisi kimia sebuah baja akan menambahkan ketangguhan baja. Banyaknya elemen karbon dalam komposisi kimia akan menentukan nilai kekerasan baja tersebut.

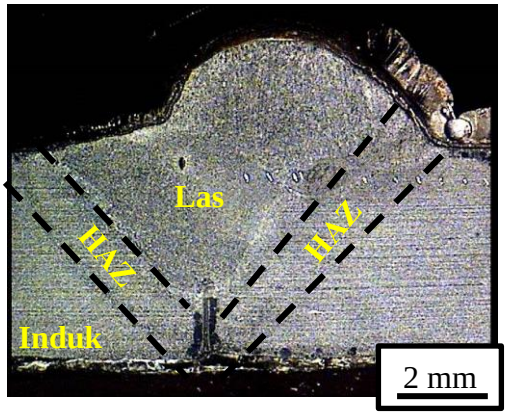
4.2 Hasil Pengamatan Struktur Mikro dan Makro

a. Pengamatan Foto Makro

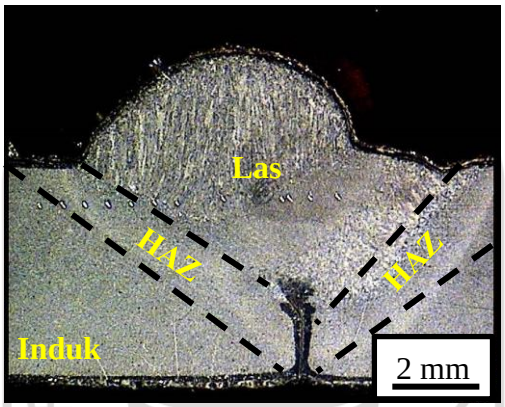
Pengamatan foto makro dilakukan untuk mendeteksi cacat pada spesimen pengelasan serta menunjukkan adanya perbedaan daerah pengelasan. Pengamatan makro menggunakan mikroskop stereo dengan perbesaran 20x dan menggunakan spesimen yang sama untuk pengujian kekerasan. Berikut adalah hasil pengujian makro yang ditunjukkan pada gambar 4.1, 4.2, 4.3 dan 4.4.



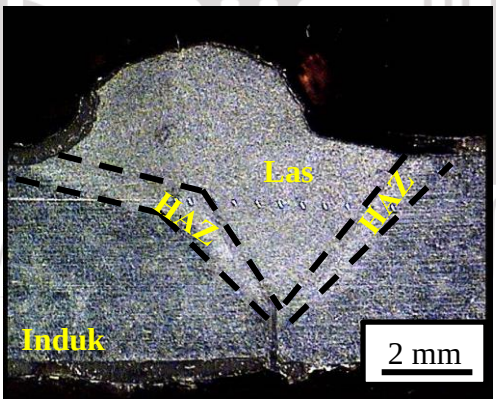
Gambar 4. 1 Foto Makro Spesimen Hasil Las Non PWHT



Gambar 4. 2 Foto Makro Spesimen Hasil Las dengan *Annealing* 750 °C



Gambar 4. 3 Foto Makro Spesimen Hasil Las dengan *Annealing* 850 °C



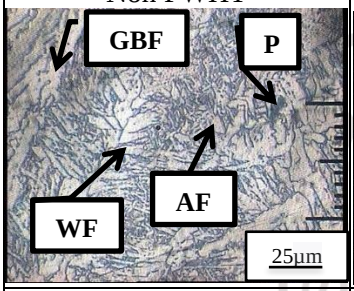
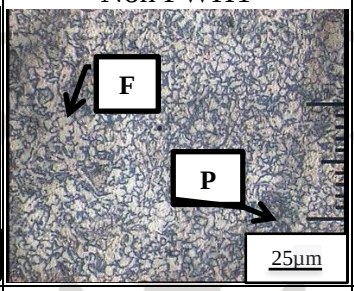
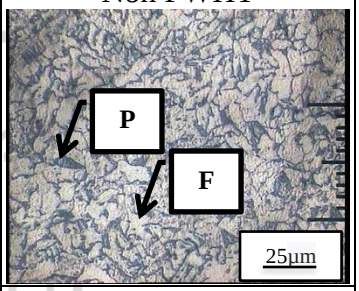
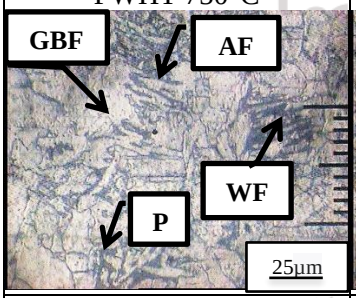
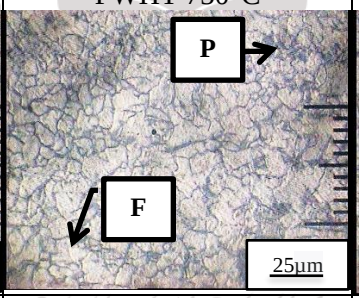
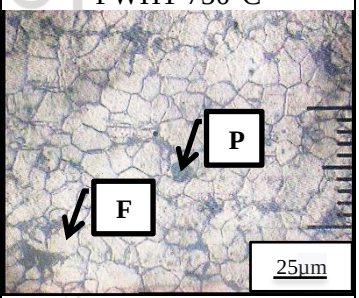
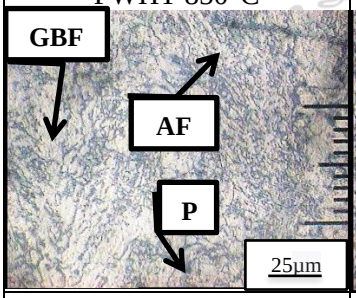
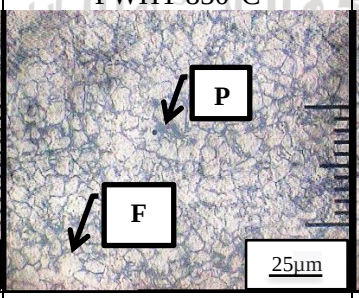
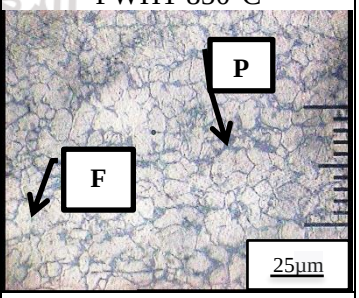
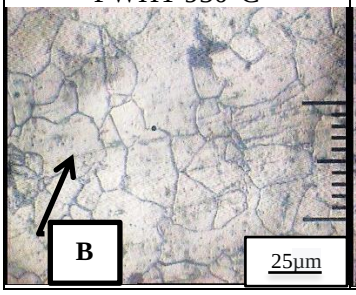
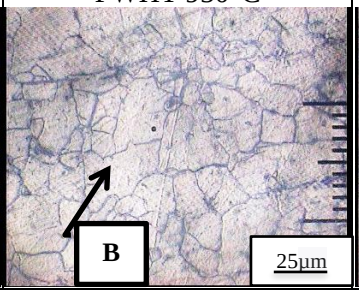
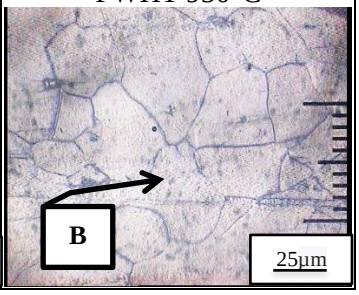
Gambar 4. 4 Foto Makro Spesimen Hasil Las dengan *Annealing* 950 °C

Seluruh spesimen memiliki seluruh daerah pengelasan yang bisa dibedakan. Tetapi khusus spesimen hasil las dengan *annealing* 950 °C, daerah HAZ tidak seluas kedua variasi lainya karena pengaruh suhu *annealing* yang mengubah struktur mikro sebagian daerah HAZ menjadi mirip dengan daerah logam induk. Secara keseluruhan, spesimen mengalami cacat *lack of infusion*, yaitu logam las tidak sepenuhnya mengisi *root* akibat laju pengelasan yang terlalu cepat.

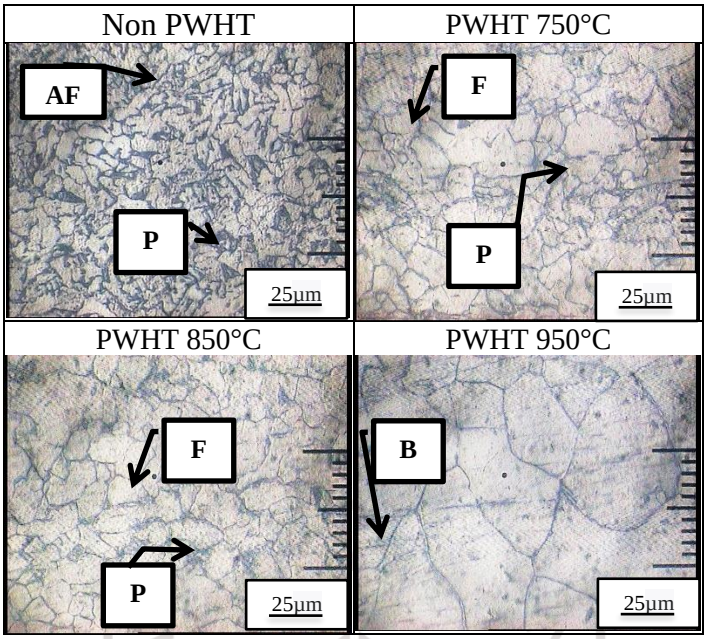
b. Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan foto mikro bertujuan untuk melihat struktur mikro yang dihasilkan akibat proses pengelasan dan *annealing*. Struktur mikro berhubungan erat dengan kekerasan dari spesimen karena masing-masing fase memiliki sifat yang berbeda. Pengujian mikro dilakukan dengan mikroskop metalografi dengan perbesaran 200x. Berikut adalah kompilasi foto hasil dari uji mikro yang ditunjukkan pada tabel 4.3 dan 4.4.

Tabel 4. 3 Foto Mikro Spesimen Hasil Pengelasan

Daerah Logam Las	HAZ	Daerah Logam Induk
Non PWHT	Non PWHT	Non PWHT
		
PWHT 750°C	PWHT 750°C	PWHT 750°C
		
PWHT 850°C	PWHT 850°C	PWHT 850°C
		
PWHT 950°C	PWHT 950°C	PWHT 950°C
		

Tabel 4. 4 Foto Mikro Spesimen Tanpa Pengelasan



Keterangan :

F : *Ferrite* WF : *Widmanstatten Ferrite* B : *Bainite*

AF : *Acicular Ferrite* P : *Pearlite*

GBF: *Grain Boundary Ferrite*

Pada daerah logam las, terlihat bahwa spesimen non PWHT, PWHT 750°C, dan PWHT 850°C didominasi oleh fase *acicular ferrite* (AF), *pearlite* (P), dan *widmanstatten ferrite* (WF). Terdapat juga fase *grain boundary ferrite* (GBF) pada ketiga jenis spesimen walaupun besar GBF pada spesimen PWHT tidak sebesar spesimen non PWHT. Hal berbeda ditunjukkan pada daerah HAZ dengan ketiadaan fase *widmanstatten ferrite* dan menambahnya fase *acicular ferrite* serta *pearlite*. Selanjutnya pada daerah logam induk, fase yang ada masih sama seperti daerah HAZ tetapi ada penambahan ukuran butir yang membesar. Sedangkan spesimen PWHT 950°C baik di daerah las, HAZ, dan logam induk didominasi oleh fase *bainite* (B) dengan sedikit *pearlite* di batas – batas butiran.

Sedangkan pada spesimen tanpa las, hasil foto mikro spesimen non PWHT menunjukkan dominasi fase *ferrite* (F) dan *pearlite*. Spesimen PWHT *annealing* 750 dan 850 °C menunjukkan perbesaran ukuran butiran akibat efek *annealing* serta berkurangnya fase *pearlite*. Spesimen PWHT 950 °C mengubah ukuran

butiran menjadi lebih besar dan mengubah fase menjadi *bainite*. Kenaikan ukuran butiran struktur mikro selaras dengan kenaikan variasi suhu *annealing*.

Adanya fase *bainite*, *pearlite*, GBF, AF, dan WF pada akan berdampak pada nilai kekerasan spesimen. Beberapa fase tersebut mewakili unsur C yang semakin banyak akan menambah nilai kekerasan. Fase *pearlite* dan *bainite* merupakan turunan dari austenit yang penurunan suhunya membedakan keduanya. *Pearlite* terbentuk dari pendinginan *austenite* yang lambat sementara *bainite* terbentuk dari pendinginan sedang. Fase *bainite* akan menghasilkan nilai kekerasan yang melebihi *pearlite* karena perbedaan kecepatan pendinginan.

Munculnya ketiga jenis *ferrite* juga berpengaruh pada kekerasan. Selama pendinginan kontinyu, peran elemen campuran atau kecepatan pendinginan dapat menunda transformasi yang menyebabkan pendinginan akan dimulai di suhu yang lebih rendah daripada fase *bainite*. Sehingga nilai kekerasan akan melebihi fase *bainite*.

4.3 Hasil Pengujian Tarik

Pada pengujian tarik dengan standar pengujian JIS Z 2201, spesimen diberi beban sebesar P secara bertahap dan kontinu hingga mencapai nilai Pmax yang ditunjukkan oleh mesin UTM. Selanjutnya ΔL atau perubahan panjang dari spesimen setelah pengujian diukur dengan jangka sorong. Dari berbagai data tersebut, diperoleh hasil berupa grafik tegangan-regangan dan tabel hasil pengujian. Berikut adalah salah satu perhitungan dari pengujian tarik.

a. Spesimen L950_1 (spesimen pengelasan *annealing* 950 °C)

   Diketahui tebal = 4.52 mm, lebar = 14 mm, dan Pmax = 19,29 kN.

   Persamaan nilai tegangan:

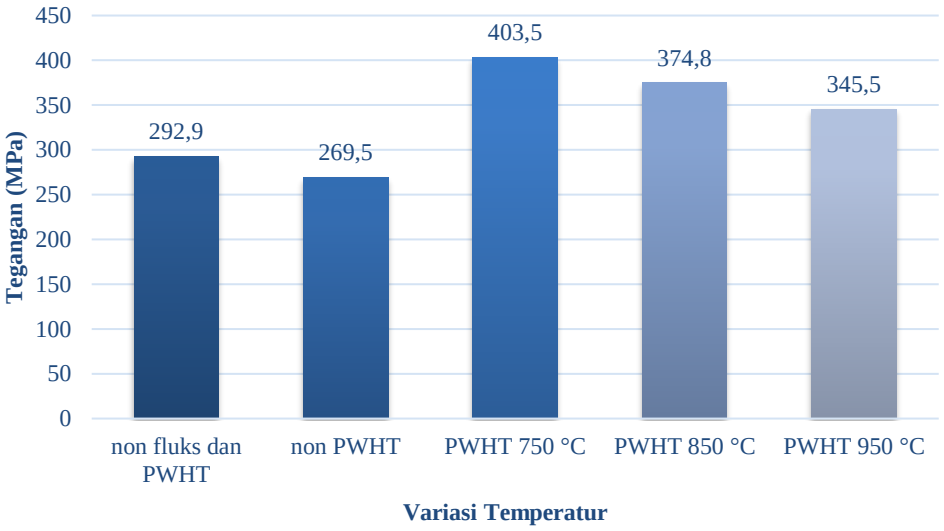
$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{19{,}29\ x\ 10^3}{4{,}52\ x\ 14} = 304{,}84\ MPa$$

   Persamaan nilai regangan:

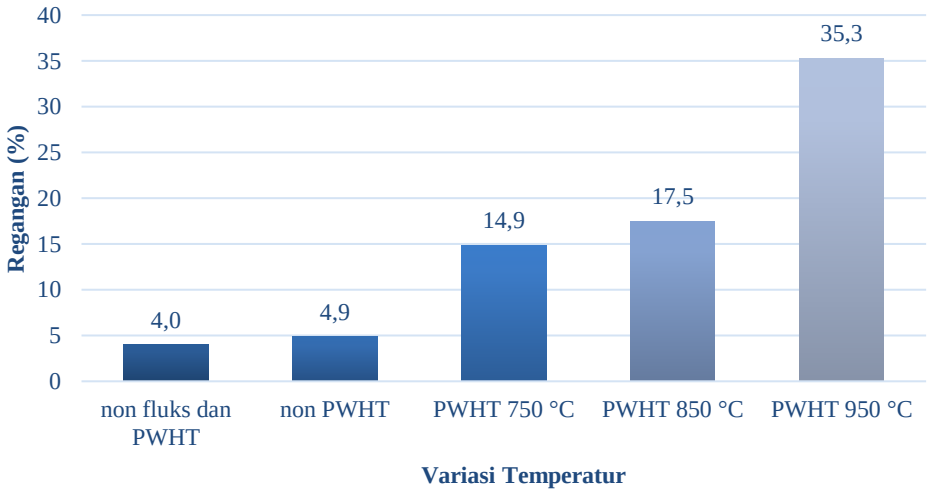
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{15{,}08}{50}\ x\ 100\ \% = 30{,}16\ \%$$

Selanjutnya, hasil perhitungan tegangan dan regangan dari seluruh spesimen disimpulkan menjadi satu dalam diagram batang yang dapat mewakili

seluruh data masing – masing tegangan dan regangan. Berikut adalah diagram batang tegangan dan regangan hasil pengujian tarik yang ditampilkan oleh masing – masing gambar 4.5 dan 4.6.



Gambar 4. 5 Diagram Tegangan Hasil Uji Tarik



Gambar 4. 6 Diagram Batang Regangan Uji Tarik

Berdasarkan kedua diagram diatas, nilai tegangan tarik tertinggi didapatkan dari spesimen *annealing* suhu 750 °C dengan rata-rata sebesar 403,7 MPa sedangakan nilai regangan tertinggi didapatkan spesimen *annealing* suhu 950 °C dengan rata-rata sebesar 35,3 %. Terdapat *trend* nilai tegangan tarik tidak selaras dengan kenaikan suhu *annealing*, sedangkan nilai regangan berbanding lurus dengan kenaikan suhu *annealing*.

Jika ditinjau tegangan tarik saja, spesimen *annealing* suhu 750 °C memiliki kekuatan tarik tertinggi, lalu diikuti dengan spesimen suhu *annealing* 850 °C, 950 °C, dan kedua spesimen tanpa *annealing*. Hal ini menujukkan bahwa annealing dapat menaikkan kekuatan tarik. Walaupun demikian, jika melihat pada spesimen PWHT saja, semakin tinggi suhu *annealing* maka kekuatan tarik semakin turun. Hal ini disebabkan oleh perubahan struktur mikro yang terjadi dengan berkurangnya *ferrite* dan *pearlite* serta adanya penambahan *bainite* yang hanya terjadi pada spesimen 950 °C.

Pada nilai regangan, terlihat spesimen *annealing* 950 °C memiliki regangan tertinggi. Nilai regangan yang mirip terjadi pada spesimen PWHT 750 dan 850 °C disebabkan oleh struktur mikro yang mirip diantara keduanya. Sedangkan pada spesimen PWHT 950 °C memiliki nilai tertinggi karena memiliki struktur mikro *bainite*. Hal ini sesuai dengan tujuan *annealing* yaitu memperbaiki keuletan.

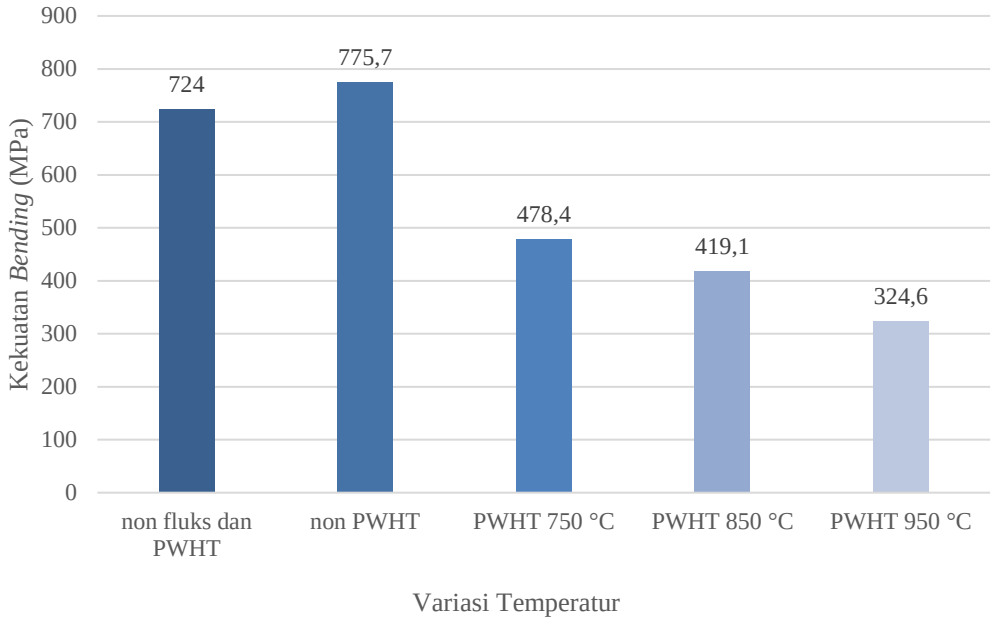
4.4 Hasil Pengujian *Bending*

Pada pengujian *bending*, spesimen dikenai beban sebesar P secara bertahap dan kontinyu hingga mencapai nilai Pmax yang ditunjukkan oleh mesin UTM. Standar JIS Z 2204 diterapkan pada pengujian ini. Berdasarkan nilai panjang tumpuan (L) yang sudah ditentukan sebelum pengujian, nilai tegangan bending bisa didapatkan melalui perhitungan. Berikut adalah salah satu perhitungan tegangan *bending*.

a. Spesimen L750_1 (spesimen pengelasan suhu *annealing* 750 °C)
   Diketahui P = 3.66 kN, tebal (d) = 4.40 mm, L = 35 mm, dan lebar (b) = 20.64 mm

$$\sigma_b = \frac{3\ x\ P\ x\ L}{2\ x\ b\ x\ d^2} = \frac{3\ x\ 3{,}66\ x\ 35}{2\ x\ 20{,}64\ x\ 4{,}40^2} = 480{,}87\ MPa$$

Selanjutnya, seluruh hasil perhitungan tegangaan bending dikumpulkan dalam tabel hasil pengujian dan bisa divisualisasikan berikut melalui diagram pada gambar 4.7.



Gambar 4. 7 Diagran Tegangan *Bending*

Berdasarkan diagram diatas, nilai tegangan *bending* memiliki tren berbanding terbalik dengan kenaikan variasi suhu *annealing*. Apabila ditinjau secara keseluruhan, spesimen tanpa PWHT memiliki nilai tegangan *bending* lebih tinggi daripada spesimen PWHT. Nilai spesimen non PWHT melebihi spesimen PWHT disebabkan oleh pengaruh perubahan struktur mikro yang terjadi akibat proses *annealing*. Banyaknya fase *ferrite* dan *pearlite* akan menambah kekuatan *bending*.

4.5 Hasil Pengujian Impak

Spesimen pada pengujian impak akan dihantam bandul yang ketinggian, sudut, serta beratnya sudah ditentukan. Standar JIS Z 2202 dan metode *charphy* diterapkan pada pengujian ini. Pada pengujian impak, didapatkan data sudut setelah hantaman bandul. Selanjutnya sudut ini digunakan pada perhitungan energi yang diserap spesimen saat dihantam bandul. Nilai energi ini akan dipakai untuk menentukan harga impak yang menentukan ketangguhan impak spesimen. Berikut adalah perhitungan energi yang diserap dan harga impak pada salah satu spesimen.

a. Spesimen L-850_3 (spesimen pengelasan variasi suhu *annealing* 850 °C)

   Diketahui sudut α = 151, sudut β = 126, luas penampang = 37,3 mm^2, energi bandul = 300 J, panjang lengan (L) = 0,8 m dan berat bandul = 20 kg.

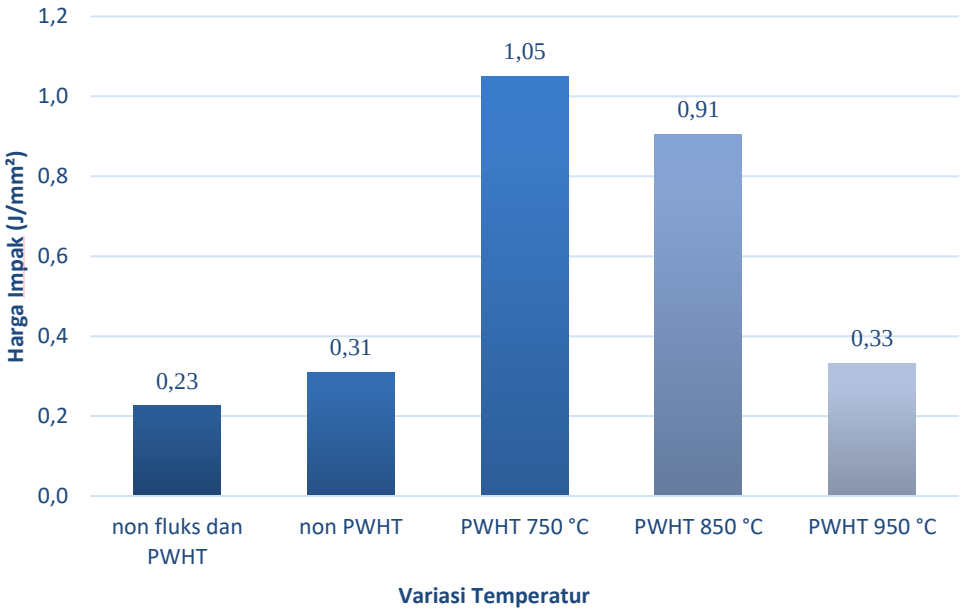
- Energi yang diserap

$$W = GxL(cos\beta - cos\alpha)$$
$$W = 20\ x\ 10\ x\ 0{,}8\ (cos\ 126 - cos\ 151)$$
$$W = \ 160\ x\ (-0{,}59\ -\ (-0{,}87))$$
$$W = \ 45{,}9\ J/mm^2$$

- Harga impak

$$K\ = \frac{W}{A_0} = \frac{45{,}9\ J/mm^2}{37{,}3\ mm^2} = \ 1{,}203\ Joule$$

Setelah mendapatkan data nilai energi yang diserap serta harga impak dari seluruh spesimen, kedua data tersebut diolah menjadi tabel dan bisa divisualisasikan melalui grafik seperti gambar 4.8.



Gambar 4. 8 Diagram Harga Impak

Berdasarkan diagram harga impak, terlihat masing – masing harga impak dari spesimen PWHT 750°C dan 850 °C hanya terpaut selisih sedikit. Hal ini disebabkan pada kesamaan struktur mikro yang terjadi pada ketiga spesimen tersebut. Struktur mikro ketiga spesimen tersebut didominasi oleh ferrite dan pearlite. Sedangkan spesimen 950 °C memiliki fase *bainite* yang ketangguhannya lebih rendah daripada fase *ferrite* maupun *pearlite*. Secara umum, spesimen PWHT memiliki harga impak lebih tinggi daripada kedua spesimen non PWHT.

4.6 Hasil Pengujian Kekerasan

Spesimen baja yang telah dicetak ke resin selanjutnya dietsa sampai terlihat adanya perbedaan warna yang menunjukkan daerah pengelasan akibat panas. Selanjutnya, pengujian kekerasan menggunakan metode *microhardness vickers* dengan pembebanan 200 gf selama 5 detik yang sudah diatur pada mesin uji HMV M3. Titik yang diambil khusus untuk spesimen pengelasan adalah 3 titik berjarak 0,5 mm untuk setiap daerah pengelasan. Sedangkan untuk spesimen tanpa las diambil 3 titik secara acak dan sejajar.

Setelah dilakukan indentasi, spesimen dipindahkan ke mikroskop metalografi untuk melihat ukuran dari bekas indentasi. Panjang kedua diagonal yang dihasilkan dari indentor berbentuk piramida akan digunakan pada penentuan nilai kekerasan *vickers*. Berikut adalah salah satu perhitungan kekerasan pada penelitian ini.

a. Daerah las spesimen 950L (spesimen pengelasan variasi suhu *annealing* 950 °C)

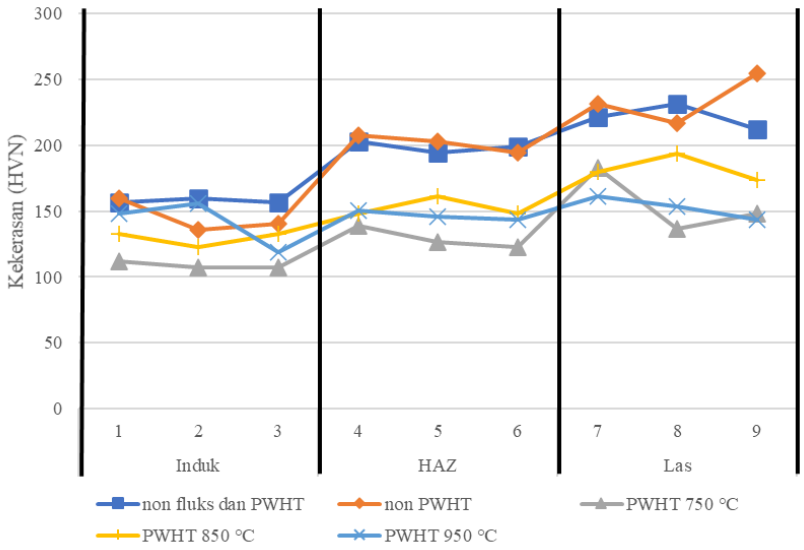
- Salah satu dari tiga titik uji didapatkan diagonal rata-rata = 47,92 mm

$$HVN = \frac{1854\ x\ 200}{47{,}92^2} = 161{,}50$$

b. Selanjutnya menghitung rata – rata ketiga titik uji kekerasan dalam daerah las spesimen

$$HVN\ 950\ L\ Daerah\ Las = \frac{161{,}50 + 153{,}39 + 143{,}50}{3} = 152{,}8$$

Setelah didapatkan seluruh data kekerasan seluruh spesimen, data tersebut dimasukkan ke tabel dan dapat divisualisasikan melalui grafik seperti gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Diagram Kekerasan Spesimen Tanpa Pengelasan

Berdasarkan diagram diatas, didapatkan nilai kekerasan tertinggi dari daerah logam las pada spesimen pengelasan non PWHT sebesar 254,3 HVN. Sedangkan nilai kekerasan terendah didapatkan pada daerah logam induk spesimen pengelasan variasi suhu *annealing* 750 °C.

Secara keseluruhan, urutan nilai kekerasan tertinggi berada di daerah logam las lalu diikuti oleh daerah HAZ dan logam induk. Hal ini disebabkan oleh banyaknya kandungan elemen karbon yang dihasilkan oleh elektroda pengelasan. Sehingga akan menambahkan nilai kekerasan secara signifikan.

Setelah itu dilakukan perhitungan rata – rata dari seluruh titik pengujian sehingga didapatkan spesimen dengan rata – rata nilai kekerasan tertinggi. Berikut adalah tabel yang berisi nilai rata – rata seluruh titik pada seluruh spesimen.

Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Kekerasan

Daerah	Titik	non fluks dan PWHT	non PWHT	PWHT 750 °C	PWHT 850 °C	PWHT 950 °C
Induk	1	156,75	159,73	112,15	132,42	148,32
	2	159,73	135,70	107,43	122,58	156,02
	3	156,75	140,55	107,43	132,42	118,95
HAZ	4	203,11	207,50	138,91	148,32	150,82
	5	194,73	203,11	126,38	161,50	145,88
	6	198,86	194,73	122,58	148,32	143,50
Las	7	221,56	231,75	183,11	179,77	161,50
	8	231,75	216,72	136,69	193,72	153,39
	9	212,04	254,35	148,32	173,35	143,50
Rata-rata		192,81	193,79	131,44	154,71	146,87

Berdasarkan tabel diatas, spesimen non PWHT memiliki nilai kekerasan tertinggi pada seluruh daerah pengelasan. Hal ini terjadi akibat banyaknya AF dan *pearlite* yang merata, serta ukuran butiran yang lebih kecil juga ikut berperan dalam menambahnya nilai kekerasan. Sehingga nilai kekerasan yang dihasilkan melebihi spesimen PWHT 750 dan 850 °C yang memiliki fase serupa tetapi berbeda ukuran butiran yang membesar.

Sedangkan pada spesimen PWHT 950 °C terjadi *trend* yang hampir mendatar pada daerah las, HAZ, dan induk. Sekilas nilai kekerasan pada spesimen ini hampir mirip pada seluruh daerah, Hal ini terjadi akibat kemiripan struktur mikro *bainite* yang tersebar pada daerah logam las, HAZ, dan induk. Lalu, jika dilihat pada foto makro, perbedaan daerah logam las dan HAZ juga tidak terlalu jelas atau terlalu kecil. Sehingga nilai kekerasan yang dihasilkan oleh spesimen ini hampir mirip baik di daerah las, HAZ, dan induk.

Walaupun demikian, efek dari *annealing* tetap mengurangi kekerasan spesimen. Hal ini terbukti dengan spesimen non PWHT memiliki nilai kekerasan tertinggi. Spesimen *annealing* 950 °C menempati urutan kedua karena memiliki fase *bainite* yang memiliki nilai kekerasan diatas *pearlite* dan dibawah *martensite*. Lalu spesimen 850 dan 750 °C menempati urutan 3 dan 4 akibat dikenai panas *annealing* walaupun memiliki fase yang sama dengan spesimen non PWHT.

4.7 Hasil Pengujian Korosi

Pengujian korosi dilakukan selama 40 hari dengan merendam spesimen kedalam air laut dan setiap 10 harinya diukur pengurangan berat spesimen. Setelah didapatkan data pengurangan berat spesimen, Langkah selanjutnya adalah mennghitung laju korosi dalam satuan *milimeter per year* (mmpy). Berikut adalah tabel 4.6 yang berisi data pengurangan berat spesimen selama 40 hari.

Tabel 4. 6 Hasil Pengukuran Berat Spesimen Selama 40 Hari

Spesimen	Berat Awal (gram)	Hasil timbang 10 hari ke- (gr)			
		1	2	3	4
Non fluks dan PWHT	17,86	17,86	17,58	17,58	17,58
Non PWHT	20,98	20,13	20,13	20,13	20,13
PWHT 750°C	20,41	20,41	20,13	20,13	20,13
PWHT 850°C	16,73	16,44	16,44	16,44	16,16
PWHT 950°C	15,88	15,59	15,59	15,59	15,59

Setelah didapatkan data hasil korosi, selanjutnya dihitung selisih berat yang terjadi pada setiap 10 hari penimbangan. Selisih tersebut akan digunakan pada penghitungan laju korosi. Berikut adalah contoh perhitungan laju korosi pada spesimen PWHT 750°C pada 10 hari kedua.

Diketahui : K = 8.76×10^4

W = 0,28 gram

D = 7,9 g/cm^3

T = 24 x 10 = 240 jam

A = 17,24 cm^2

$$\text{Laju Korosi } (mmpy) = \frac{k\ x\ w}{D\ x\ A\ x\ T} = \frac{8{,}76\ x\ 10^4\ x\ 0{,}28}{7{,}9\ x\ 17{,}24\ x\ 240} = 0{,}75$$

Tabel 4. 7 Hasil Perhitungan Laju Korosi

Spesimen	Laju korosi 10 hari ke - (mmpy)			
	1	2	3	4
Non fluks dan PWHT	0	0,049	0	0
Non PWHT	0,302	0	0	0
PWHT 750°C	0	0,75	0	0
PWHT 850°C	0,75	0	0	0,75
PWHT 950°C	0,75	0	0	0

Jika meninjau tabel 4.7 terdapat kenaikan nilai laju korosi pada rentang waktu 10 hari pertama dan kedua. Sedangkan pada rentang waktu 10 hari ketiga dan keempat mengalami penurunan laju korosi menuju konstan. Hal ini bisa

dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kadar oksigen terlarut / *dissolved oxygen* (DO) pada air, indeks saturasi air, komposisi kimia spesimen, dan suhu air laut saat dilakukan pengujian korosi (Royani et al., 2019).

Setelah didapatkan data laju korosi, data-data tersebut lalu dicocokkan ke tabel kualitas ketahanan korosi untuk menentukan standar kualitas ketahanan korosi masing – masing spesimen. Berikut adalah hasil pengelompokkan nilai laju korosi pada standar kualitas ketahanan korosi pada tabel 4.8.

Tabel 4. 8 Standar Kualitas Ketahanan Korosi

Laju Korosi	Standar (mm/yr)	Hasil (mm/yr)					Keterangan
		Non fluks dan PWHT	Non PWHT	PWHT 750 ^{O}C	PWHT 850 ^{O}C	PWHT 950 ^{O}C	
Outstanding	<0,02						
Excellent	0,02-0,1	0,049					*Excellent*
Good	0,1-0,5		0,302				*Good*
Fair	0,5-1			0,75	0,75	0,75	*Fair*
Poor	1-5						
Unacceptable	>5						

Berdasarkan tabel 4.8, spesimen non fluks dan PWHT termasuk dalam kategori *excellent* yang berarti memiliki ketahanan korosi yang unggul. Spesimen non PWHT termasuk dalam kategori *good* yang berarti memiliki ketahanan korosi yang baik. Sedangkan ketiga spesimen hasil PWHT *annealing* termasuk dalam kategori *fair* yang berarti memiliki ketahanan korosi yang cukup. Besarnya laju korosi yang dialami ketiga spesimen PWHT diakibatkan karena sebelum dilakukan pengujian korosi, ketiga spesimen terpapar udara selama pendinginan setelah *annealing*. Sehingga spesimen yang sudah dikenai panas akan rentan terkena korosi.

BAB 5
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan diatas, dapat ditarik beberapa kesimpulan:

1. Variasi suhu *annealing* memberikan pengaruh pada sifat mekanik dan fisik sambungan las MIG dengan fluks Al_2O_3 pada baja AISI 1018.
2. Terdapat perubahan struktur mikro akibat *annealing*. Awalnya spesimen memiliki fase *pearlite* dan *ferrite* kemudian dipanaskan dan terjadi perubahan fase *bainite* (*annealing* suhu 950 °C) serta diikuti dengan ukuran butiran yang membesar.
3. Proses *annealing* meningkatkan tegangan tarik, regangan, dan ketangguhan impak, tetapi menurunkan tegangan bending dan kekerasan dari spesimen.
4. Spesimen memiliki ketahanan korosi yang cukup baik.

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

1. Melakukan *trial and error* pada alat mesin bubut dan las MIG untuk mendapatkan parameter yang tepat untuk pengelasan.
2. Pengadaan jig dan dudukan *torch* yang baru karena alas jig tidak rata dan dudukan *torch* mudah goyah akibat getaran.
3. Perlunya memperhatikan kualitas air laut yang digunakan selama pengujian korosi.
4. Perlunya melakukan pengujian komposisi kimia di awal alur penelitian untuk mengetahui jenis pengelasan serta perlakuan panas yang sesuai dengan baja penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Agus, S. T., & Pramono, D. J. (2021). *Teknik Pengelasan Gas Metal (MIG/MAG) SMK/MAK XII. Program Keahlian Teknik Mesin. Kompetensi Keahlian Teknik Pengelasan (Edisi Revisi)*. Penerbit Andi. https://books.google.co.id/books?id=AEQqEAAAQBAJ

Azimi, M., Bukhari, B., & Ariefin, A. (2020). Analisa Pengaruh Holding Time Pada Proses Perlakuan Panas Annealing Baja Aisi 1050 Hasil Pengelasan Smaw Terhadap Ketangguhan Impak. *Jurnal Mesin Sains Terapan*, *4*(2), 119. https://doi.org/10.30811/jmst.v4i2.2019

Bozkurt, Ö., Özbek, Ö., & Abdo, A. (2017). The effects of nanosilica on charpy impact behavior of glass/epoxy fiber reinforced composite laminates. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, *5*, 322–327. https://doi.org/10.21533/pen.v5i3.119

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/10.1016/J.MATPR.2021.05.168

Davis, J. R. (2004). *Tensile Testing*. ASM International. https://books.google.co.id/books?id=M7lRAAAAMAAJ

Dieter, G. E. (1996). *Mechanical Metallurgy* (3rd ed.). Penerbit Erlangga.

Ding, Z., & Konyukhov, A. (2018). *Modelling of cutting with arbitrary kinematics. Special study of contact algorithms*. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.31723.59682

Ekasari, N., & Marbun, B. T. H. (2015). *Integrated Analysis of Optimizing Casing Materials Selection of Geothermal Well by Using a Model for Calculating Corrosion Rates*.

Gunanto, A., & Pramono, D. J. (2021). *Dasar Perancangan Teknik Mesin SMK/MAK Kelas X. Program Keahlian Teknik Mesin. Kompetensi Keahlian Teknik Pemesinan, Teknik Pengelasan, dan Teknik Pengecoran Logam.* Penerbit Andi. https://books.google.co.id/books?id=Cx8pEAAAQBAJ

Herlina Sari, N. H. S. T. M. T., Suteja, S. T. M. T., & Syarif Hidayatullah, S. T.

M. T. (2021). *Pengantar Inhibitor Korosi Alami*. Deepublish. https://books.google.co.id/books?id=J5koEAAAQBAJ

Irwandy, I. M. I. M. S. (2021). *Ilmu Logam*. PT Penerbit IPB Press. https://books.google.co.id/books?id=ToozEAAAQBAJ

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/10.1016/J.MATPR.2021.05.240

Messler, R. W. (2004). *Joining of Materials and Structures: From Pragmatic Process to Enabling Technology*. Elsevier Science. https://books.google.co.id/books?id=CRt97aa7cnMC

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

Naidu, D. S., Ozcelik, S., & Moore, K. L. (2003). Gas Metal Arc Welding: Modeling. *Modeling, Sensing and Control of Gas Metal Arc Welding*, 9–93. https://doi.org/10.1016/B978-008044066-8/50004-5

Oberg, E. (2017). *Heat-Treatment of Steel: A Comprehensive Treatise on the Hardening, Tempering, Annealing and Casehardening of Various Kinds of Steel: Including High-speed, High-Carbon, Alloy and Low Carbon Steels, Together with Chapters on Heat-Treating Furnaces and on H*. Read Books Limited. https://books.google.co.id/books?id=mKcyDwAAQBAJ

Primahidin, I. (2019). *Pengelasan SMAW Asetilin dan Pengecoran Logam*. GUEPEDIA. https://books.google.co.id/books?id=SAkWEAAAQBAJ

Royani, A., Prifiharni, S., Priyotomo, G., Triwardono, J., & Sundjono. (2019). Performa Korosi Baja Karbon pada Uji Simulasi Pipa untuk Sistem Saluran Air Pendingin. *Metalurgi*, *2*, 49–60. www.ejurnalmaterialmetalurgi.com

Samuels, L. E. (1999). *Light Microscopy of Carbon Steels*. ASM International. https://books.google.co.id/books?id=rsdbs92yGs4C

Sani, R. A. (2021). *Karakterisasi Material*. Bumi Aksara. https://books.google.co.id/books?id=ooM_EAAAQBAJ

Setiawan, H. (2013). PENGUJIAN KEKUATAN TARIK, KEKERASAN, DAN

STRUKTUR MIKRO PRODUK COR PROPELER KUNINGAN. *Jurnal SIMETRIS*, *3*(1), 71–79.

Suarsana. (2017). Ilmu Material Teknik. *Universitas Udayana*, 47–56.

Totten, G. E., & Colas, R. (2016). *Encyclopedia of Iron, Steel, and Their Alloys (Online Version)*. CRC Press. https://books.google.co.id/books?id=0KabDwAAQBAJ

Umar, E. (2007). *Fisika Sma Xi Ipa*. Ganeca Exact. https://books.google.co.id/books?id=JHXVEVQRlrcC

Varbai, B., Kormos, R., & Májlinger, K. (2017). Effects of Active Fluxes in Gas Metal Arc Welding. *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*, *61*(1), 68–73. https://doi.org/10.3311/PPme.9756

Widayat, W., & Saputro, D. D. (2012). *Treatment Annealing Terhadap Sifat Mekanis Material Baja Ems-45 Dengan Metode Pengelasan Shielded Metal Arc Welding (Smaw)*. 83–89.

Wirjosumarto, H., & Okumura, T. (1979). *Teknologi pengelasan logam*. Pradnya Paramita dengan Bantuan Association for International Technical Promotion. https://books.google.co.id/books?id=dn9vSwAACAAJ

LAMPIRAN

PT. ITOKOH CEPERINDO
Stainless Steel & Alloy Steel Casting

Management System ISO 9001:2015
TÜVRheinland CERTIFIED
www.tuv.com ID 9105056602

COMPANY : PT. ITOKOH CEPERINDO
SAMPLE NAME : S. plat biasa
CUSTOMER : Sdr. Edo Setya N
FURNACE : ZI2700A03/33
OPERATOR : PUTRA
DATE / TIME : 27-SEP-2021 14:44:38
TASK :Conc_Fe1 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*	*0.00095*	*0.00331*	*0.00050*	*0.00035*	*0.00011*	*0.00493*
SD%	*0.01*	*5.49*	*9.48*	*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	0.6899	-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*	*0.00000*	*0.00014*	*0.00051*
SD%	*3.82*	*0.00*	*2.83*	*49.82*	*35.85*	*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*

Q.C. PASSED
By.....Date 27/9/21

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

Management System ISO 9001:2015 TÜVRheinland CERTIFIED www.tuv.com ID 9105056802

COMPANY : PT. ITOKOH CEPERINDO
SAMPLE NAME : Sample Besi 1. O
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	97.7436	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*	*45.85*	*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	0.1893
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%	*0.08*	*30.57*	*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*	*6.16*	*0.00*	*18.26*	*65.57*	*119.66*

	Zn	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*

Q.C. PASSED
By.....Date.27/09/21

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

COMPANY : PT. ITOKOH CEPERINDO
SAMPLE NAME : Sample Besi 2. Al
CUSTOMER : Sdr. Edo Setya N
FURNACE : ZI2703A03/32
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	0.6399
AVG	**97.8460**	**0.0176**	**0.0008**	**0.1305**	**0.0086**	**0.0007**	**0.6225**
SD	*0.05100*	*0.00008*	*0.00046*	*0.00687*	*0.00018*	*0.00007*	*0.02466*
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	-0.0009	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*	*0.82*	*2.77*	*23.47*	*0.00*	*0.75*	*2.17*

	Ti	N	B	Pb	Sb	Ca	Mg
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*	*9.81*	*28.48*

	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*

Q.C. PASSED
By.....Date 27/09.....

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 Spesimen	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (KN)	ΔL (mm)	Tegangan (MPa)	Regangan (%)
1	TL-750_1	4,66	12,34	20,92	18,32	363,80	36,64
2	TL-750_2	4,53	13,46	24,00	20,56	393,61	41,12
3	TL-750_3	4,23	13,42	23,50	20,75	413,98	41,50
4	TL-850_1	4,22	13,25	21,69	16,72	387,91	33,44
5	TL-850_2	4,30	13,66	24,21	21,61	412,17	43,22
6	TL-850_3	4,28	12,05	21,17	18,97	410,48	37,94
7	TL-950_1	4,98	13,48	20,25	22,13	301,65	44,26
8	TL-950_2	4,54	13,36	19,67	21,06	324,30	42,12
9	TL-950_3	4,54	12,80	18,26	17,68	314,22	35,36
10	L-750_1	4,63	12,12	12,70	5,24	226,32	10,48
11	L-750_2	4,35	13,54	19,95	8,25	338,72	16,50
12	L-750_3	4,10	13,31	19,79	8,82	362,65	17,64
13	L-850_1	4,60	13,32	18,37	11,20	299,81	22,40
14	L-850_2	4,73	12,16	16,28	9,83	283,05	19,66
15	L-850_3	4,51	13,77	12,54	5,23	201,92	10,46
16	L-950_1	4,52	14,00	19,29	15,08	304,84	30,16
17	L-950_2	5,04	12,09	16,49	16,11	270,62	32,22
18	L-950_3	4,47	13,89	22,01	21,72	354,50	43,44

Keterangan:

1. Pengujian dilakukan tanggal 22 Desember 2021
2. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine
3. Standar spesimen menggunakan JIS Z 2201

Yogyakarta, 22 Desember 2021
Staf Laboratorium Bahan Teknik

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

Lembar asli, tidak untuk digandakan

Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281

LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

HASIL PENGUJIAN BENDING

No.	Variasi Spesimen	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (KN)	Defleksi (mm)	Tegangan Bending (MPa)
1	TL-750_1	4,60	19,90	4,23	26,50	527,39
2	TL-750_2	4,68	19,23	4,15	26,89	517,29
3	TL-750_3	4,67	20,30	4,28	26,71	507,54
4	TL-850_1	4,70	20,14	3,91	26,76	461,40
5	TL-850_2	4,65	20,55	4,13	26,18	487,97
6	TL-850_3	4,68	18,93	3,15	26,61	398,87
7	TL-950_1	4,96	20,67	3,20	28,61	330,37
8	TL-950_2	4,89	19,08	2,93	28,72	337,16
9	TL-950_3	4,70	20,49	3,54	27,21	410,61
10	L-750_1	4,40	20,64	3,66	28,54	480,87
11	L-750_2	4,55	19,20	3,69	28,73	487,37
12	L-750_3	4,77	19,27	3,90	27,72	466,99
13	L-850_1	4,30	20,76	3,28	28,59	448,61
14	L-850_2	4,50	20,68	3,09	28,25	387,38
15	L-850_3	4,57	20,83	3,49	28,06	421,18
16	L-950_1	4,56	20,77	2,76	26,16	335,51
17	L-950_2	4,75	21,37	2,83	28,80	308,14
18	L-950_3	4,71	19,92	2,78	28,70	330,27

Keterangan:
1. Pengujian dilakukan tanggal 22 Desember 2021
2. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine
3. Standar spesimen menggunakan JIS Z 2204

Yogyakarta, 22 Desember 2021
Staf Laboratorium Bahan Teknik

Pengujian & Analisa Material
Lab. Bahan Teknik
Departemen Teknik Mesin

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

Lembar asli, tidak untuk digandakan

Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281

LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

HASIL PENGUJIAN IMPACT

No.	Variasi Spesimen	Sudut α (°)	Energi (J)	Sudut β (°)	Energi Terserap (J)	Luas (mm^2)	Harga Impact (J/mm^2)
1	TL-750_1	151	300	102	106,7	37,3	2,856
2	TL-750_2	151	300	103	103,9	35,6	2,917
3	TL-750_3	151	300	108	90,5	37,7	2,402
4	TL-850_1	151	300	107	93,2	41,2	2,264
5	TL-850_2	151	300	107	93,2	38,1	2,445
6	TL-850_3	151	300	110	85,2	35,7	2,384
7	TL-950_1	151	300	115	72,3	42,3	1,711
8	TL-950_2	151	300	114	74,9	45,3	1,654
9	TL-950_3	151	300	109	87,8	42,9	2,049
10	L-750_1	151	300	133	30,8	37,5	0,821
11	L-750_2	151	300	116	69,8	40,9	1,705
12	L-750_3	151	300	136	24,8	39,7	0,626
13	L-850_1	151	300	140	17,4	38,5	0,451
14	L-850_2	151	300	124	50,5	48,7	1,036
15	L-850_3	151	300	126	45,9	37,3	1,230
16	L-950_1	151	300	142	13,9	45,5	0,305
17	L-950_2	151	300	144	10,5	42,9	0,245
18	L-950_3	151	300	139	19,2	42,7	0,449

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 22 Desember 2021

Yogyakarta, 22 Desember 2021
Staf Laboratorium Bahan Teknik

Pengujian & Analisa Material
Lab. Bahan Teknik
Departemen Teknik Mesin
Sekolah Vokasi UGM

Dr. Lilik Dwi Setyana, S.T., M.T
NIP. 19770312002121002

Lembar asli, tidak untuk digandakan

Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281

LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

PENGUJIAN KEKERASAN VICKERS

Variasi	Daerah	D1 (mm)	D2 (mm)	D rata-rata (mm)	Kekerasan (VHN)
750 L	Las	44,17	45,83	45,00	183,11
		51,67	52,50	52,08	136,69
		50,00	50,00	50,00	148,32
	HAZ	50,00	53,33	51,67	138,91
		54,17	54,17	54,17	126,38
		54,17	55,83	55,00	122,58
	Induk	55,00	60,00	57,50	112,15
		57,50	60,00	58,75	107,43
		58,33	59,17	58,75	107,43
850 L	Las	45,00	45,83	45,42	179,77
		45,00	42,50	43,75	193,72
		45,83	46,67	46,25	173,35
	HAZ	48,33	51,67	50,00	148,32
		45,83	50,00	47,92	161,50
		50,00	50,00	50,00	148,32
	Induk	52,50	53,33	52,92	132,42
		53,33	56,67	55,00	122,58
		54,17	51,67	52,92	132,42
950 L	Las	48,33	47,50	47,92	161,50
		49,17	49,17	49,17	153,39
		51,67	50,00	50,83	143,50
	HAZ	48,33	50,83	49,58	150,82
		52,50	48,33	50,42	145,88
		50,00	51,67	50,83	143,50
	Induk	52,50	47,50	50,00	148,32
		50,00	47,50	48,75	156,02
		54,17	57,50	55,83	118,95

Lembar asli, tidak untuk digandakan

Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281

LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

PENGUJIAN KEKERASAN VICKERS

Variasi	Titik Uji	D1 (mm)	D2 (mm)	D rata-rata (mm)	Kekerasan (VHN)
750TL	1	54,17	55,83	55,00	122,58
	2	54,17	57,50	55,83	118,95
	3	60,83	58,33	59,58	104,45
850TL	1	52,50	52,50	52,50	134,53
	2	56,67	57,50	57,08	113,79
	3	55,00	55,83	55,42	120,74
950TL	1	53,33	52,50	52,92	132,42
	2	50,00	52,50	51,25	141,17
	3	50,00	50,00	50,00	148,32

Keterangan:

1. Pengujian dilakukan tanggal 25 Desember 2021
2. Pengujian menggunakan Hardness Micro Vickers (HMV M-3)
3. Pembebanan menggunakan 200 gf
3. Jarak antar titik uji 0,5 mm dengan skala 50 μm = 60 mm

Yogyakarta, 25 Desember 2021
Staf Laboratorium Bahan Teknik

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

Lembar asli, tidak untuk digandakan

Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281