

**OPTIMASI SIFAT FISIK DAN MEKANIK SAMBUNGAN LAS
TIG (*TUNGSTEN INERT GAS*) BAJA SS400 DENGAN
VARIASI TEMPERATUR PWHT (*POST WELDING HEAT
TREATMENT*)**

TUGAS AKHIR

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



Disusun Oleh :

Nama : Reza Arief Sidiq
No. Mahasiswa : 20525132
NIRM : 2009050077

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

2024

PERYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama : Reza Arief Sidiq

NIM : 20525132

Program Studi : Teknik Mesin

Institusi : Universitas Islam Indonesia

Judul Laporan : "OPTIMASI SIFAT FISIK DAN MEKANIK
SAMBUNGAN LAS TIG (*TUNGSTEN INERT GAS*)
BAJA SS400 DENGAN VARIASI TEMPERATUR
PWHT (*POST WELDING HEAT TREATMENT*)"

Dengan ini, saya menyatakan bahwa skripsi ini merupakan hasil karya asli saya sendiri, yang disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam meraih gelar Sarjana di Universitas Islam Indonesia. Sepanjang pengetahuan saya, tidak ada karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh pihak lain, kecuali yang telah saya sebutkan sebagai acuan atau referensi dengan mencantumkan sumbernya secara tepat. Saya bertanggung jawab atas keaslian karya ini. Apabila ditemukan adanya pelanggaran terhadap pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 6 Desember 2024



Reza Arief Sidiq

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

OPTIMASI SIFAT FISIK DAN MEKANIK SAMBUNGAN LAS
TIG (*TUNGSTEN INERT GAS*) BAJA SS400 DENGAN
VARIASI TEMPERATUR PWHT (*POST WELDING HEAT*
***TREATMENT*)**

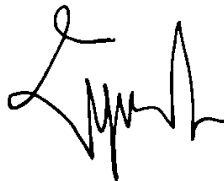
TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Reza Arief Sidiq
No. Mahasiswa : 20525132
NIRM : 2009050077

Yogyakarta, 6 Desember 2024

Dosen Pembimbing



Yustiasih Purwaningrung, S.T., M.T.

**OPTIMASI SIFAT FISIK DAN MEKANIK SAMBUNGAN LAS
TIG (*TUNGSTEN INERT GAS*) BAJA SS400 DENGAN
VARIASI TEMPERATUR PWHT (*POST WELDING HEAT
POST WELDING HEAT TREATMENT*)**

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Reza Arief Sidiq
No. Mahasiswa : 20525132
NIRM : 2009050077

Tim Penguji

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

Ketua

Purtojo, S.T., M.Sc.

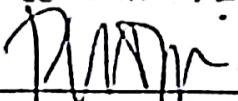
Anggota I

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

IPP

Anggota II


Tanggal : 07/01/2024


Tanggal : 31/12/2024


Tanggal : 27-12-2024

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin




Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP

HALAMAN PERSEMBAHAN

Assalamu'alaikum Waromatullohi Wabarokatuh

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, saya persembahkan skripsi ini kepada:

1. Orang tua tercinta
2. Keluarga terkasih
3. Dosen pembimbing Ibu Yustiasih Purwaningrun S.T., M.T.
4. Jurusan Teknik Mesin FTI UII dan Keluarga besar HMTM FTI UII
5. Universitas Islam Indonesia
6. Kost Putra Anugrah

HALAMAN MOTTO

“Alon-alon asal klakon”

“Jangan takut gagal, tapi takutlah tidak pernah mencoba.”

- Roy T. Bennett –

“Cobaan hidupmu bukanlah untuk menguji kekuatan dirimu. Tapi menakar seberapa besar kesungguhan dalam memohon pertolongan kepada Allah.”

- Ibnu Qoyyim –

“Kerja keras, kesetiaan, dan keyakinan adalah fondasi kesuksesan.”

KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH

Assalamu'alaikum Waromatullohi Wabarokatuh

Alhamdulillahirobbil'alamin, puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul: “OPTIMASI SIFAT FISIK DAN MEKANIK SAMBUNGAN LAS TIG (*TUNGSTEN INERT GAS*) BAJA SS400 DENGAN VARIASI PWHT (*POST WELDING HEAT TREATMENT*)”. Sholawat dan salam semoga selalu tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, beserta keluarganya dan sahabat-sahabatnya, yang kita harapkan syafaatnya di akhirat. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat yang harus ditempuh oleh setiap mahasiswa untuk meraih gelar sarjana di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia. Selama proses penyusunan laporan ini, penulis telah menerima banyak dukungan dari berbagai pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih atas segala bantuan yang diberikan, baik secara langsung maupun tidak langsung. Perkenankanlah penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Allah SWT, yang telah memberikan segala nikmat dan rahamat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak dan Ibu, serta seluruh anggota keluarga tercinta, penulis mengucapkan terima kasih yang mendalam atas doa dan dukungan yang selalu diberikan selama penulis menempuh pendidikan. Keberadaan dan semangat yang Bapak dan Ibu berikan sangat berarti bagi penulis, terutama dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
3. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
4. Ibu Yustiasih Purwaningrum, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bimbingan, pengarahan dan perhatian selama pelaksanaan tugas akhir
5. Bapak Agung Nugroho Adi, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik.

6. Seluruh dosen dan karyawan di lingkungan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, terima kasih atas bantuan dan ilmu yang sudah diberikan kepada penulis.
7. Bapak Dr. Lilik Dwi Setyana, S.T., M.T selaku pembimbing saat pengujian di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin SV UGM.
8. Saudara Isal Alvianto selaku rekan kerja dalam penyelesaian tugas akhir ini yang memberikan kerjasama yang baik dan atmosfer positif yang tercipta, dengan diskusi dan pertukaran ide yang dilakukan telah memperluas wawasan penulis dan membantu mengatasi berbagai tantangan yang dihadapi.
9. Kepada rekan-rekan seperjuangan Kost Putra Anugrah dan angkatan 2020 Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, yang telah menjadi bagian dari keluarga saya di kampus. untuk kebersamaan, saling berbagi ilmu, terutama saat menghadapi tugas-tugas berat dan masa-masa sulit. Semoga ikatan kekeluargaan ini akan terus terjalin tidak terputus dan menguatkan kita hingga akhir hayat nanti.
10. Kepada Sahabat Antro terima kasih atas kebersamaan, kepercayaan, dan dukunganmu yang tiada henti. Kehadiranmu bukan hanya sebagai tempat berbagi cerita, tetapi juga sebagai pengingat untuk terus berjuang dan tidak menyerah. Semoga persahabatan kita tetap abadi dan menjadi inspirasi bagi perjalanan hidup di masa depan.

Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini, penulis telah berusaha semaksimal mungkin untuk menghasilkan karya yang terbaik. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam laporan ini, sehingga jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis sangat berharap menerima berbagai kritik dan saran yang demi perbaikan di masa mendatang. Penulis berharap laporan ini dapat memberikan manfaat bagi semua pembaca, terutama bagi penulis sendiri.

Yogyakarta, 6 Desember 2024



Reza Arief Sidiq

ABSTRAK

Penelitian ini berfokus pada optimasi sifat fisik dan mekanik sambungan las TIG (*Tungsten Inert Gas*) pada baja SS400, yang penting untuk memenuhi standar kualitas di industri. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis dampak *Post Welding Heat Treatment* (PWHT) dengan variasi suhu 900°C, 1000°C, dan 1100°C selama 2 jam terhadap sifat fisik dan mekanik sambungan las. Sampel baja SS400 dilas menggunakan parameter pengelasan yang optimal, kemudian dilakukan serangkaian pengujian untuk menilai kekerasan, distorsi, uji tarik, uji impact, dan uji *bending*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi suhu PWHT memberikan pengaruh signifikan terhadap sifat fisik dan mekanik. Analisis mikrostruktur mengungkap adanya perubahan ukuran butir dan distribusi fase yang berkontribusi terhadap peningkatan sifat mekanik. Spesimen yang akan di PWHT 1100°C menunjukkan kerataan terbaik dengan nilai 0,42 mm, sementara spesimen PWHT 1000°C memiliki performa terbaik dalam uji tarik. Spesimen PWHT 1000°C menunjukkan tegangan tertinggi dengan nilai 246,31 Mpa dan regangan maksimal tercatat pada 1100°C dengan nilai 5,78%. Dalam uji impact, spesimen PWHT 1000°C menunjukkan nilai energi serap terbaik dengan nilai 29,91 joule, serta harga impact mencapai 1,38 j/mm. Uji *bending* menunjukkan suhu PWHT 1000°C menghasilkan nilai tertinggi, yaitu 483,88 Mpa, dan pada uji kekerasan, spesimen PWHT 1100°C juga menunjukkan nilai tertinggi di daerah logam induk sebesar 202,55 HVN, spesimen PWHT 1100°C juga menunjukkan performa nilai tertinggi di daerah HAZ sebesar 211,40 HVN, spesimen PWHT 1100°C juga menunjukkan performa nilai tertinggi di daerah las sebesar 202,20 HVN. Dengan demikian, pemilihan suhu PWHT yang tepat terbukti sangat penting dalam meningkatkan performa sambungan las TIG pada baja SS400, serta memberikan wawasan berharga untuk aplikasi teknik las dan perlakuan panas dalam industri.

Kata kunci: Pengelasan, Baja SS400, TIG, PWHT.

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Pernyataan Keaslian	ii
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing	iii
Halaman Persembahan	v
Halaman Motto	vi
Kata Pengantar atau Ucapan Terima Kasih	vii
Abstrak	ix
Daftar Isi	x
Daftar Tabel	xiii
Daftar Gambar	xiv
Daftar Notasi	xvi
Bab 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
Bab 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Kajian Pustaka	5
2.2 Dasar Teori	6
2.3 <i>Tungsten Inert Gas (TIG)</i>	8
2.4 Baja	9
2.5 Baja SS400	11
2.6 <i>Post Welding Heat Treatment (PWHT)</i>	11
2.7 <i>Quenching</i>	13
2.8 Pengujian Material	13
2.8.1 Pengujian <i>Dye Penetrant</i>	13
2.8.2 Pengujian Distorsi	14
2.8.3 Pengujian Tarik	15

2.8.4	Pengujian Impak.....	17
2.8.5	Pengujian <i>Bending</i>	19
2.8.6	Pengujian Kekerasan	20
2.8.7	Pengujian Mikrostruktur.....	21
2.8.8	Pengujian Laju Korosi	22
Bab 3 METODE PENELITIAN.....		24
3.1	Alur Penelitian	24
3.2	Peralatan dan Bahan.....	25
3.3	Proses Pengelasan TIG	36
3.4	Proses Pengujian <i>Dye Penetrant</i>	37
3.5	Pengujian Distorsi.....	39
3.6	Proses Pembuatan Spesimen.....	42
3.7	Proses Komposisi Kimia.....	42
3.8	Proses PWHT.....	44
3.9	Pengujian Tarik.....	45
3.10	Pengujian Impak.....	46
3.11	Pengujian <i>Bending</i>	47
3.12	Pengujian Kekerasan.....	49
3.13	Pengamatan Struktur Mikro	50
3.14	Proses Pengujian Laju Korosi	51
Bab 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....		53
4.1	Hasil Pengujian <i>Dye Penetrant</i>	53
4.2	Hasil Pengujian Distorsi	54
4.3	Hasil Komposisi Kimia.....	56
4.4	Hasil Proses PWHT	58
4.5	Hasil Pengujian Tarik	59
4.6	Hasil Pengujian Impak.....	62
4.7	Hasil Pengujian <i>Bending</i>	64
4.8	Hasil Pengujian Kekerasan	66
4.9	Hasil Pengamatan Struktur Mikro	68
4.10	Hasil Pengujian Laju Korosi	69
Bab 5 PENUTUP.....		72

5.1	Kesimpulan	72
5.2	Saran atau Penelitian Selanjutnya	72
DAFTAR PUSTAKA		74

DAFTAR TABEL

Tabel 3-1 Peralatan yang Digunakan pada Penelitian	25
Tabel 3-2 Bahan yang Digunakan pada Penelitian.....	33
Tabel 4-1 Komposisi Kimia Material SS400	56
Tabel 4-2 Komposisi Kimia Logam Las	57
Tabel 4-3 Data Mengenai Pengurangan Berat Spesimen	69
Tabel 4-4 Hasil Perhitungan laju korosi	70
Tabel 4-5 Standar Kualitas Ketahanan Korosi	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1 Kampuh Pengelasan	7
Gambar 2-2 Daerah HAZ Pengelasan	8
Gambar 2-3 Pengelasan TIG	9
Gambar 2-4 PWHT.....	12
Gambar 2-5. Proses Pengujian <i>Dye Penetrant</i>	14
Gambar 2-6 <i>Surface Analysis</i>	14
Gambar 2-7 Kurva Tegangan-Regangan.....	16
Gambar 2-8 Pengujian Impak Metode <i>Charpy</i>	18
Gambar 2-9 Pengujian Impak Metode <i>izod</i>	18
Gambar 2-10 Diagram Fe-C.....	21
Gambar 2-11 Jenis-Jenis Struktur Mikro	22
Gambar 2-12 Kriteria tahanan laju korosi	23
Gambar 3-1 Diagram Alur Penelitian.....	24
Gambar 3-2 Diagram Alur Penelitian.....	25
Gambar 3-3 Proses Pengelasan TIG	37
Gambar 3-4 Pembersihan Pelat Hasil Pengelasan.....	38
Gambar 3-5 Pemberian <i>Penetrant</i> pada Pelat Hasil Pengelasan	38
Gambar 3-6 Pemberian <i>Developer</i> pada Pelat Hasil Pengelasan	39
Gambar 3-7 Pemberian Tanda Distorsi	40
Gambar 3-8 Perintah Menggambarkan 3D.....	41
Gambar 3-9 Pengaturan Tampilan <i>Figure</i>	41
Gambar 3-10 <i>Laser Cutting</i> Spesimen	42
Gambar 3-11 Proses Komposisi Kimia	43
Gambar 3-12 Spesimen Komposisi Kimia	43
Gambar 3-13 Proses PWHT	44
Gambar 3-14 <i>Quenching</i> Menggunakan Air	45
Gambar 3-15 Standar JIS Z 2201	45
Gambar 3-16 Pengujian Tarik	46
Gambar 3-17 Standar JIS Z 2202	47
Gambar 3-18 Pengujian Impak.....	47

Gambar 3-19 Standar JIS Z 2204	48
Gambar 3-20 Pengujian <i>Bending</i>	49
Gambar 3-21 Spesimen Benda Uji Kekerasan	49
Gambar 3-22 Alat Uji Kekerasan <i>Vickers</i>	50
Gambar 3-23 Alat Uji Mikro	50
Gambar 3-24 Diagram Alur Pengamatan Struktur Mikro	51
Gambar 3-25 Proses Pengujian Laju Korosi	52
Gambar 3-26 Diagram Alur pengujian laju korosi	52
Gambar 4-1 Hasil Proses <i>Dye Penetrant</i>	53
Gambar 4-2 Hasil Pengujian Distorsi.....	55
Gambar 4-3 Diagram Kerataan	56
Gambar 4-4 Data Proses PWHT.....	59
Gambar 4-5 Diagram Tegangan	60
Gambar 4-6 Diagram Regangan.....	61
Gambar 4-7 Spesimen Setelah Pengujian Tarik.....	61
Gambar 4-8 Diagram Energi yang Diserap	63
Gambar 4-9 Diagram Harga Impak.....	63
Gambar 4-10.....	64
Gambar 4-11 Diagram Tegangan <i>Bending</i>	65
Gambar 4-12 Spesimen Setelah Pengujian <i>Bending</i>	66
Gambar 4-13 Diagram Hasil Kekerasan.....	67
Gambar 4-14 Hasil Pengamatan Struktur Mikro	68

DAFTAR NOTASI

TIG	: <i>Tungsten Inert Gas</i>
MIG	: <i>Metal Inert Gas</i>
SMAW	: <i>Shield Metal Arc Welding</i>
GTAW	: <i>Gas Tungsten Arc Welding</i>
PWHT	: <i>Post Welding Heat Treatment</i>
HVN	: <i>Hardness Vickers Number</i>
HAZ	: <i>Heat Affected Zone</i>
JIS	: <i>Japanese Industrial Standard</i>
C	; Karbon
Mn	: Mangan
P	: Fosfor
S	: Sulfur

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Proses pengelasan merupakan salah satu teknik yang sering digunakan dalam industri manufaktur, terutama dalam fabrikasi dan konstruksi melalui penggabungan dua atau lebih dalam berbagai macam struktur logam. Salah satu metode pengelasan yang ada adalah *Tungsten Inert Gas* (TIG). GTAW atau biasa juga disebut *Tungsten Inert Gas* (TIG) merupakan suatu proses pengelasan dengan memakai busur listrik yang dihasilkan oleh elektroda yang berbahan *tungsten*, sementara bahan pengisi dapat berupa material yang sejenis atau sama dengan logam yang dilas, yang memungkinkan untuk menghasilkan sambungan yang bersih, akurat, dan berkualitas tinggi. Gas pelindung yang digunakan dalam pengelasan biasanya berupa gas argon. Ada empat komponen utama dari las GTAW, yaitu: obor (*torch*), elektroda tidak terkonsumsi (*tungsten*), sumber arus las dan gas pelindung. Pengelasan GTAW dapat menjangkau proses pengelasan yang luas dan mempunyai kemampuan yang tinggi untuk menyatukan logam, serta dapat pula mengelas pada segala posisi pengelasan dengan kepadatan yang tinggi (Sarifudin & Tjahjanti, 2024).

Baja SS400 adalah tipe baja karbon rendah dengan komposisi kimia yang optimal, sehingga banyak digunakan dalam sektor industri seperti konstruksi, otomotif, dan manufaktur. Karakteristik unggul dari baja ini mencakup kekuatan tarik yang tinggi, keuletan, serta kemudahan dalam proses pemesinan dan pengelasan. Namun, terdapat tantangan selama proses pengelasan, karena baja ini mengalami pemanasan lokal pada suhu tinggi diikuti dengan pendinginan cepat, yang dapat menimbulkan tekanan termal signifikan pada material. Hal ini berpotensi menyebabkan perubahan sifat mekanik yang merugikan, termasuk tegangan sisa dalam sambungan dan perubahan mikrostruktur, seperti pembentukan martensit atau perubahan ukuran butir yang tidak diinginkan. Konsekuensi tersebut dapat mempengaruhi ketahanan baja terhadap fraktur, korosi, dan kelenturan. Untuk mengatasi masalah ini dan memastikan kualitas

sambungan las yang optimal, dibutuhkan perlakuan pasca las yang dikenal sebagai *Post Welding Heat Treatment* (PWHT), yang bertujuan untuk meredakan tegangan sisa dan memperbaiki mikrostruktur sambungan las. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi temperatur PWHT pada sifat fisik dan mekanik sambungan las TIG pada baja SS400, dengan harapan dapat memberikan panduan yang lebih efektif dalam aplikasi pengelasan di industri (Ramadhani dkk., 2022).

PWHT merupakan langkah penting dalam optimasi sifat sambungan las. PWHT bertujuan untuk mengurangi tegangan residual dan memperbaiki sifat mekanik sambungan dengan mengubah struktur mikro material yang dilas (Tavares dkk., 2019). Variasi temperatur dan durasi pada proses PWHT telah terbukti berpengaruh signifikan terhadap sifat mekanik sambungan las, sehingga menemukan kondisi optimal bagi temperatur dan durasi perlakuan ini menjadi kunci dalam penelitian ini.

Dampak negatif dari proses pengelasan ini dapat mengakibatkan adanya tegangan sisa, perubahan mikrostruktur, yang berpotensi menurunkan kualitas sambungan. Oleh karena itu, perlakuan material diperlukan setelah pengelasan ini, salah satunya perlakuan panas atau PWHT, sering digunakan untuk memperbaiki kualitas sambungan (Putra Nugraha dkk., 2017). PWHT ini berfungsi untuk mengurangi tegangan sisa, meningkatkan struktur mikro, dan meningkatkan atau memulihkan sifat mekanik sambungan las. Dengan adanya variasi temperatur PWHT menjadi faktor penting untuk hasil akhir dari perlakuan ini, pentingnya untuk mengeksplorasi variasi ini pada sambungan las TIG baja karbon rendah SS400.

Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki variasi temperatur pada PWHT, karena temperatur dapat mempengaruhi kualitas pada sambungan las. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan adanya hubungan yang signifikan antara temperatur pada PWHT dengan sambungan las, seperti sifat fisik dan sifat mekanik sambungan las TIG baja karbon rendah SS400.

Dengan adanya penelitian ini, diharapkan diharapkan tidak hanya memberi wawasan yang lebih tentang variasi temperatur PWHT mempengaruhi kualitas sambungan las TIG, tetapi juga memberikan kontribusi dalam pengembangan teknik pengelasan yang lebih efisien dan efektif.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, maka rumusan masalah pada penelitian ini, bagaimana cara menentukan temperatur PWHT yang sesuai untuk mencapai sifat fisik dan mekanik terbaik pada sambungan las TIG baja karbon rendah SS400?

1.3 Batasan Masalah

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

1. Material yang digunakan baja karbon rendah SS400 dengan tebal 3 mm.
2. Menggunakan pengelasan TIG dan parameter pengelasan yang dipakai yaitu menggunakan diameter *tungsten* 2,4 mm Weldcarft AWS A5 12-80, diameter logam pengisi 1,6 mm ER70S-6, gas pelindung menggunakan argon, *flow rate* 6 liter/menit, tegangan 230 V, kecepatan pengelasan 1,46 mm/s dan arus 95 ampere.
3. Proses PWHT yang dilakukan yaitu menggunakan *furnace*, dengan variasi temperatur 900°C, 1000°C, dan 1100°C *holding time* selama 2 jam dengan media pendinginan air.
4. Pengujian yang dilakukan adalah uji *dye penetrant*, uji distorsi, uji komposisi kimia, uji tarik, uji impak, uji *bending*, uji kekerasan, dan uji pengamatan struktur mikro, uji laju korosi.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disampaikan maka ditentukan tujuan penelitian, untuk mengetahui temperatur PWHT yang menghasilkan sambungan las TIG baja karbon rendah SS400 dengan sifat fisik dan mekanik optimal.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapatkan pada penelitian ini, peningkatan kualitas sifat fisik dan mekanik sambungan las

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk sistematika penulisan tugas akhir ini dibagi menjadi lima bab. Bab I berisi tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan. Bab II berisi tentang tinjauan Pustaka, teori atau informasi dari jurnal, artikel, buku yang melandasi penelitian. Bab III berisi tentang alur penelitian, alat dan bahan serta tahapan-tahapan proses. Bab IV membahas mengenai hasil yang telah diperoleh dari proses penelitian yang dilakukan. Dan yang terakhir untuk Bab V berisi kesimpulan dari penelitian serta saran.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Teknik pengelasan sering kali digunakan untuk proses penyambungan dua besi ataupun lebih dalam berbagai bidang. Saat proses pengelasan terjadi pemanasan terpusat pada bagian terjadinya pengelasan.

Dalam sebuah jurnal penelitian yang ditulis (Ghorbani dkk., 2017) pengaruh variasi suhu 860°C dan 960°C dengan waktu *holding time* 120 menit pada baja AISI 304L dan AISI 430, menggunakan dua jenis logam pengisi, yaitu 316L dan 2594L melalui metode GTAW. Setelah proses pengelasan, perlakuan panas (PWHT) dilakukan diikuti dengan pendinginan menggunakan quenching air. Pengujian meliputi analisis struktur mikro, penampang patahan, dan area korosi menggunakan SEM, serta pengujian tarik, tekukan, dan polarisasi potensiodinamik untuk menilai kinerja mekanik dan korosi sampel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sambungan las setelah perlakuan panas memiliki sifat mekanik yang baik, dengan kekuatan tarik tertinggi pada suhu 960°C. Selain itu, ukuran butiran yang lebih kecil pada sampel yang diperlakukan panas pada 960°C memberikan ketahanan korosi yang lebih baik dibandingkan pada 860°C. Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa logam pengisi 2594L tanpa PWHT memiliki kekuatan tarik 389 ± 5 MPa, sedangkan setelah PWHT pada 960°C, kekuatan tarik meningkat menjadi 624 ± 5 MPa. Untuk logam pengisi 316L, tanpa PWHT kekuatan tariknya 409 ± 4 MPa, dan meningkat menjadi 615 ± 4 MPa setelah PWHT pada 960°C.

Jurnal lain yang ditulis oleh (Prabakaran & Kannan, 2019) membahas pengaruh perlakuan panas pasca pengelasan (PWHT) terhadap kekerasan baja karbon rendah dengan menggunakan proses pengelasan sinar laser (LBW) pada plat A588. Plat yang sudah dilas dipanaskan dalam tungku hingga 850°C dan dipertahankan selama dua jam, kemudian didinginkan dengan metode yang berbeda, termasuk pendinginan dalam tungku, dengan air, dan udara. Penelitian ini bertujuan untuk menilai kekerasan Vickers serta sifat metalurgi pelat baja Corten A588 Grade setelah PWHT. Hasil menunjukkan bahwa pada sampel yang

didinginkan dalam tungku, kekerasan di zona las mencapai 315 HVN, sedangkan kekerasan rata-rata di lekukan pelat adalah 250 HVN, sama dengan bahan dasarnya. Dalam sampel yang didinginkan dengan air, kekerasan zona las meningkat menjadi 381 HVN, dengan kekerasan rata-rata di zona yang terpengaruh panas sebesar 361 HVN dan 349 HVN pada bahan dasarnya. Peningkatan ini disebabkan oleh laju pendinginan yang lebih tinggi. Mikrostruktur baja Corten A588 Grade terdiri dari ferit dan koloni perlit dengan ukuran butiran antara 25 hingga 30 mikron. Setelah PWHT, ditemukan inklusi karbida kecil yang berbentuk bulat tersebar di permukaan sampel yang didinginkan dengan air.

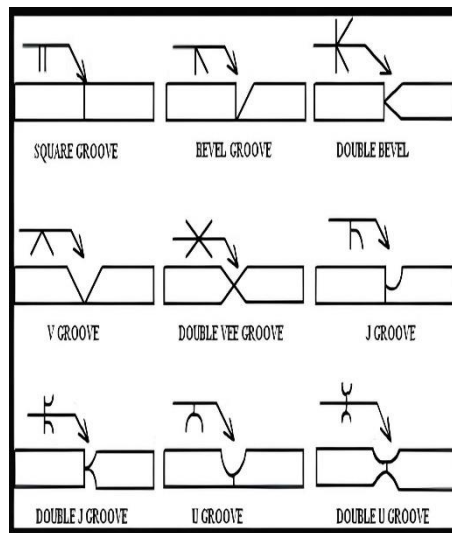
Pada jurnal lain yang ditulis oleh (Afonso dkk., 2022) membahas pengaruh pengelasan terhadap tegangan termal dan distorsi geometrik yang seringkali menjadi tantangan dalam estimasi akurat. Penelitian ini dilakukan di laboratorium menggunakan metode GMAW pada baja S235JR untuk menilai dampak urutan pengelasan terhadap distorsi sudut pada sambungan tumpul, melalui perbandingan tiga urutan pengelasan yang berbeda. Distorsi diukur menggunakan peralatan metrologi dengan akurasi tinggi untuk menentukan koordinat dalam ruang operasional. Hasil analisis menunjukkan bahwa urutan pengelasan secara signifikan memengaruhi distorsi akhir, di mana metode simetris menghasilkan distorsi paling sedikit, diikuti oleh metode satu langkah.

Melalui kajian pustaka ini, diharapkan pentingnya proses PWHT dalam pengelasan, khususnya dalam konteks baja SS400 dengan metode pengelasan TIG. Penelitian ini tidak hanya bertujuan untuk memahami variasi dalam temperatur PWHT terhadap sambungan las, akan tetapi juga memberikan wawasan dalam pengelolaan dan penerapan yang lebih baik untuk kualitas sambungan las yang berkualitas.

2.2 Dasar Teori

Metode penyambungan logam telah dikenal selama ribuan tahun, dengan pengelasan tempa oleh pandai besi sebagai bentuk awalnya. Seiring berkembangnya industri, inovasi baru muncul, termasuk pengelasan resistansi dan pengelasan busur yang memanfaatkan arus listrik. Pengelasan busur awalnya menggunakan elektroda karbon yang diperkenalkan oleh Bemados. Saat ini,

berbagai metode pengelasan semakin berkembang, seperti TIG, MIG, dan SMAW, untuk memenuhi kebutuhan industri yang beragam. Terdapat empat posisi pengelasan dasar, yaitu posisi datar, horizontal-vertikal, di atas kepala, dan vertikal. Pengelasan vertikal dapat dilakukan dengan arah ke atas atau ke bawah, sementara las fillet bisa dilakukan dalam posisi horizontal-vertikal maupun posisi datar. Pada gambar 2-1 merupakan jenis-jenis kampuh yang digunakan untuk proses pengelasan.



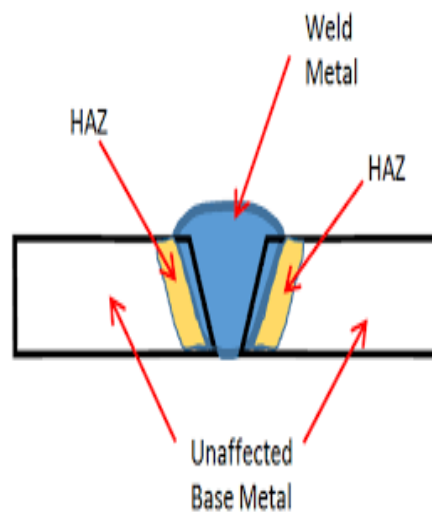
Gambar 2-1 Kampuh Pengelasan

(Sumber: www.pengelasan.net)

Pada pengelasan memiliki jenis kampuh berdasarkan metode pengelasan dan ketebalan material yang ingin disambung. Sambungan yang optimal harus memberikan kekuatan dan kualitas struktur yang diperlukan sambil meminimalisir volume sambungan (Weman, 2003).

Dalam proses pengelasan, terjadi fenomena difusi yang dapat berlangsung dalam dua kondisi, yaitu padat dan cair. Dalam istilah pengelasan, kondisi padat dikenal sebagai pengelasan keadaan padat (*Solid State Welding/SSW*) atau pengelasan tekanan (*Pressure Welding*), sedangkan kondisi cair disebut sebagai pengelasan keadaan cair (*Liquid State Welding/LSW*) atau pengelasan lebur (*Fusion Welding*). Proses pengelasan keadaan padat (SSW) biasanya dilakukan dengan penerapan tekanan, sehingga sering disebut pengelasan tekanan *Pressure Welding*.

SSW memiliki beberapa keunggulan, seperti kemampuannya untuk menyambung material yang berbeda, kecepatan, presisi, dan minimnya daerah terpengaruh panas (HAZ). Namun, SSW juga memiliki kelemahan, termasuk kompleksitas persiapan sambungan dan proses yang memerlukan tingkat ketelitian yang tinggi. LSW adalah proses pengelasan populer yang melibatkan pencairan ujung material dengan energi panas dari berbagai sumber, seperti busur listrik atau sinar laser, dan memerlukan material yang sama untuk sambungan yang optimal. Kelebihan metode ini termasuk proses dan biaya yang sederhana serta pelaksanaan yang mudah. Namun, kelemahannya mencakup kebutuhan akan operator terampil, potensi terjadinya daerah terpengaruh panas (HAZ), dan risiko kecelakaan serta masalah kesehatan bagi juru las (Mulyadi & Iswanto, 2020). Gambar 2-2 merupakan daerah yang dihasilkan oleh pengelasan.

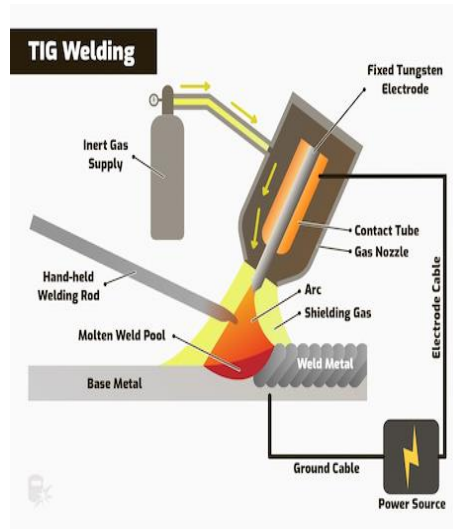


Gambar 2-2 Daerah HAZ Pengelasan
(Sumber: www.cwbgroup.org)

2.3 Tungsten Inert Gas (TIG)

Pengelasan TIG dilakukan untuk membantu proses pengelasan dengan jenis material yang sulit, seperti aluminium atau magnesium. Akan tetapi, di saat ini TIG sering digunakan pada material lain seperti baja tahan karat dan baja dengan daya tarik tinggi. Proses pengelasan TIG ini dengan cara melelehkan *filler* yang sesuai dengan TIG ke logam yang akan dilakukan penyambungan, *filler* ditambahkan dengan cara dengan mencelupkan ujung batang *filler* ke logam yang sedang

mencair. Sebagian besar logam teroksidasi saat proses pengelasan. Untuk mencegah terjadinya oksidasi, pengelasan TIG mengeluarkan gas pelindung yang keluar pada bagian busur tungsten untuk melindungi dari oksigen pada sekitar. Salah satu gas pelindung yang digunakan ialah gas argon (Jeyaprakash dkk., 2015). Gambar dari 2-3 proses dari pengelasan TIG.



Gambar 2-3 Pengelasan TIG

(Sumber: www.garudasystain.co.id)

Keunggulan saat menggunakan pengelasan TIG, pada *filler* kecepatan pengumpanan dapat diatur terlepas dari besarnya arus listrik sehingga saat penetrasi pada logam induk diatur sesuka hati, pengaturan yang unggul ini membuat TIG dapat digunakan pada pelat tipis maupun tebal, proses pengelasan TIG sering digunakan untuk baja tahan karat, baja tahan panas dan untuk mengelas logam-logam bukan besi (*non ferro*) (Romli, 2012).

2.4 Baja

Baja merupakan paduan antara besi (Fe) dan karbon (C), dengan kandungan karbon. Karbon yang terkandung dalam baja berfungsi penting dalam menentukan sifat mekanik dan karakteristik material tersebut. Dalam proses pencampuran, karbon berinteraksi dengan besi untuk membentuk senyawa yang dikenal sebagai karbida besi, yang memiliki rumus kimia Fe_3C dan sering disebut sebagai sementit. Senyawa ini memainkan peranan penting dalam memperkuat baja dan mempengaruhi ketahanan aus serta kekerasan material, sehingga

pemahaman tentang komposisi dan struktur karbida besi menjadi kunci dalam pengembangan dan aplikasi baja dalam berbagai industri (Hidayat, 2019).

Baja dibagi menjadi 3, yaitu:

1. Baja Karbon Rendah

Mempunyai kandungan karbon di bawah 0,25%, Struktur mikro baja karbon rendah terdiri dari dua komponen utama, yaitu ferit dan perlit. Dikarenakan komposisi dari baja ini cenderung memiliki sifat yang relatif lunak dan lemah, namun menawarkan keunggulan dalam kelenturan dan kekerasannya. Selain itu, baja jenis ini memiliki kemampuan pemesinan yang baik dan juga dapat dilas dengan mudah

2. Baja Karbon Sedang

Memiliki kandungan karbon antara 0,25% hingga 0,60%, Baja karbon sedang memiliki potensi kekerasan yang relatif rendah dan dapat berhasil menjalani perlakuan panas hanya pada bagian yang sangat tipis serta memerlukan rasio quenching yang cepat. Penambahan elemen seperti kromium, nikel, dan molibdenum dapat meningkatkan kapasitas logam ini untuk perlakuan panas. Baja karbon ini umumnya digunakan untuk pembuatan gir, crankshaft, dan komponen mesin lain yang memerlukan kombinasi antara kekuatan tinggi, ketahanan terhadap aus, dan kekerasan.

3. Baja Karbon Tinggi

Memiliki kandungan karbon antara 0,60% hingga 1,40%, Baja ini merupakan yang terkeras dan terkuat di antara jenis baja karbon lainnya, dengan tingkat kelenturan yang paling rendah. Material ini memiliki tegangan tarik tertinggi dan banyak dimanfaatkan dalam produksi alat. Salah satu aplikasi utama dari baja ini adalah dalam pembuatan kawat dan kabel baja (Sulistiyo & Prasetyo, 2016).

Struktur metalurgi serta kandungan karbon menjadi faktor utama yang menentukan karakteristik keseluruhan dari berbagai jenis baja karbon. Selain komponen utama ini, material yang tergolong sebagai baja karbon juga dapat mengandung sejumlah kecil elemen tambahan, termasuk kromium, nikel, molibdenum, tembaga, vanadium, niobium (kolumbium), fosfor, dan sulfur. Keberadaan elemen tambahan ini dapat meningkatkan kualitas dan sifat tertentu dari baja, seperti ketahanan terhadap korosi, kekuatan tarik, serta ketangguhan

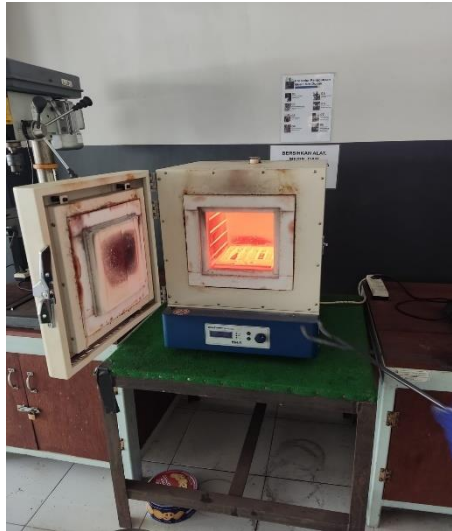
material. Oleh karena itu, memahami komposisi dan pengaruh elemen paduan ini sangat penting dalam pengembangan dan aplikasi baja karbon dalam berbagai industri dan kondisi pemakaian (Gandy, 2007).

2.5 Baja SS400

SS400 merupakan jenis baja karbon rendah yang ditentukan berdasarkan kandungan karbonnya yang kurang dari 0,17%. Unsur-unsur yang terdapat dalam baja SS400 meliputi karbon (C), mangan (Mn), silikon (Si), belerang (S), dan fosfor (P), yang secara kolektif memberikan sifat mekanik yang bermanfaat. Baja ini banyak digunakan dalam berbagai aplikasi di bidang konstruksi umum, di antaranya termasuk pembuatan tangki, produsen komponen struktural, dan dalam industri pembuatan kapal, berkat kombinasi kekuatan, ketahanan, dan kemudahan dalam pemrosesannya (Oktaviandy dkk., 2023).

2.6 *Post Welding Heat Treatment (PWHT)*

Proses PWHT dapat mengubah sifat dari baja dari yang lunak dan getas dapat menghasilkan baja dengan ketangguhan yang meningkat juga menghilangkan tegangan sisa yang diakibatkan pemrosesan dari pengelasan pada baja. Proses pengelasan menyebabkan material mengalami perubahan struktur dan butir akibat siklus pemanasan dan pendinginan yang tidak seragam. Ketidakseragaman ini menghasilkan tegangan sisa yang menjadikan material keras namun kurang tangguh. Untuk memulihkan sifat material, terutama dalam hal ketangguhan, diperlukan perlakuan panas pada suhu dan durasi tertentu, yang dikenal sebagai PWHT (*Post Welding Heat Treatment*) (Fitri dkk., 2019). Pada gambar 2-4 merupakan salah satu metode saat proses PWHT pada spesimen benda uji.



Gambar 2-4 PWHT

Metode dalam proses PWHT terdapat bermacam-macam, yaitu:

1. *Furnace PWHT*

Metode yang umum digunakan pada proses PWHT, dimana komponen yang sudah dilakukan proses pengelasan ditempatkan pada tungku dan dipanaskan ke suhu yang sudah ditentukan dalam rentang waktu yang sudah ditentukan.

2. *Resistance PWHT*

Resistansi listrik digunakan untuk memanaskan komponen yang sudah dilakukan proses pengelasan. Metode ini sering digunakan untuk material PWHT yang tidak bisa dimasukkan kedalam tungku atau yang terlokalisasi

3. *Induksi PWHT*

Kumparan induksi digunakan untuk memanaskan komponen yang sudah dilakukan proses pengelasan. Metode ini digunakan untuk material PWHT yang komponen bergeometri kompleks.

4. *Flame PWHT*

Api digunakan untuk memanaskan komponen yang sudah dilakukan proses pengelasan. Metode ini digunakan untuk material PWHT yang komponen yang berukuran besar.

5. *Infrared PWHT*

Radiasi inframerah digunakan untuk memanaskan komponen yang sudah dilakukan proses pengelasan. Metode ini digunakan untuk material PWHT yang komponen yang berukuran kecil atau untuk PWHT terokalisasi (Singh, 2023).

2.7 Quenching

Quenching merupakan salah satu proses perlakuan panas yang dirancang untuk meningkatkan kekerasan dan kekuatan material, khususnya pada logam seperti baja. Prosedur ini dimulai dengan pemanasan logam hingga mencapai suhu austenitisasi, diikuti dengan pendinginan cepat dengan cara mencelupkannya ke dalam media pendingin yang dapat berupa air, minyak, atau udara. Durasi waktu penahanan selama proses ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk jenis material, ketebalan komponen, suhu perlakuan panas, dan tujuan akhir dari perlakuan tersebut. Proses pendinginan yang cepat ini menyebabkan perubahan dalam struktur mikro logam, yang dapat meningkatkan kekerasan, meskipun ada risiko peningkatan kerapuhan. Selain itu, *quenching* juga bertujuan untuk menciptakan struktur mikro tertentu, seperti martensit, yang memberikan sifat mekanis yang diinginkan pada material (Syaiful & Fuadi, 2024).

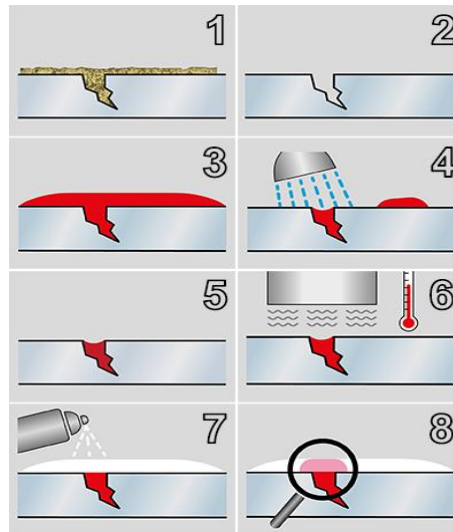
2.8 Pengujian Material

2.8.1 Pengujian Dye Penetrant

Dye penetrant merupakan salah satu pengujian *Non Destructive Test* (NDT). NDT merupakan salah satu metode pengujian yang memberikan sejumlah manfaat signifikan, terutama dalam hal efisiensi biaya dan waktu. Metode ini memungkinkan evaluasi kualitas dan integritas material tanpa merusak material yang diuji, sehingga perusahaan tidak perlu mengeluarkan biaya tambahan untuk penggantian material yang mungkin rusak akibat proses pengujian (Sumardani dkk., 2020).

Proses pengujian ini melibatkan penggunaan tiga jenis larutan, yaitu pembersih (*cleaner*), penetrant, dan *developer*. Pembersih berfungsi untuk menghilangkan kotoran, minyak, dan residu lain yang dapat mengganggu hasil pengujian, baik sebelum maupun sesudah proses berlangsung. Cairan penetrant yang digunakan akan meresap ke dalam cacat yang terbuka di permukaan material, sementara *developer* akan berfungsi untuk mengembangkan penetrant tersebut agar indikasi cacat dapat terlihat dengan jelas di permukaan. Agar penetrant dapat sepenuhnya meresap ke dalam cacat dengan efektif, diperlukan waktu tunggu

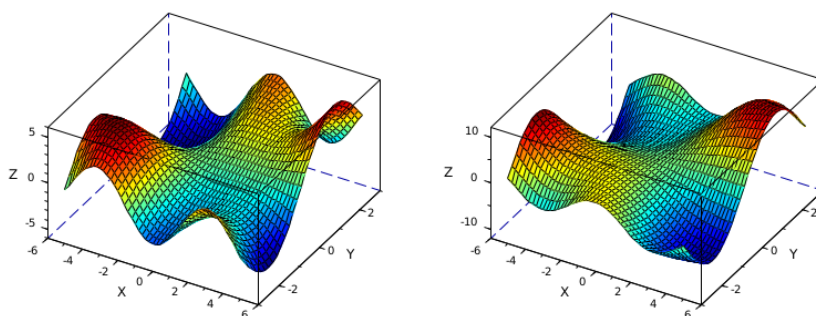
antara 5 hingga 10 menit. Pada gambar 2-5 ini adalah proses dari *dye penetrant* menggunakan cairan *spotcheck*.



Gambar 2-5. Proses Pengujian *Dye Penetrant*
(Sumber: www.karldeutsch.de)

2.8.2 Pengujian Distorsi

Distorsi adalah masalah yang sering muncul dalam proses pengerjaan logam di industri, terutama pada teknik yang menggunakan panas, seperti pengelasan dan pemotongan. Proses ini dapat menyebabkan deformasi material akibat perubahan suhu yang tinggi saat pemanasan dan pendinginan. Saat logam dipanaskan, bagian-bagian tertentu mengembang, dan saat suhunya turun, material akan menyusut. Gambar 2-6 adalah salah satu hasil dari *surface analysis* menggunakan *software* Scilab.

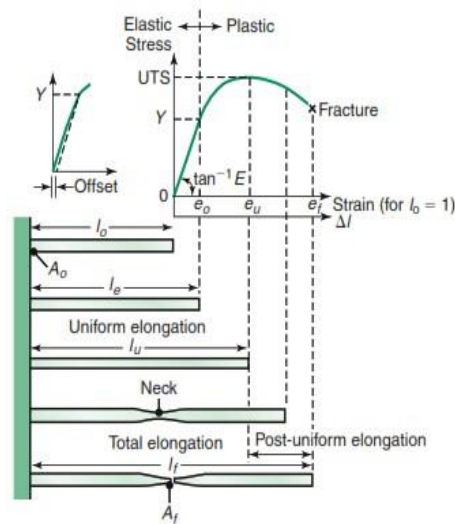


Gambar 2-6 *Surface Analysis*
(Sumber: <https://help.scilab.org>)

Distorsi yang terjadi pada pengelasan disebabkan oleh pemuaian dan penyusutan yang tidak merata pada material las dan material dasar yang ada di sekitarnya. Hal ini merupakan akibat dari siklus pemanasan dan pendinginan yang terjadi selama proses pengelasan atau pemotongan. Ketika material yang dipanaskan menyusut, penurunan tersebut dibatasi oleh material di sekitarnya yang lebih dingin, yang mengakibatkan terbentuknya tegangan tarik di sekitar las, bersamaan dengan tegangan tekan yang terjadi di seluruh pelat. Jika tegangan ini melebihi ambang batas tertentu, maka distorsi akan terjadi (Verhaeghe, 1999).

2.8.3 Pengujian Tarik

Uji tarik bahan adalah metode yang digunakan untuk mengevaluasi berbagai sifat mekanik dari bahan, baik dalam kondisi elastis maupun plastik, termasuk modulus elastis, kekuatan luluh awal, kekuatan ultimit, eksponen pengerasan plastik, dan koefisien kekuatan. Proses ini menghasilkan kurva regangan yang menggambarkan hubungan antara tegangan dan logaritma regangan untuk bahan yang diuji, dengan penekanan khusus pada analisis sifat plastik material tersebut. Kurva ini sangat penting karena memungkinkan analisis numerik yang mendalam terhadap berbagai masalah terkait regangan dan fraktur pada material (Choung & Cho, 2008). Dengan demikian, uji tarik bahan memberikan informasi yang krusial untuk memahami perilaku mekanis material dalam berbagai kondisi, yang dapat digunakan dalam berbagai aplikasi rekayasa dan desain, serta penting dalam pengembangan material yang lebih baik dan lebih kuat. Gambar 2-7 merupakan kurva tegangan-regangan yang dihasilkan oleh pengujian tarik.



Gambar 2-7 Kurva Tegangan-Regangan

(Sumber: pttensor.com)

Hasil dari pengujian tarik ditampilkan dalam bentuk grafik yang menunjukkan hubungan antara beban dan pertambahan panjang. Berikut adalah rumus yang digunakan untuk menghitung kekuatan tarik dan regangan dari pengujian tarik tersebut.

Kekuatan tarik, atau tensile strength, dapat didefinisikan sebagai gaya yang diterapkan per unit luas pada material yang menerima gaya tersebut.

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (2.1)$$

σ = Tegangan (Mpa)

F = Beban (N)

A_0 = Luas penampang (m^2)

Tensile strain adalah ukuran perubahan panjang material setelah uji tarik, sehingga hasil pengujian ini dapat digunakan untuk menentukan nilai regangan suatu material.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{l_0} = \frac{l_i - l_0}{l_0} \quad (2.2)$$

ε = Regangan

l_0 = Panjang awal sebelum beban diterapkan (mm)

l_i = Panjang sesaat (mm)

ΔL = Pertambahan panjang dari suatu material dari panjang awal (mm)

Modulus elastisitas (*young modulus*) merupakan perbandingan dari nilai tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*).

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

E = Modulus elastisitas

σ = Tegangan (Mpa)

ε = Regangan

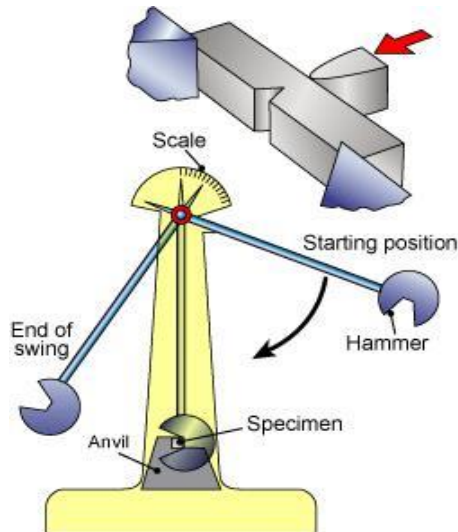
2.8.4 Pengujian Impak

Setiap material memiliki sifat yang berbeda, sehingga diperlukan berbagai metode untuk menguji karakteristik material tersebut. Uji impak adalah salah satu metode yang efektif untuk menentukan kekuatan, kekerasan, dan keuletan material, yang menjadikannya populer dalam analisis sifat mekanik. Untuk menilai ketahanan material terhadap patah getas, penting untuk mempertimbangkan faktor dinamis seperti kecepatan regang, adanya takik, ketebalan pelat, dan tegangan sisa. Ketangguhan, yang diukur melalui uji impak, menunjukkan ketahanan material terhadap beban kejut.

Uji impak berfungsi untuk menentukan kecenderungan material apakah bersifat rapuh atau ulet, berdasarkan ketangguhannya. Namun, hasil pengujian ini tidak dapat secara langsung menggambarkan kondisi perpatahan pada batang uji, karena tidak mampu mengukur gaya-gaya tegangan tiga dimensi yang terjadi. Selain itu, tidak ada konsensus yang jelas mengenai interpretasi atau pemanfaatan hasil dari uji impak tersebut (Handoyo, 2018). Secara umum metode pengujian impak terdiri dari 2 jenis, yaitu:

1. Metode *Charpy*

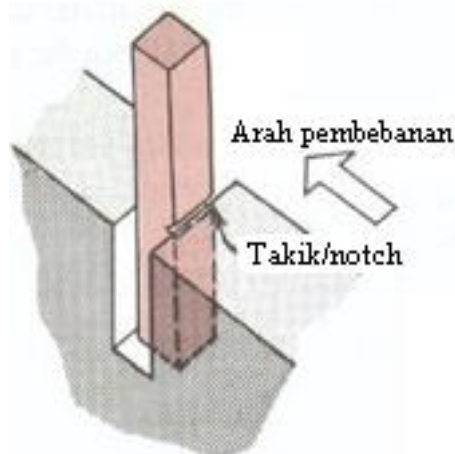
Pengujian impak dilaksanakan dengan cara meletakkan spesimen uji pada tumpuan dalam posisi horizontal. Dalam pengujian ini, arah spesimen akan berlawanan dengan arah takikan yang telah dibuat pada material tersebut. Penempatan ini bertujuan untuk mengevaluasi ketahanan spesimen terhadap beban yang diterapkan, serta untuk mengukur dampak dari takikan itu sendiri pada sifat material saat mengalami pengujian. Gambar 2-8 merupakan salah satu pengujian impak dengan metode *charpy*.



Gambar 2-8 Pengujian Impak Metode *Charpy*
(Sumber: mirfandaniputra.wordpress.com)

2. Metode *Izod*

Pengujian impak dilakukan dengan meletakkan spesimen uji pada tumpuan, di mana arah pembebanan sejajar dengan arah takikan yang terdapat pada material. Salah satu metode yang umum digunakan untuk pengujian ini adalah metode Charpy, yang memanfaatkan benda uji standar yang telah ditentukan (Fakri dkk., 2019). Gambar 2-9 merupakan salah satu pengujian impak dengan metode *izod*.



Metode Izod

Gambar 2-9 Pengujian Impak Metode *izod*
(Sumber: metalurgi-ilmu-logam.blogspot.com)

Menghitung energi pada pengujian impak dengan metode *charpy* dan besar dari energi yang didapatkan dinyatakan rumus sebagai berikut:

$$E = m \times g \times r(\cos \beta - \cos \alpha) \quad (2.4)$$

- E = Energi impak (j)
m = Massa dari pendulum (kg)
g = Percepatan gravitasi (m/s²)
r = Jarak antara titik ayun pendulum dan titik takik
cos α = Sudut awal sebelum diayunkan
cos β = Sudut deviasi setelah pendulum mengenai spesimen

Rumus untuk mencari harga impak yang dihasilkan dinyatakan rumus sebagai berikut:

$$HI = \frac{E}{A} \quad (2.5)$$

- HI = Harga impak (j/mm²)
E = Usaha yang diperlukan saat mematahkan spesimen (j)
A = Luas penampang (mm) (Wahyu dkk., 2020)

2.8.5 Pengujian *Bending*

Uji *bending* adalah suatu metode pengujian material yang dirancang untuk mengevaluasi kekuatan lentur, elastisitas, dan juga karakteristik keretakan dari suatu bahan. Dalam proses pengujian ini, spesimen yang akan diuji diletakkan di atas dua titik dukungan yang berada di ujungnya. Ketika gaya diterapkan pada spesimen tersebut, material mulai mengalami dxeformasi yang disebabkan oleh pengaruh gaya tersebut. Gaya yang diberikan menyebabkan bagian atas spesimen berada dalam kondisi mengalami tekanan (kompresi), sementara bagian bawah spesimen mengalami tarikan (tensile stress).

Uji *bending* ini tidak hanya memberikan informasi tentang kekuatan material dan kemampuan lenturnya, tetapi juga mengenai cara material tersebut berperilaku saat terkena beban yang diberikan, sehingga penting dalam aplikasi rekayasa dan pemilihan material untuk berbagai struktur (Sanjaya dkk., 2024). Dengan memahami perilaku material melalui uji ini, para insinyur dan desainer dapat membuat keputusan yang lebih baik terkait penggunaan material yang akan bertahan dalam kondisi beban tertentu dan mencegah kegagalan struktur.

Pada material logam, kekuatan tekan umumnya lebih tinggi dibandingkan kekuatan tarik. Ketika spesimen tidak mampu menahan tegangan tarik, hal ini akan menyebabkan patah dan berujung pada kegagalan dalam pengujian material (Jeyaprakash dkk., 2015).

$$\sigma_b = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (2.6)$$

σ_b = Kekuatan *bending* (Mpa)

P = Beban (N)

L = Jarak antara spesimen dengan pelengkung (mm)

b = Lebar (mm)

d = Tebal (mm)

Berdasarkan tempat dari posisi pembebanan pengujian *bending* yang melintang diklasifikasi menjadi 3, yaitu (Rahmatika dkk., 2021):

1. *Face Bend*

Merupakan pengujian tekuk di mana permukaan hasil pengelasan mengalami tegangan tarik, sedangkan akar pengelasan mengalami tegangan tekan.

2. *Root Bend*

Merupakan pengujian tekuk di mana akar pengelasan mengalami tegangan tarik, sedangkan permukaan hasil pengelasan mengalami tegangan tekan

3. *Side Bend*

Merupakan pengujian tekuk yang dilakukan pada material dengan ketebalan lebih dari 3/8 inci.

2.8.6 Pengujian Kekerasan

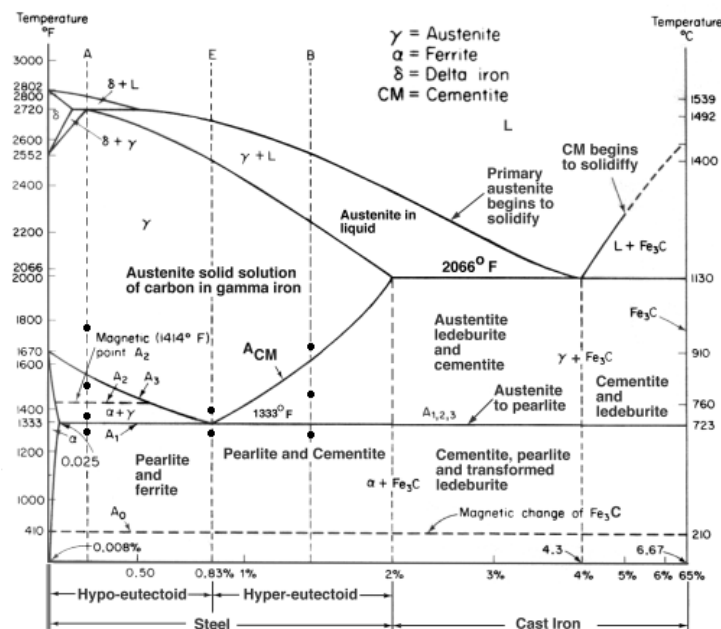
Pengujian dengan metode penekanan adalah sebuah teknik yang digunakan untuk mengukur kekerasan suatu bahan, khususnya logam. Dalam metode ini, tingkat kekerasan ditentukan dengan menganalisis indentasi atau bekas tekan yang dihasilkan pada spesimen uji akibat dari tekanan yang diberikan. Proses ini melibatkan penerapan beban tertentu pada material, dan pengukuran diameter atau kedalaman dari indentasi yang terbentuk, yang selanjutnya memberikan indikasi mengenai sifat mekanik dan ketahanan material terhadap deformasi. Dengan

demikian, pengujian ini sangat penting dalam penentuan kualitas dan karakteristik material dalam konteks aplikasi teknik dan rekayasa (Budiyanto, 2020).

2.8.7 Pengujian Mikrostruktur

Struktur mikro adalah tingkatan terkecil dari suatu material yang tidak dapat diamati dengan mata telanjang, melainkan memerlukan alat bantu seperti mikroskop. Mikroskop cahaya merupakan alat yang paling umum digunakan untuk mengamati struktur mikro. Pengamatan ini membutuhkan resolusi mikroskop yang baik agar batas butir dalam struktur mikro dapat ditentukan dengan mudah (Jumadin dkk., 2023).

Pada baja C-Mn dan baja paduan rendah, struktur mikro las dapat terbentuk tergantung pada komposisi dan parameter pengelasan. Pada umumnya, struktur mikro yang keras atau getas paling rentan terhadap retak hidrogen, yang biasanya terbentuk akibat pendinginan cepat dari suhu kritis atas, dan sering kali bersifat martensit atau bainit. Gambar 2-10 merupakan Diagram Fe-C yang digunakan untuk penentu variasi pemanasan yang ingin digunakan.



Gambar 2-10 Diagram Fe-C

(Sumber: blog.goldsupplier.com)

Laju pendinginan cepat dihasilkan oleh proses pengelasan dengan masukan panas rendah, suhu pemanasan awal yang rendah, dan ukuran penampang yang

tebal. Dalam sebagian besar baja, laju pendinginan dalam rentang 800 hingga 500 °C (1470-930 °F) dianggap paling kritis, karena ini kisaran di mana austenit berubah menjadi transformasi pada suhu yang lebih rendah. Waktu yang diperlukan untuk mendinginkan dalam rentang sering dijadikan ukuran laju pendinginan. Di antara berbagai jenis struktur mikro, martensit paling rentan, sedangkan ferit, perlit, ferit jarum, dan austenit menunjukkan ketahanan yang lebih baik (Lippold, 2015). Pada penggunaan asam nitrat membantu suatu material baja karbon untuk memperlihatkan batas butir yang ada pada struktur material. Gambar 2-11 merupakan jeni-jenis dari struktur mikro



Gambar 2-11 Jenis-Jenis Struktur Mikro
(Sumber: <https://febrielektro.blogspot.com>)

2.8.8 Pengujian Laju Korosi

Laju korosi merupakan suatu kecepatan peluruhan atau penurunan kualitas logam seiring berjalannya waktu. Satuan yang digunakan untuk mengukur laju korosi bervariasi, biasanya dalam bentuk mmy (millimeter per tahun) atau mpy (mil per tahun), yang merupakan standar yang diakui secara internasional. Pengukuran laju korosi dapat dilakukan dengan metode kehilangan berat, di mana berat material sebelum dan sesudah terpapar lingkungan korosif dibandingkan dengan seberapa banyak material yang hilang. Dengan cara ini, laju korosi dapat dihitung dan dioptimalkan untuk memahami ketahanan material terhadap proses korosi. Informasi mengenai laju korosi dapat membantu dalam merencanakan pemeliharaan, memilih material yang tepat, dan meningkatkan kehidupan service dari struktur dan komponen logam yang digunakan persamaan berikut (Prayitno & Indayanto, 2021):

$$CR = \frac{K \times W}{A \times T \times D} \quad (2.7)$$

CR = Laju korosi (mmpy)

K = Konstanta (8,76 x 104)

W = Kehilangan berat (g)

A = Luas Permukaan (cm²)

T = Waktu perendaman (jam)

Pada gambar 2-12 menunjukkan kriteria yang digunakan untuk menilai ketahanan terhadap laju korosi. Kriteria ini mencakup berbagai parameter yang berpengaruh (Affandi dkk., 2020).

Relative Corrosion Resistance	mpy	Approximate metric equivalent			
		$\frac{mm}{yr}$	$\frac{\mu m}{yr}$	$\frac{nm}{hr}$	$\frac{\mu m}{sec}$
Outstanding	<1	<0.02	<25	<2	<1
Excellent	1-5	0.02-0.1	25-100	2-10	1-5
Good	5-20	0.1-0.5	100-500	10-50	5-20
Fair	20-50	0.5-1	500-1000	50-150	20-50
Poor	50-200	1-5	1000-5000	150-500	50-200
Unacceptable	200+	5+	5000+	500+	200+

*Based on typical ferrous- and nickel-based alloys. For more expensive alloys, rates greater than 5 to 20 mpy are usually excessive. Rates above 200 mpy are sometimes acceptable for cheap materials with thick cross section (e.g., cast iron pump body).
Approximate values to simplify ranges

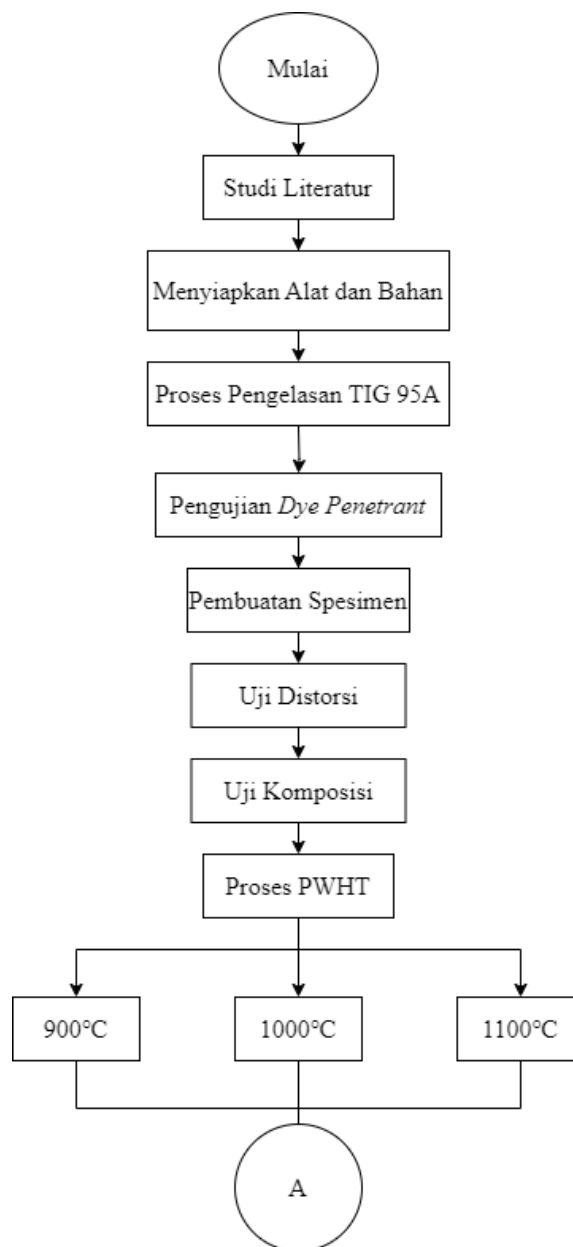
Gambar 2-12 Kriteria tahanan laju korosi

BAB 3

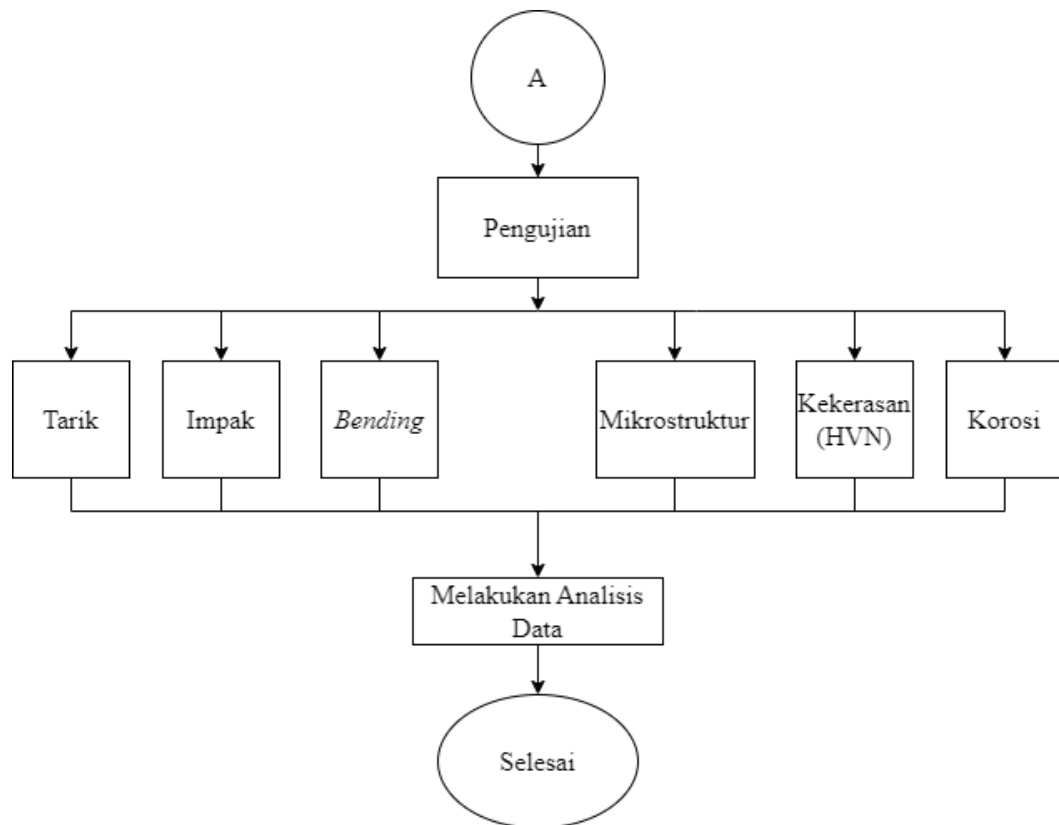
METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Untuk membantu memperjelas jalannya penelitian, alur penelitian ditampilkan dalam diagram. Diagram tersebut menggambarkan tahapan proses penelitian, dimulai dari identifikasi masalah hingga interpretasi hasil, yang terlampir pada gambar 3-1 dan gambar 3-2.



Gambar 3-1 Diagram Alur Penelitian



Gambar 3-2 Diagram Alur Penelitian

3.2 Peralatan dan Bahan

Dalam proses pengerjaan dari penelitian tugas akhir ini, digunakan peralatan dan bahan yang digunakan. Berikut pada tabel 3-1 dan 3-2 merupakan alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian.

Tabel 3-1 Peralatan yang Digunakan pada Penelitian

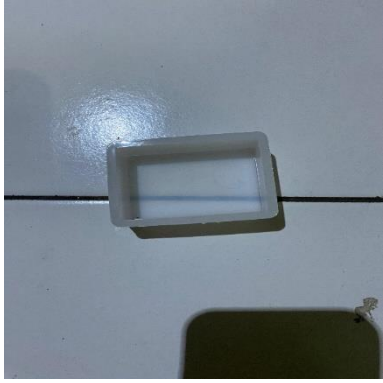
No	Alat	Fungsi
1	Mesin Las Tig 	Mesin las yang digunakan adalah merk STAHLWERK AC/DC WIG200P dengan tegangan rata-rata 230 V. Mesin ini berfungsi untuk menyambungkan dua material baja SS400 menjadi spesimen. Pada pengelasan TIG, collet yang digunakan berdiameter 2,4 mm, dan dilengkapi dengan TIG Torch,

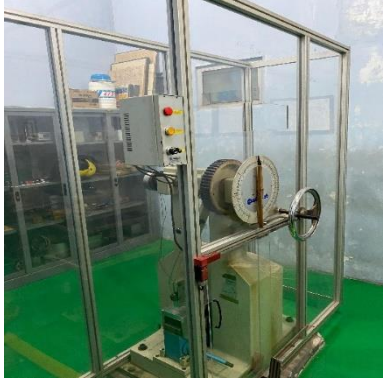
No	Alat	Fungsi
		keramik argon, ground clamp, serta selang argon.
2	Mesin <i>Frais</i> 	Mesin frais digunakan untuk mengikis ketebalan pada spesimen untuk pengujian impak.
3	<i>Bandsaw</i> 	<i>Bandsaw</i> memiliki gergaji panjang yang selalu berputar secara kontinu , berfungsi untuk memotong spesimen baja yang tebal maupun tipis.
4	<i>Toolkit</i> 	<i>Toolkit</i> terdiri dari berbagai alat teknik yang digunakan untuk membantu proses pada pengelasan ataupun proses lainnya.

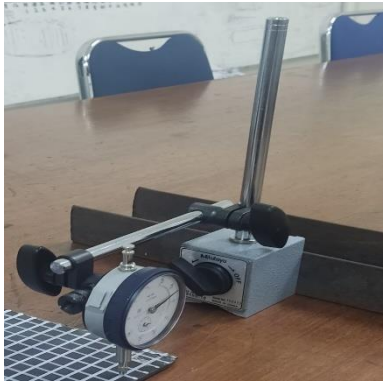
No	Alat	Fungsi
5	Gerinda Tangan 	Gerinda tangan digunakan untuk pemotongan spesimen baja A36.
6	<i>Muffle Furnace</i> 	<i>Muffle furnace</i> digunakan untuk proses pemanasan metode PWHT pada spesimen benda uji.
7	Mesin <i>Polishing</i> 	Mesin <i>polishing</i> digunakan untuk proses pengampelasan dan <i>polishing</i> pada spesimen untuk dilakukan pengujian mikrostruktur dan pengujian kekerasan.

No	Alat	Fungsi
8	Mesin <i>Laser Cutting</i> 	Mesin <i>laser cutting</i> digunakan dalam proses pemotongan spesimen yang telah dirancang sesuai dengan standar pengujian JIS. Proses ini memungkinkan pemotongan yang akurat dan presisi tinggi, sehingga spesimen yang dihasilkan memenuhi persyaratan teknis yang ditetapkan.
9	APD (Alat Perlindungan Diri) 	APD digunakan untuk perlindungan diri untuk keselamatan kerja pada saat proses pengelasan, pemotongan, dls. Terdiri dari apron, <i>earmuff</i>, sarung tangan tahan panas, helm las, <i>face shield</i>.
10	Kikir Tangan 	Kikir digunakan untuk memberikan takikan pada spesimen untuk proses pengujian impak.

No	Alat	Fungsi
11	<i>Tang Krusible</i> 	Tang <i>krusible</i> berguna untuk mengambil spesimen yang masih dalam posisi panas saat setelah menjalani proses PWHT.
12	<i>Clamp</i> 	<i>Clamp</i> digunakan untuk mencengkam plat baja saat proses pengelasan. Plat baja perlu dicekam agar menghindari distorsi pada material baja akibat panas dari proses pengelasan.
13	Ragum 	Ragum digunakan untuk menghampit baja untuk dijadikan bentuk spesimen ataupun proses pemotongan yang diperlukan pada penelitian.

No	Alat	Fungsi
14	Cetakan Resin 	Cetakan resin digunakan untuk menyiapkan spesimen uji kekerasan dan mikrostruktur. Cetakan ini penting karena memberikan dukungan struktural yang stabil selama proses pengujian, sekaligus memastikan bahwa spesimen memiliki dimensi yang konsisten dan sesuai dengan standar yang ditetapkan.
15	Pipet 	Pipet berfungsi untuk meneteskan cairan etsa pada spesimen pengujian mikro dan kekerasan.
16	Timbangan 	Timbangan berfungsi untuk menimbang spesimen dalam proses pengujian laju korosi, serta untuk mengukur takaran campuran yang diperlukan dalam proses etsa.

No	Alat	Fungsi
17	<i>Universal Testing Mechine</i> 	<i>Universal Testing Mechine</i> berfungsi untuk proses pengujian tarik dan <i>bending</i>.
18	Alat Uji Impak 	Alat uji impak berfungsi untuk proses pengujian impak.
18	<i>Universal Hardness Vickers</i> 	<i>Universal Hardness Vickers</i> berfungsi untuk proses pengujian kekerasan.

No	Alat	Fungsi
19	Mikroskop Metalurgi Olympus PME3 	Mikroskop Metalurgi Olympus PME3 berfungsi untuk pengamatan struktur mikro pada spesimen
20	Gelas 	Gelas digunakan untuk proses pencampuran etsa dan juga pencampuran dari resin dan <i>hardness</i>.
21	<i>Dial Indicator</i> 	<i>Dial Indicator</i> digunakan untuk menandai pengujian distorsi

Tabel 3-2 Bahan yang Digunakan pada Penelitian

No	Bahan	Fungsi
1	Baja SS400 	Material spesimen yang digunakan dalam penelitian ini adalah plat baja karbon SS400 dengan dimensi masing-masing 100x300x3 mm. Setelah melalui proses pengelasan, dua plat baja tersebut akan disatukan, sehingga menghasilkan ukuran akhir sebesar 200x300x3 mm.
2	Kawat Las 	Kawat las digunakan untuk pengisian kampuh pada baja saat proses pengelasan.
3	Gas Argon 	Gas argon digunakan untuk gas pelindung pada saat pengelasan, menjaga agar logam las dari oksidasi dan mengurangi percikan las.

No	Bahan	Fungsi
4	Elektroda Tungsten 	Elektroda digunakan untuk menghasilkan busur listrik yang mencairkan kawat pada kampuh sambungan material.
5	Spotcheck 	<i>Spotcheck</i> terdiri dari <i>cleaner</i>, <i>penetrant</i>, dan <i>developer</i>. <i>Cleaner</i> berfungsi untuk membersihkan permukaan pada saat sebelum dan sesudah pengujian. <i>Penetrant</i> berfungsi untuk memasuki celah-celah jika terdapat cacat proses pengelasan. <i>Developer</i> berfungsi untuk memperlihatkan cairan penetran yang telah meresap ke dalam cacat atau retakan permukaan material agar tampak jelas pada permukaan setelah diuji.
6	Asam Nitrat 	Asam nitrat berfungsi sebagai etsa dalam proses pengujian material. Dalam konteks ini, asam nitrat digunakan untuk menghilangkan lapisan permukaan spesimen, sehingga memungkinkan pengamatan yang lebih jelas terhadap struktur mikro dan batas butir material.

No	Bahan	Fungsi
7	Alkohol 	Alkohol digunakan sebagai komponen dalam campuran dengan asam nitrat untuk proses etsa. Dalam pengujian bahan, campuran asam nitrat dan alkohol berfungsi untuk meningkatkan efektivitas etsa terhadap permukaan spesimen.
9	Autosol Metal 	Pemolesan menggunakan <i>autosol metal</i> untuk mendapatkan hasil akhir yang lebih halus
10	Resin dan <i>Hardness</i> 	Resin dan <i>hardness</i> untuk mempermudah saat proses pengujian mikrostruktur dan kekerasan. Resin yang digunakan menghasilkan tingkat kekerasan yang baik, dengan sifat <i>hardness</i> yang setara dengan <i>hardness</i> yang umum digunakan. Spesimen yang sudah dibentuk dimasukan dalam campuran resin dan <i>hardness</i> sebagai tatakan datar agar dapat di uji.

No	Bahan	Fungsi
11	Air Laut 	Air laut sebagai media pada proses pengujian laju korosi. Air laut diambil dari pantai Parangtritis, berlokasi di daerah Bantul

3.3 Proses Pengelasan TIG

Proses pengelasan dilakukan di Laboratorium Proses Produksi Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia. Pengelasan TIG dilakukan secara manual dengan menggunakan tangan dimana logam pengisi yaitu kawat las berada ditangan sebelah kiri, tangan sebelah kanan memegang *torch* TIG untuk melelehkan logam pengisi. Sepasang plat baja SS400 menggunakan kampuh *square joint* tidak berjarak, selanjutnya sepasang plat baja SS400 diletakan pada plat baja yang lebih tebal yaitu 6 mm dimana sepasang plat baja SS400 diberi *clamp* setiap sudutnya untuk mencekam baja yang lebih tebal agar tidak agar menjaga posisi dari plat baja dan menghindari distorsi pada material baja akibat panas dari proses pengelasan.

Posisi pengelasan yang digunakan penulis dengan posisi datar atau posisi *down hand* disimbolkan PA sesuai dengan standar ISO. Dalam posisi ini, permukaan las berada pada posisi horizontal, yang memudahkan penulis dalam membuat spesimen. Gambar 3-3 merupakan proses pengelasan dalam penelitian ini.



Gambar 3-3 Proses Pengelasan TIG

Parameter pengelasan yang digunakan sebagai berikut:

1. Tegangan: 230 V
2. Kecepatan mengelas: 1,46 mm/s
3. Arus: 95 A
4. Elektroda *tungsten*: Weldcarft AWS A5 12-80 2,4 mm
5. Kawat las: ER70S-6

3.4 Proses Pengujian *Dye Penetrant*

Pengujian dilakukan di Laboratorium Proses Produksi Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia menggunakan cairan khusus yang disebut *dye penetrant*. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengidentifikasi cacat atau retakan yang ada pada hasil pengelasan, sehingga penulis dapat menentukan lokasi di mana cacat tersebut berada. Metode ini efektif dalam menyoroti ketidak sempurnaan yang tidak terlihat secara kasat mata, sehingga memberikan informasi penting untuk evaluasi kualitas sambungan las.

Proses pengujian *dye penetrant* ada beberapa tahap, yaitu:

1. Pembersihan permukaan pada hasil pengelasan

Tahap pertama dalam proses pengujian *dye penetrant* adalah membersihkan permukaan sambungan las. Permukaan harus bebas dari berbagai kotoran, seperti minyak, karat, atau cat, yang dapat memengaruhi penetrasi cairan. Pembersihan dilakukan menggunakan cairan *cleaner* seperti cairan tiner. Pada gambar 3-4

merupakan pembersihan pelat dari hasil pengelasan sebelum dilakukan proses *spotcheck*.



Gambar 3-4 Pembersihan Pelat Hasil Pengelasan

2. Pemberian cairan *penetrant* pada hasil pengelasan

Setelah permukaan material dibersihkan, cairan penetrant diaplikasikan pada pengelasan. Cairan ini dapat meresap ke dalam retakan atau pori yang ada di sambungan las. Aplikasi dapat dilakukan dengan semprotan, dan perlu dilakukan dengan hati-hati agar penetrant merata dan diberi waktu kurang lebih 10-15 menit agar cairan dapat meresap sempurna. Gambar 3-5 merupakan proses pemberian *penetrant* setelah pembersihan pelat dari hasil pengelasan.



Gambar 3-5 Pemberian *Penetrant* pada Pelat Hasil Pengelasan

3. Pembersihan cairan *penetrant* pada hasil pengelasan

Tahap selanjutnya adalah membersihkan cairan penetrant yang tidak terperangkap dalam retakan. Proses ini dilakukan menggunakan bahan pembersih yang sesuai untuk menghilangkan semua sisa penetrant di permukaan. Pembersihan ini sangat penting agar hasil uji tidak terpengaruh oleh cairan yang tertinggal, yang dapat menyebabkan kesalahan dalam interpretasi.

4. Pemberian cairan *developer* pada hasil pengelasan

Setelah pembersihan, cairan *developer* diaplikasikan ke permukaan pengelasan. Developer berfungsi untuk menyerap penetrant yang ada di dalam retakan dan membawa ke permukaan, sehingga menampilkan cacat yang ada. *Developer* harus dibiarkan selama beberapa menit untuk memastikan efektivitasnya. Proses ini sangat berguna dalam mengindikasikan keberadaan cacat yang sebelumnya tidak terlihat. Gambar 3-6 merupakan proses pemberian *developer* setelah pembersihan pelat dari hasil pengelasan.



Gambar 3-6 Pemberian *Developer* pada Pelat Hasil Pengelasan

5. Pembersihan kembali pada permukaan pengelasan

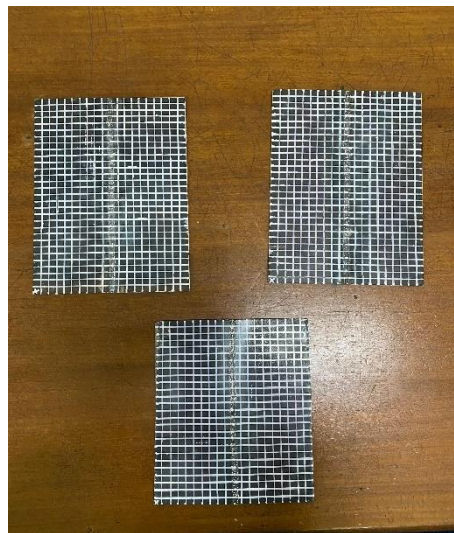
Setelah pemberian cairan *developer*, tahap terakhir adalah pembersihan kembali permukaan pengelasan. Pada tahap ini, sisa-sisa *developer*, penetrant, dan kotoran lainnya dihapus dari area yang diuji.

3.5 Pengujian Distorsi

Pengujian distorsi dilaksanakan di Laboratorium Proses Produksi Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia dengan menggunakan *dial*

indicator. Pengujian ini bertujuan untuk mengukur perubahan bentuk yang terjadi pada spesimen setelah melalui proses pengelasan. Dengan memahami tingkat distorsi yang dihasilkan.

Setiap material baja SS400 yang telah melalui proses pengelasan diberi tanda dengan ukuran 10x10 mm untuk menandai titik-titik yang akan diuji dalam analisis distorsi. Penandaan ini dilakukan untuk memastikan bahwa setiap titik yang telah ditentukan dapat diukur dengan tepat selama pengujian. Dengan adanya tanda ini, proses pengukuran distorsi dapat dilakukan secara sistematis, sehingga memungkinkan untuk mendapatkan data yang akurat mengenai perubahan dimensi material akibat efek pengelasan. Analisis titik-titik ini sangat penting dalam memahami sejauh mana pengelasan dapat memengaruhi integritas struktural dan dimensi akhir dari spesimen. Pada gambar 3-7 pengujian dilakukan dengan pemberian tanda untuk diuji distrosi.



Gambar 3-7 Pemberian Tanda Distorsi

Setelah spesimen diberi penanda, tahap selanjutnya adalah mengolah data yang terkait menggunakan *software* Scilab. Proses ini bertujuan untuk menghasilkan sebuah *surface plot* yang dapat memvisualisasikan perubahan dimensi dan distorsi yang terjadi pada spesimen. Dengan memanfaatkan *software* ini, data yang terlampir akan dianalisis guna memberikan gambaran grafis yang jelas mengenai hasil pengujian.

Berikut adalah penjelasan terkait data yang dimasukkan ke dalam *software* Scilab:

1. Menyiapkan data matriks Z

Masukkan data matriks Z yang telah diperoleh dari pengukuran ke dalam software Scilab. Matriks ini akan digunakan untuk memvisualisasikan nilai-nilai pada permukaan secara tiga dimensi. Dengan data ini, dapat menghasilkan grafik yang jelas dan informatif mengenai karakteristik permukaan spesimen yang telah diuji, sehingga memudahkan dalam melakukan evaluasi dan interpretasi terhadap hasil pengujian yang telah dilakukan.

2. Membuat grafik permukaan

Perintah `clf` digunakan untuk Menghapus dan mengatur ulang gambar atau bingkai kontrol ui. Penggunaan perintah `surf(Z);` untuk menggambarkan permukaan 3D dari data Z. Perintah ini akan menghasilkan visualisasi yang jelas dan mendetail mengenai struktur permukaan. Pada gambar 3-8 perintah yang digunakan untuk Scilab. Melalui gambar tersebut, dapat terlihat bagaimana data yang diperoleh dari pengujian dapat diwakili secara grafis.

```
clf
surf(Z);
```

Gambar 3-8 Perintah Menggambarkan 3D

3. Mengatur tampilan untuk *figure*

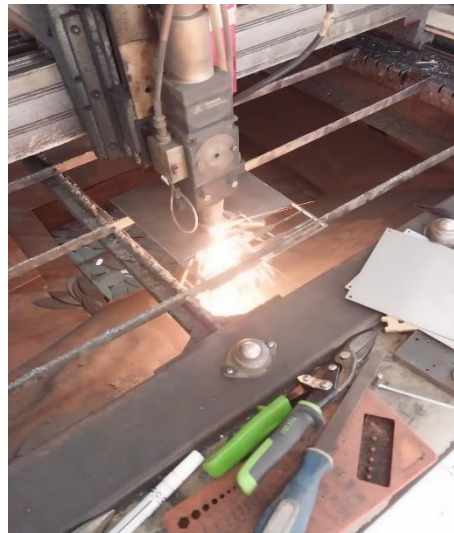
Perintah `gcf().color_map = jet(100);` Perintah ini akan menerapkan skema warna gradasi dari biru ke hijau, kuning, dan merah (*jet*) dengan 100 gradasi pada grafik yang sedang ditampilkan. Pada grafik permukaan sebagai pembeda dari data yang variasi. Penggunaan perintah `gcf().axes_size = [850 400]` untuk menetapkan ukuran tampilan grafik setelah tombol "play" ditekan. Pada gambar 3-9 perintah yang digunakan untuk Scilab. Melalui gambar tersebut, dapat terlihat bagaimana data yang diperoleh ditampilkan pada *figure* scilab.

```
gcf().color_map = jet(100);
gcf().axes_size = [850 400];
```

Gambar 3-9 Pengaturan Tampilan *Figure*

3.6 Proses Pembuatan Spesimen

Sebelum menjadi spesimen, material baja SS400 pemotongannya menggunakan proses *laser cutting*, yang masing-masing plat baja karbon SS400 berdimensi 100x300x3 mm Pemotongan spesimen dilakukan dengan metode yang bervariasi, termasuk pemotongan manual dan CNC. dengan setiap pemotongan spesimen pengelasan mengikuti standar JIS yang telah ditetapkan. Pada gambar 3-10 merupakan salah satu proses pemotongan spesimen menggunakan CNC



Gambar 3-10 *Laser Cutting* Spesimen

3.7 Proses Komposisi Kimia

Proses komposisi kimia bertujuan untuk mengetahui kandungan unsur-unsur kimia yang terdapat dalam logam induk serta logam hasil pengelasan. Proses komposisi kimia dilakukan di Laboratorium PT. Itokoh Ceperindo, Klaten. Pada gambar 3-11 merupakan proses dari komposisi kimia menggunakan mesin alat uji *Optical Emission Spectroscopy* (OES) untuk memperoleh data yang akurat mengenai komposisi material.



Gambar 3-11 Proses Komposisi Kimia

Spesimen yang akan diuji komposisi kimianya menggunakan alat *Optical Emission Spectroscopy* (OES) harus memenuhi beberapa kriteria sebagai berikut:

1. Spesimen diambil dari plat yang telah melalui proses pengelasan dan masih dalam kondisi mentah, dengan bentuk spesimen untuk pengujian ini adalah persegi
2. Ukuran spesimen uji memiliki ukuran 30x30 mm dan untuk tebal minimal 1 mm dari Laboratorium PT. Itokoh Ceperindo
3. Unsur-unsur yang dapat terdeteksi mencakup (Si, Fe, Cu, Mn, Mg, Cr, Ni, Zn, Sn, Ti, Pb, Be, Ca, Sr, V, Zr).

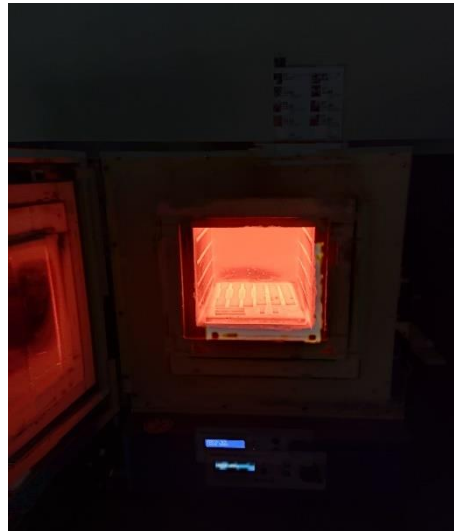
Gambar 3-12 merupakan hasil spesimen yang telah dilakukan proses komposisi kimia di PT. Itokoh Ceperindo



Gambar 3-12 Spesimen Komposisi Kimia

3.8 Proses PWHT

Proses PWHT dilakukan di Laboratorium Proses Produksi Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia dengan menggunakan *muffle furnace* yang memiliki kapasitas 12 L. Suhu yang diatur dalam percobaan ini adalah 900°C, 1000°C, dan 1100°C untuk baja SS400. Gambar 3-13 merupakan proses dari PWHT pada spesimen



Gambar 3-13 Proses PWHT

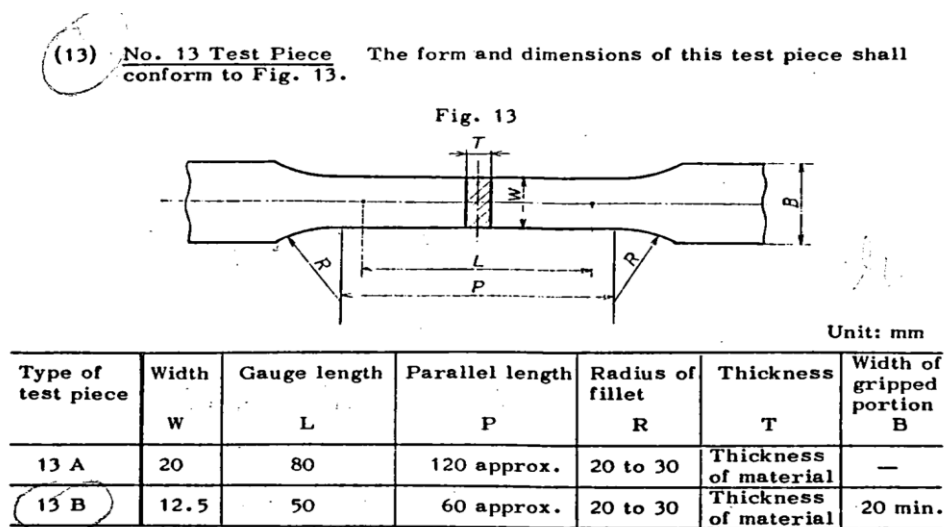
Pemilihan suhu disini berdasarkan diagram fasa Fe-C di mana suhu-suhu ini berada dalam daerah fase austenit. Setelah mencapai fase austenit spesimen mengalami proses pendinginan dengan metode *quenching* menggunakan air. Waktu *holding time* untuk ketiga suhu tersebut disamakan selama 2 jam. Pada gambar 3-14 proses pendinginan dengan metode *quenching* menggunakan air pada spesimen setelah dari proses PWHT.



Gambar 3-14 Quenching Menggunakan Air

3.9 Pengujian Tarik

Pengujian tarik ini dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin SV UGM. Gambar 3-15 merupakan standar yang digunakan pada pengujian ini mengacu pada JIS Z 2201 *fig. 13 type B* karena material pada penelitian ini pada aturan JIS Z 2201 termasuk material *non-proportional test piece*, yaitu benda uji yang bentuk dan dimensinya tetap, tidak dipengaruhi oleh luas penampang bagian sejajar.



Gambar 3-15 Standar JIS Z 2201

Pengujian tarik menggunakan mesin UTM (*Universal Testing Mechine*) Controlab. Proses ini dimulai dengan menjepit kedua ujung spesimen oleh penjepit

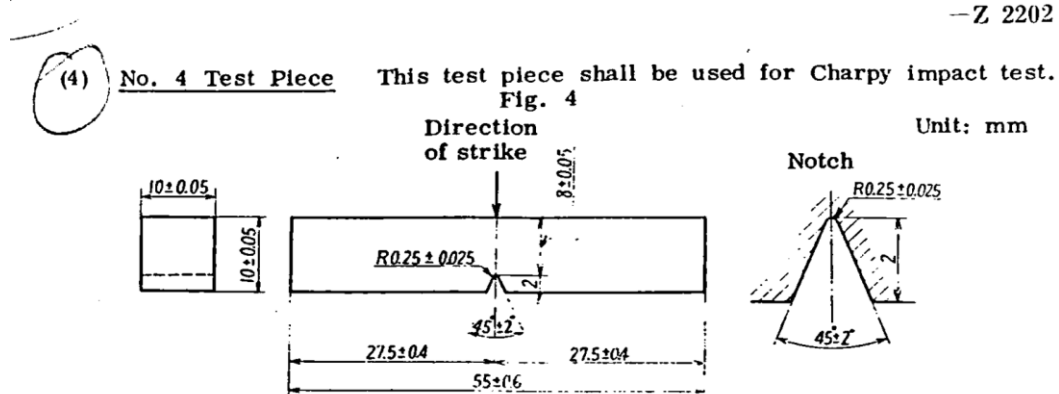
mesin UTM yang berfungsi untuk menahan selama proses pengujian. mesin UTM diatur untuk melakukan pengujian tarik. Mesin ini mulai memberikan gaya tarik secara bertahap dan berkelanjutan pada spesimen. Beban atau gaya diterapkan dengan menggerakkan crosshead mesin ke arah yang berlawanan, menyebabkan spesimen meregang atau mengalami deformasi. Selama proses ini, mesin mencatat nilai beban dan panjang spesimen secara *real-time*. Data dari pengujian ini direkam oleh sistem komputer yang terhubung ke mesin, mencatat nilai beban maksimum, regangan, dan modulus elastisitas material. Gambar 3-16 merupakan pengujian tarik menggunakan mesin UTM (*Universal Testing Mechine*) Controlab untuk mendapatkan data dari pengujian tarik.



Gambar 3-16 Pengujian Tarik

3.10 Pengujian Impak

Pengujian impak ini dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin SV UGM dengan alat uji impak. Gambar 3-17 merupakan standar yang digunakan pada pengujian ini mengacu pada JIS Z 2202 *fig. 4*. Spesimen yang diuji dirancang sesuai dengan metode *charpy*, dengan model *groove* berbentuk V memudahkan dalam pembuatannya dengan kikir V. Selain itu, terdapat aturan mengenai *subsize*, yaitu ketebalan harus sesuai dengan cakupan 10, 7,5, 5, dan 2,5 mm. Penulis mengkikis menggunakan mesin *frais* dari ketebalam spesimen 3 mm menjadi 2,5 mm.



Gambar 3-17 Standar JIS Z 2202

Metode yang diterapkan dalam pengujian impak ini adalah metode *charpy* dengan model kampuh berbentuk V. Data yang diperoleh selama pengujian kemudian akan dimasukkan ke dalam perhitungan untuk menentukan nilai ketangguhan spesimen dengan cara mengukur energi yang diserap ketika spesimen mengalami penekanan. . Gambar 3-18 merupakan pengujian impak menggunakan mesin uji impak Controlab untuk mendapatkan data dari pengujian tarik.



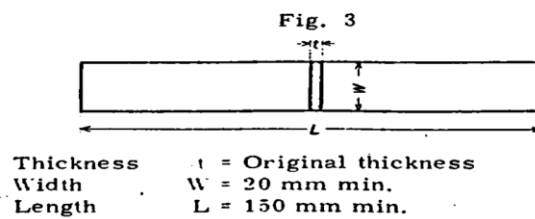
Gambar 3-18 Pengujian Impak

3.11 Pengujian *Bending*

Pengujian *bending* ini dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin SV UGM. Gambar 3-19 merupakan standar yang digunakan pada pengujian ini adalah JIS Z 2204 *fig. 3*. Spesimen yang diuji dirancang digunakan untuk uji *bending* logam berketebalan tipis. Selain itu, jika

spesimen tidak dapat disiapkan dengan lebar yang ditentukan akibat batasan pada bahan yang digunakan, penyesuaian dapat dilakukan dengan mengizinkan penggunaan lebar maksimum yang tersedia sesuai dengan persiapan. Dalam hal ini, permukaan sisi yang akan diproses melalui pemotongan dapat diselesaikan menggunakan mesin.

- 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.



Moreover, in case of not capable of preparing in the specified width for the reason of original material, compliance may be allowed for an available maximum width in preparation. The side surface to be made by cutting may be machine-finished.

Gambar 3-19 Standar JIS Z 2204

Pengujian *bending* menggunakan mesin UTM (*Universal Testing Mechine*) Controlab. Metode yang digunakan adalah *3-point bend test* dan pembebanan pengujian *bending* yang melintang *face bend*. Spesimen ini diletakkan secara horizontal di atas dua penyangga yang terpasang pada mesin UTM, dengan jarak yang ditentukan sesuai dengan standar pengujian. Di titik tengah spesimen, disertakan sebuah penekan yang berfungsi untuk memberikan gaya pada spesimen. Selama proses ini, mesin mencatat nilai beban dan panjang spesimen secara real-time. Data dari pengujian ini direkam oleh sistem komputer yang terhubung ke mesin Dalam kondisi ini, permukaan hasil pengelasan akan mengalami tegangan tarik, sementara akar pengelasan akan menghadapi tegangan tekan. Gambar 3-20 merupakan pengujian *bending* menggunakan mesin UTM (*Universal Testing Mechine*) Controlab untuk mendapatkan data dari pengujian tarik.



Gambar 3-20 Pengujian *Bending*

3.12 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan di Laboratorium Proses Produksi Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia dengan menggunakan alat uji kekerasan. Alat pengujian ini menggunakan metode *microhardness vickers* sehingga satuan yang dimiliki nantinya HVN, mikro *vickers* menggunakan indenter berbentuk piramida dengan sudut 136° yang berbahan intan. Gambar 3-21 spesimen yang diuji memiliki ukuran 10x50 mm, spesimen tersebut agar mudah diuji dimasukkan kedalam cetakan dengan campuran resin dan *hardness* agar tumpuannya seimbang.



Gambar 3-21 Spesimen Benda Uji Kekerasan

Pengujian ini dilaksanakan dengan memberikan beban terpusat sebesar 0,2 kgf yang ditekan selama 10 detik pada tiga area berbeda, yaitu *base metal*, HAZ, dan *weld metal*. Di setiap area tersebut, dilakukan pemberian beban terpusat pada tiga titik yang telah ditentukan. Dengan pengujian kekerasan ini berguna untuk

menentukan seberapa kuat material dalam menahan deformasi permanen. Alat pengujian dapat dilihat pada gambar 3-22.



Gambar 3-22 Alat Uji Kekerasan *Vickers*

3.13 Pengamatan Struktur Mikro

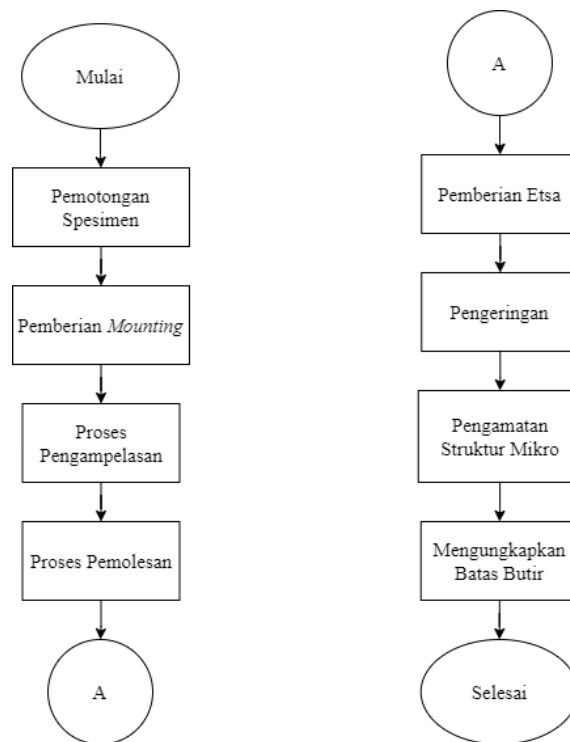
Pengujian mikrostruktur dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin SV UGM dengan menggunakan alat uji mikroskop metalurgi Olympus PME3 yang dapat dilihat pada gambar 3-23. Pengujian mikro menggunakan perbesaran 200x.



Gambar 3-23 Alat Uji Mikro

Spesimen pengujian memiliki ukuran 10x50 mm yang sama seperti pengujian kekerasan, spesimen dimasukkan ke dalam cetakan dengan campuran

resin *hard & heavy* dan *hardener* dengan perbandingan 2:1 agar tumpuannya seimbang (*mounting*). Setelah campuran resin kering, spesimen dilakukan proses pengampelasan hingga halus. Ukuran ampelas yang digunakan 120, 320, 400, 600, 1000, dan 1500 secara berurutan agar hasil pengemplasan menjadi halus. Selanjutnya, spesimen dipoles menggunakan *autosol metal* untuk mendapatkan hasil akhir yang lebih halus. Lalu, campuran cairan etsa itu campuran alkohol 96% dan cairan asam nitrat dengan konsentrasi 65%, dengan perbandingan 97,5% alkohol dan 2,5% asam nitrat. Pemberian cairan etsa dilakukan dengan cara meneteskan menggunakan pipet ke area yang ingin ditampilkan batas butir, yang bertujuan untuk mengungkapkan batas butir dalam mikrostruktur spesimen. Setelah diatas spesimen dilakukan pengeringan menggunakan *hairdryer*. Gambar 3-24 merupakan alur dari pengamatan struktur mikro.



Gambar 3-24 Diagram Alur Pengamatan Struktur Mikro

3.14 Proses Pengujian Laju Korosi

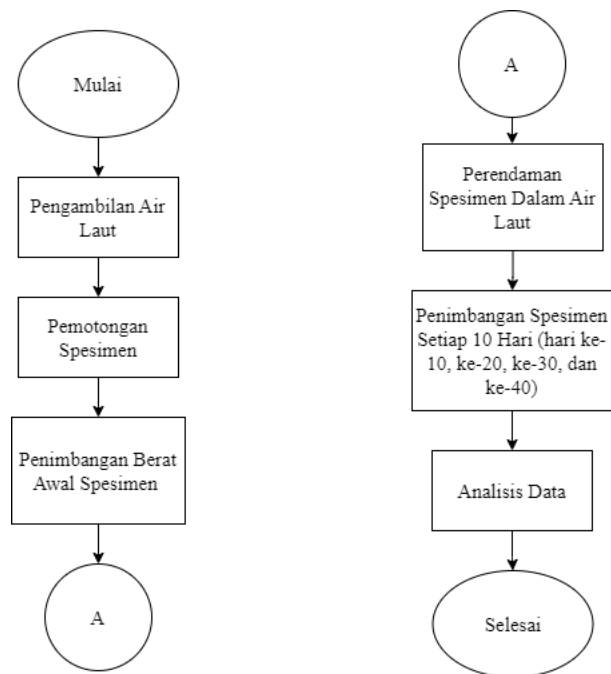
Pengujian korosi dilakukan di tempat tinggal penulis di Kost Putra Anugrah ukuran spesimen pada proses laju korosi ini 20x20 mm. Pengujian pada laju korosi dengan merendamkan baja SS400 yang sudah dipotong kedalam air laut selama 40

hari. Setiap 10 hari selama proses perendaman, berat spesimen ditimbang untuk melihat perubahan berat spesimen akibat efek korosi. Gambar 3-25 merupakan proses dari laju korosi pada spesimen variasi PWHT.



Gambar 3-25 Proses Pengujian Laju Korosi

Gambar 3-26 merupakan alur dari pengujian laju korosi dari spesimen yang telah dilakukan proses PWHT.



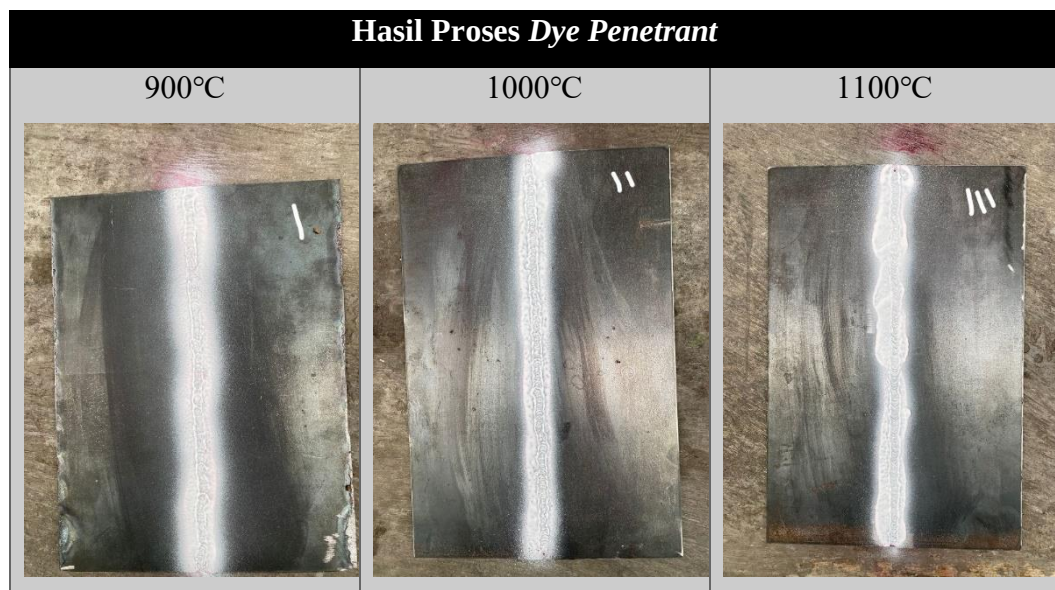
Gambar 3-26 Diagram Alur pengujian laju korosi

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian *Dye Penetrant*

Pengujian *dye penetrant* dilakukan untuk mengetahui cacat atau retakan yang ada pada hasil pengelasan, metode ini sangat efektif dalam mengidentifikasi kecacatan permukaan yang tidak terlihat dengan mata telanjang, sehingga memberikan gambaran yang jelas tentang kualitas hasil pengelasan. Pada gambar 4-1 merupakan hasil dari proses *dye penetrant*.

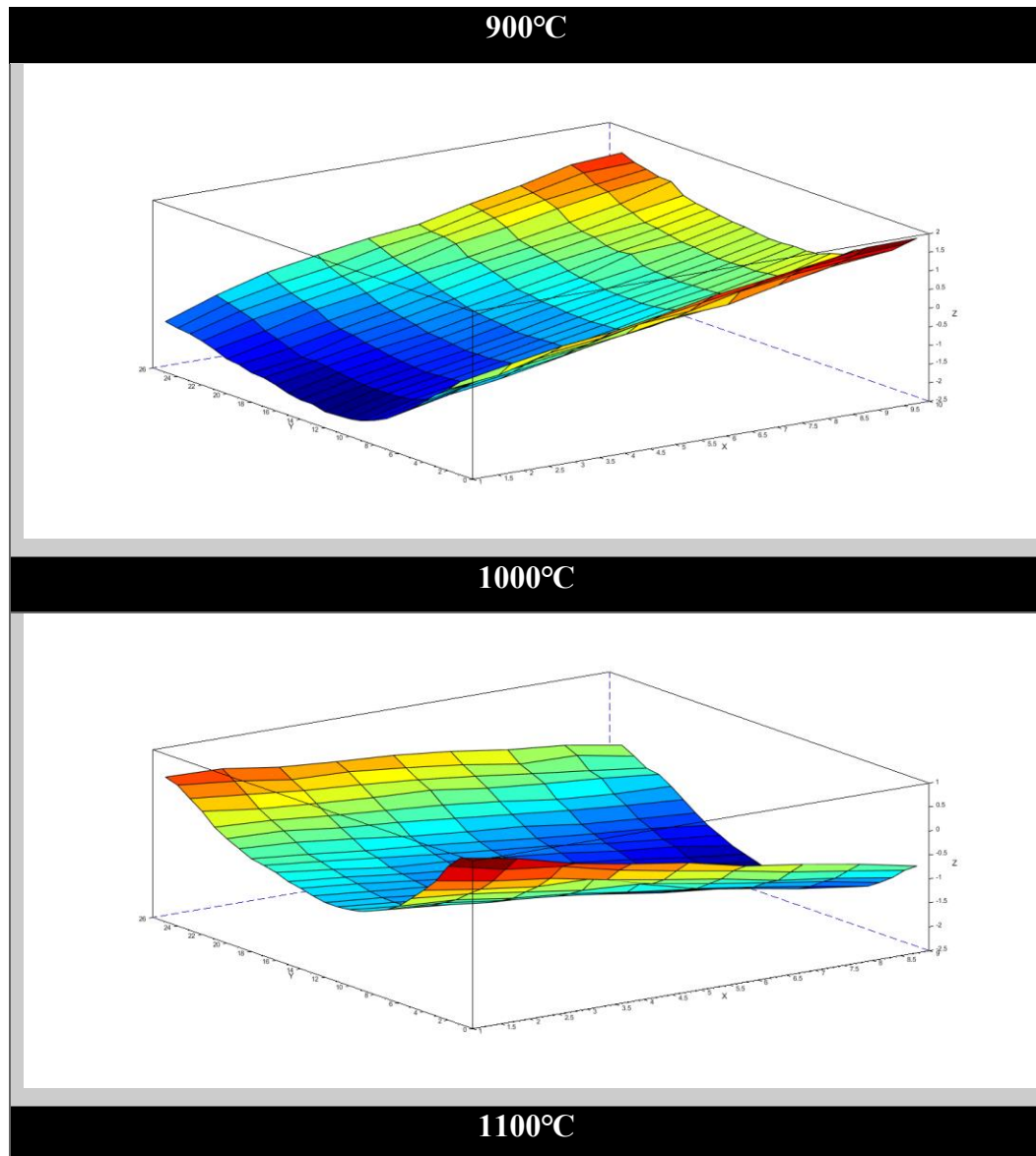


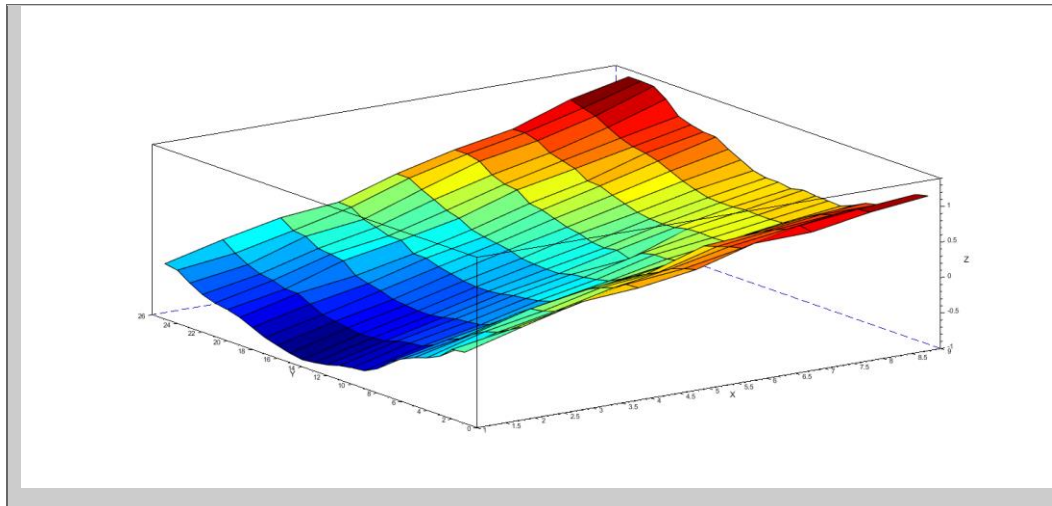
Gambar 4-1 Hasil Proses *Dye Penetrant*

Gambar 4-1 bahwa hasil pengelasan yang dihasilkan tidak terdapat adanya cacat atau kerusakan pada material yang di las. Hal ini dibuktikan tidak adanya bintik merah pada permukaan material, yang biasanya muncul setelah cairan penetran terkena cairan *developer*. Ketidakhadiran bintik merah tersebut mengindikasikan bahwa tidak terdapat retakan atau cacat halus yang tersembunyi di dalam sambungan. Dengan tidak terdeteksinya cacat pada material, dapat disimpulkan bahwa proses pengelasan telah dilakukan secara optimal. Hal ini juga menunjukkan bahwa teknik pengelasan yang diterapkan dalam penelitian ini efektif dalam menghasilkan sambungan yang memenuhi standar kualitas yang diharapkan. Keberhasilan ini memberikan keyakinan bahwa material yang diuji memiliki kekuatan dan ketahanan yang baik.

4.2 Hasil Pengujian Distorsi

Pengujian ini bertujuan untuk mengukur perubahan bentuk yang terjadi pada spesimen setelah menjalani proses pengelasan. Dengan adanya pengujian distorsi yang terjadi, kita dapat memperoleh pemahaman yang lebih baik mengenai dampak pengelasan terhadap perubahan bentuk spesimen tersebut. Hasil pengujian distorsi dapat dilihat pada gambar 4-2.





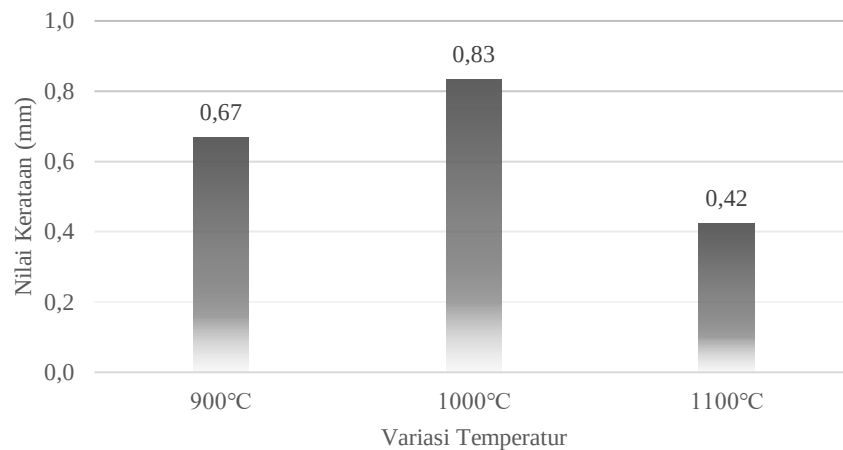
Gambar 4-2 Hasil Pengujian Distorsi

Setelah analisis menunjukkan bentuk perubahan yang terjadi sebagai akibat dari proses pengelasan, langkah selanjutnya adalah mengembangkan data yang diperoleh dalam konteks perhitungan rumus distorsi untuk pengujian. Data yang terdapat nilai negatif di rubah menjadi nilai positif untuk mendapat nilai kerataannya.

Spesimen yang akan di PWHT 1100°C

$$\begin{aligned} \text{Nilai Kerataan} &= \frac{\Delta \text{kerataan setiap titik}}{n} \\ &= \frac{190,54}{450} = 0,423 \end{aligned}$$

Selanjutnya, hasil perhitungan nilai kerataan dari semua spesimen dirangkum dalam bentuk diagram batang yang mewakili seluruh data. Diagram batang ini menggambarkan hasil pengujian distorsi, sehingga memudahkan dalam visualisasi dan analisis perbandingan antara spesimen. Berikut pada gambar 4-3 diagram batang yang menunjukkan nilai kerataan yang diperoleh dari proses pengujian distorsi yang telah dilakukan.



Gambar 4-3 Diagram Kerataan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kerataan sambungan las TIG pada baja SS400 terendah terjadi pada pengelasan spesimen 1100°C. Setiap pengujian menghasilkan variasi yang berbeda, sehingga sambungan dari spesimen 1100°C menunjukkan kerataan yang lebih baik dibandingkan dengan sambungan dari pengelasan spesimen 900°C dan 1000°C.

4.3 Hasil Komposisi Kimia

Proses komposisi kimia dilakukan menggunakan spektrometer yang dimiliki oleh PT Itokoh Ceperindo, Klaten. Hasil pengujian menunjukkan kandungan unsur yang terdapat dalam spesimen, pada dalam Tabel 4-1.

Tabel 4-1 Komposisi Kimia Material SS400

Unsur	Kandungan (%)
Fe	98,9431
S	0,0129
Al	0,0229
C	0,1452
Ni	0,0861
Nb	0,0000
Si	0,1278
Cr	0,0648
V	0,0007
Mn	0,3369
Mo	0,0119
W	0,0001
P	0,0152
Cu	0,1926

Unsur	Kandungan (%)
Ti	0,0013
N	0,0095
B	0,0002
Pb	0,0008
Sb	0,0015
Ca	0,0016
Mg	0,0001
Zn	0,0009
Co	0,0067

SS400 merupakan jenis baja karbon yang memiliki karakteristik yang baik untuk proses karburasi serta menunjukkan kemampuan yang memadai dalam pengelasan. Kemampuan pada pengelasan ini menggunakan nilai *Coefficient of Equivalent Carbon* (CEV). Sebuah nilai CEV yang dianggap baik untuk pengelasan adalah kurang dari 0,4 hingga 0,5. Berikut ini adalah perhitungan yang dilakukan terkait material baja yang digunakan dalam penelitian ini.

$$\begin{aligned}
 \text{CEV} &= \text{C} + \frac{\text{Mn}}{6} + \frac{\text{Cu} + \text{Ni}}{15} + \frac{\text{Cr} + \text{Mo} + \text{V}}{5} \\
 \text{CEV} &= 0,1452 + \frac{0,3369}{6} + \frac{0,1926 + 0,0861}{15} + \frac{0,0648 + 0,0119 + 0,0007}{5} \\
 \text{CEV} &= 0,1452 + 0,0562 + 0,0186 + 0,0155 \\
 \text{CEV} &= 0,2354
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan diatas didapatkan hasil bahwa material SS400 yang digunakan memiliki nilai $\text{CEV} < 0,4$, Dimana nilai tersebut termasuk kedalam kategori baja mampu las.

Selanjutnya, pengujian dilakukan terhadap material yang telah melalui proses pengelasan untuk menganalisis kandungan unsur yang ada setelah penambahan logam pengisi. Tabel 4-2 di bawah ini menunjukkan komposisi unsur yang terdapat pada logam setelah menjalani proses pengelasan.

Tabel 4-2 Komposisi Kimia Logam Las

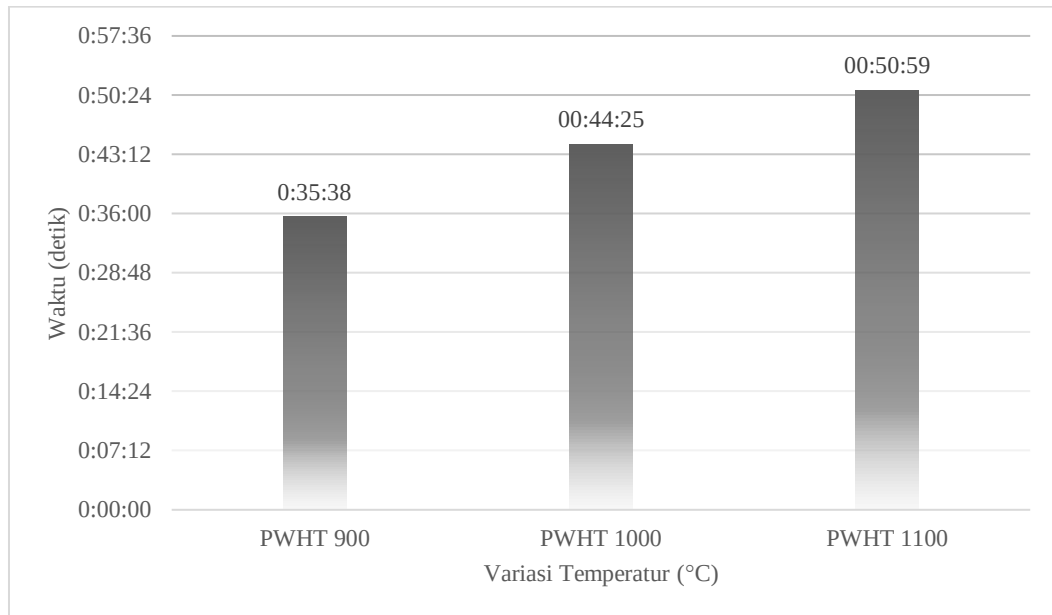
Unsur	Kandungan (%)
Fe	98,9180
S	0,0129
Al	0,0075
C	0,1179
Ni	0,0749
Nb	0,0003
Si	0,1619

Unsur	Kandungan (%)
Cr	0,0545
V	0,0010
Mn	0,3910
Mo	0,0096
W	0,0003
P	0,0171
Cu	0,1807
Ti	0,0060
N	0,0165
B	0,0002
Pb	0,0010
Sb	0,0016
Ca	0,0013
Mg	0,0001
Zn	0,0006
Co	0,0067

Jika dibandingkan dengan material sebelum pengelasan komposisi baja SS400 setelah proses pengelasan, terjadi penurunan kadar unsur karbon (C), yang disebabkan oleh beberapa faktor utama yang berhubungan dengan suhu tinggi dan kondisi lingkungan saat pengelasan. Suhu ekstrem di zona las dapat mengakibatkan penguapan atau oksidasi karbon. Dalam kondisi tertentu, karbon dapat menguap akibat panas yang sangat tinggi. Selain itu, pada suhu pengelasan yang tinggi, atom karbon dapat berdifusi menuju permukaan logam dan lepas ke atmosfer, terutama jika gas pelindung tidak sepenuhnya melindungi dari paparan oksigen di sekitarnya.

4.4 Hasil Proses PWHT

Pada proses PWHT memulihkan sifat material, terutama dalam hal ketangguhan, diperlukan perlakuan panas pada suhu dan durasi tertentu. Metode pendinginan yang diterapkan adalah *quenching* dengan menggunakan air. Dilakukan pengujian untuk mengevaluasi perubahan sifat fisik dan mekanik sambungan las TIG baja SS400. Didapatkan grafik pada gambar 4-4 yang menunjukkan data proses PWHT.



Gambar 4-4 Data Proses PWHT

Didapatkan data 3 spesimen PWHT dimana spesimen pertama suhu awal 24°C setelah itu proses pemanasan sampai 900°C dalam kurun waktu 35 menit 38 detik, setelah itu *holding time* selama 120 menit, selanjutnya pendinginan cepat memakai air sampai kembali ke suhu 24°C. Spesimen kedua suhu awal 24°C setelah itu proses pemanasan sampai 1000°C dalam kurun waktu 44 menit 25 detik, setelah itu *holding time* selama 120 menit, selanjutnya pendinginan cepat memakai air sampai kembali ke suhu 24°C. spesimen pertama setelah itu proses pemanasan sampai 1100°C dalam kurun waktu 50 menit 59 detik, setelah itu *holding time* selama 120 menit, selanjutnya pendinginan cepat memakai air sampai kembali ke suhu 24°C.

4.5 Hasil Pengujian Tarik

Pada pengujian tarik dengan standar JIS Z 2201, Spesimen diberi gaya sebesar P secara bertahap dan kontinu sampai mencapai nilai maksimum, Pmax, yang terukur melalui mesin UTM (*Universal Testing Machine*). Setelah pengujian selesai, perubahan panjang spesimen, yang dinyatakan sebagai ΔL , diukur menggunakan jangka sorong untuk memastikan akurasi pengukuran. Dari data yang terkumpul ini, dihasilkan grafik yang menggambarkan hubungan antara tegangan dan regangan, serta tabel yang berisi hasil pengujian lengkap.

Spesimen PWHT 900°C, diketahui tebal = 3,70 mm, lebar = 12,53 mm,
 $P_{max} = 6,21 \text{ KN}$, $\Delta L = 1,61 \text{ mm}$

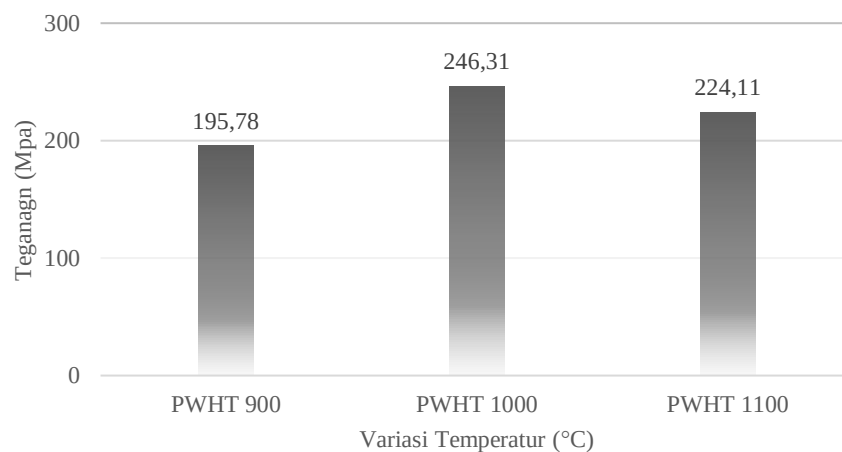
Persamaan nilai tegangan:

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{6,21 \times 10^3}{3,70 \times 12,53} = 133,95 \text{ Mpa}$$

Persamaan nilai regangan:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% = \frac{1,61}{50} \times 100\% = 3,22\%$$

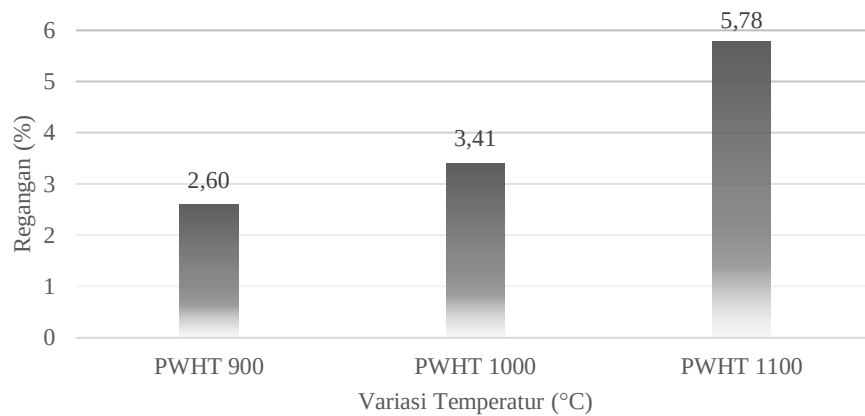
Selanjutnya, hasil perhitungan tegangan dan regangan dari semua spesimen dirangkum dalam bentuk diagram batang yang mewakili seluruh data masing-masing tegangan dan regangan. Diagram batang ini menggambarkan hasil pengujian tarik secara komprehensif, sehingga memudahkan dalam visualisasi dan analisis perbandingan antara spesimen. Berikut pada gambar 4-5 dan 4-6 diagram batang yang menunjukkan nilai tegangan dan regangan yang diperoleh dari proses pengujian tarik yang telah dilakukan.



Gambar 4-5 Diagram Tegangan

Spesimen PWHT pada suhu 900°C, tegangan tarik ada di nilai 195,78 MPa. Pada suhu PWHT 1000°C, terjadi peningkatan menjadi 246,31 MPa, menunjukkan bahwa peningkatan suhu dapat meningkatkan kekuatan material meskipun terjadi penurunan pada suhu 900°C. Di sisi lain, pada suhu PWHT 1100°C, tegangan tarik sedikit menurun menjadi 224,11 MPa dibandingkan dengan suhu 1000°C, yang menunjukkan penurunan kekuatan pada suhu yang lebih tinggi. Secara

keseluruhan, PWHT 1000°C memberikan hasil kekuatan yang lebih baik dibandingkan dengan suhu yang lebih rendah atau lebih tinggi.



Gambar 4-6 Diagram Regangan

Spesimen PWHT pada suhu 900°C, regangan ada di nilai 2,60%, yang menunjukkan peningkatan kerapuhan. Pada suhu PWHT 1000°C, regangan meningkat sedikit menjadi 3,41%, menunjukkan perbaikan keuletan setelah penurunan pada suhu 900°C. Di suhu PWHT 1100°C, regangan kembali meningkat menjadi 5,78%, menunjukkan peningkatan keuletan pada suhu yang lebih tinggi. Secara keseluruhan, meskipun PWHT menurunkan regangan, suhu 1100°C dapat meningkatkan keuletan dibandingkan dengan suhu yang lebih rendah, meskipun tetap tidak mencapai tingkat regangan sampel tanpa PWHT. Gambar 4-7 merupakan hasil spesimen setelah pengujian tarik menggunakan mesin UTM.



Gambar 4-7 Spesimen Setelah Pengujian Tarik

Titik patah yang terjadi pada spesimen berada di daerah las, mikrostruktur hasil pendinginan cepat, menghasilkan batas butir *martensite*, dapat menghasilkan sifat keras namun rapuh, sehingga lebih rentan terhadap keretakan.

4.6 Hasil Pengujian Impak

Pada pengujian impak, spesimen akan dihantam oleh bandul yang telah ditentukan ketinggian, berat, dan sudutnya. Pengujian ini mengikuti standar JIS Z 2202 serta metode *charpy*. Selama proses pengujian, data sudut hasil hantaman bandul dicatat. Sudut ini kemudian digunakan dalam perhitungan energi yang diserap oleh spesimen saat terkena hantaman. Nilai energi yang diperoleh akan digunakan untuk menentukan harga impak, yang merupakan indikator ketangguhan impak dari spesimen yang diuji. Berikut ini disajikan perhitungan energi yang diserap serta harga impak untuk salah satu spesimen yang diuji.

Spesimen PWHT 1000°C, diketahui sudut $\alpha = 151$, sudut $\beta = 136$, luas penampang = 18,6 mm², Selain itu, energi yang diberikan oleh bandul adalah 300 J, panjang lengan bandul (L) adalah 0,8 m, dan berat bandul sebesar 20 kg.

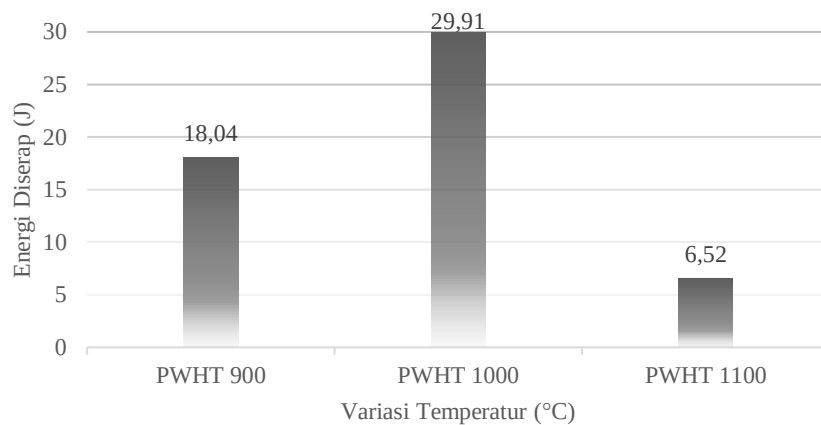
Energi yang diserap:

$$\begin{aligned} W &= G \times L(\cos \beta - \cos \alpha) \\ W &= 20 \times 10 \times 0,8(\cos 136 - \cos 151) \\ W &= 160(-0,72 - (-0,87)) \\ W &= 24,8 J \end{aligned}$$

Harga impak:

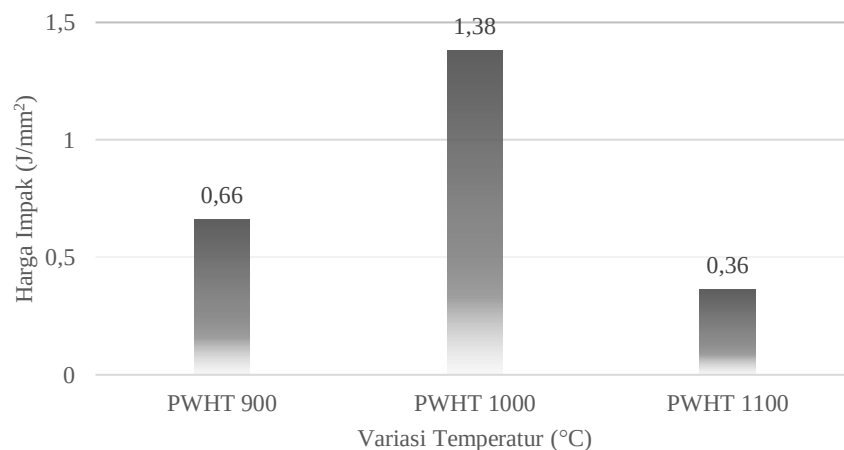
$$K = \frac{W}{A_0} = \frac{24,8 J}{18,6 mm^2} = 1,336 J/mm^2$$

Selanjutnya, hasil perhitungan energi yang diserap dan harga impak dari semua spesimen dirangkum dalam bentuk diagram batang yang mewakili seluruh data masing-masing energi yang diserap dan harga impak. Diagram batang ini menggambarkan hasil pengujian impak secara komprehensif, sehingga memudahkan dalam visualisasi dan analisis perbandingan antara spesimen. Berikut pada gambar 4-8 dan 4-9 diagram batang yang menunjukkan nilai energi yang diserap dan harga impak yang diperoleh dari proses pengujian impak yang telah dilakukan.



Gambar 4-8 Diagram Energi yang Diserap

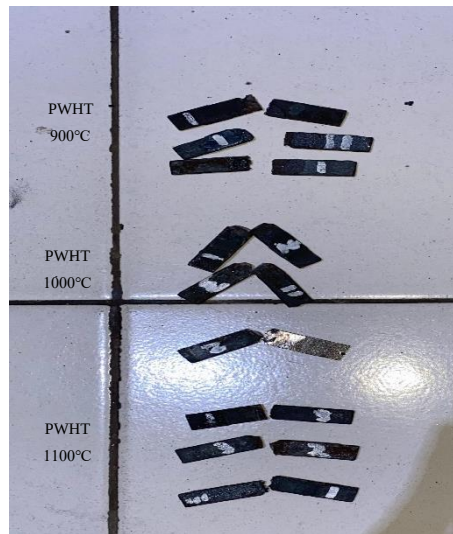
Spesimen PWHT pada suhu 900°C, energi yang diserap ada di nilai 18,04 Joule, menunjukkan pengurangan ketangguhan material akibat perlakuan tersebut. Sementara itu, pada suhu PWHT 1000°C, energi yang diserap sedikit meningkat kembali menjadi 29,91 Joule, mendekati nilai energi sampel tanpa PWHT, sehingga menunjukkan pemulihan ketangguhan material. Namun, pada suhu PWHT 1100°C, energi yang diserap menurun secara drastis menjadi 6,52 Joule, menandakan bahwa perlakuan pada suhu tinggi ini secara signifikan mengurangi ketangguhan material.



Gambar 4-9 Diagram Harga Impak

Spesimen PWHT pada suhu 900°C, nilai impak ada di nilai 0,66 J/mm², mengindikasikan penurunan ketahanan terhadap impak. Ketika PWHT dilakukan pada suhu 1000°C, nilai impak meningkat kembali menjadi 1,38 J/mm², merupakan nilai tertinggi dalam pengujian ini dan menunjukkan ketahanan impak

yang sangat baik. Di sisi lain, PWHT pada suhu 1100°C menghasilkan nilai impak terendah, yaitu 0,36 J/mm², yang menunjukkan penurunan signifikan pada ketahanan impak material. Gambar 4-10 merupakan hasil spesimen setelah pengujian impak menggunakan mesin UTM



Gambar 4-10

Spesimen PWHT 900°C menunjukkan energi serap yang relatif rendah, mengindikasikan struktur mikro yang cenderung keras namun kurang mampu menyerap energi sebelum patah. Spesimen PWHT 1000°C menunjukkan peningkatan yang signifikan energi serap, yang menandakan perbaikan sifat keuletan akibat perubahan mikrostruktur. Pada spesimen PWHT 1100°C, energi serap turun drastis, karena batas butir *austenite* material menjadi lebih rapuh dan memiliki energi serap yang lebih rendah dalam pengujian impak.

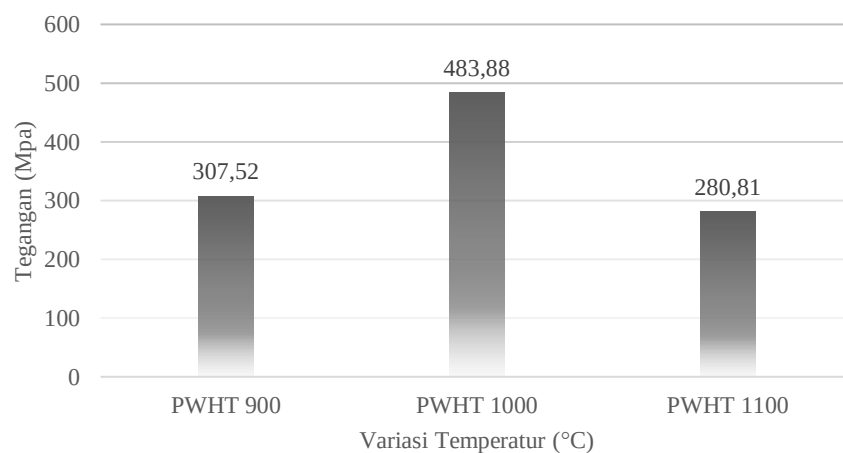
4.7 Hasil Pengujian *Bending*

Dalam pengujian *bending*, spesimen dikenakan beban *P* secara bertahap dan kontinu hingga mencapai nilai maksimum *P*_{max} yang terukur oleh mesin UTM. Pengujian ini dilakukan sesuai dengan standar JIS Z 2204. Berdasarkan panjang tumpuan (*L*) yang telah ditetapkan sebelum pelaksanaan pengujian, nilai tegangan *bending* dapat dihitung. Berikut ini adalah contoh perhitungan untuk menentukan tegangan *bending* yang diperoleh dari pengujian tersebut.

Spesimen PWHT 1100°C, diketahui *P* = 1,36 kN, tebal (*d*) = 3,31 mm, *L* = 30 mm, dan lebar (*b*) = 19,48 mm

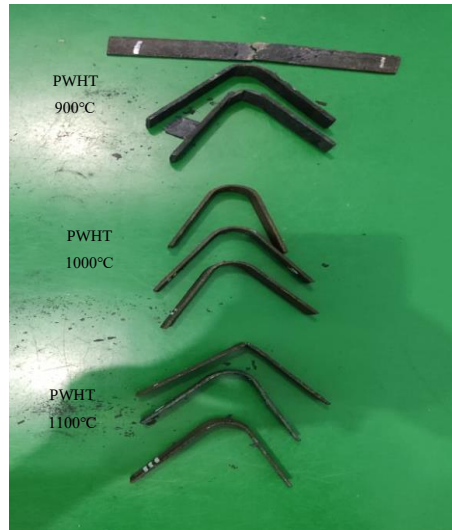
$$\sigma_b = \frac{3 \times P \times L}{2 \times b \times d} = \frac{3 \times 1,36 \times 30}{2 \times 19,48 \times 3,31} = 286,75 \text{ Mpa}$$

Selanjutnya, hasil perhitungan tegangan *bending* dari semua spesimen dirangkum dalam bentuk diagram batang yang mewakili seluruh data tegangan *bending*. Diagram batang ini menggambarkan hasil pengujian *bending* secara komprehensif, sehingga memudahkan dalam visualisasi dan analisis perbandingan antara spesimen. Berikut pada gambar 4-11 diagram batang yang menunjukkan nilai tegangan *bending* yang diperoleh dari proses pengujian *bending* yang telah dilakukan.



Gambar 4-11 Diagram Tegangan *Bending*

Spesimen PWHT pada suhu 900°C, tegangan *bending* ada di nilai 307,52 MPa, yang menunjukkan penurunan kekuatan *bending* akibat relaksasi tegangan internal dan perubahan struktur mikro. Pada suhu PWHT 1000°C, tegangan *bending* sedikit meningkat menjadi 483,88 MPa, menunjukkan pemulihan atau peningkatan kekuatan mendekati nilai awal, kemungkinan disebabkan oleh perbaikan struktur mikro. Di sisi lain, pada suhu PWHT 1100°C, tegangan *bending* menurun kembali menjadi 280,81 MPa, yang merupakan nilai terendah di antara semua variasi, mengindikasikan bahwa perlakuan pada suhu tinggi ini mengakibatkan penurunan signifikan pada kekuatan *bending* akibat perubahan mikrostruktur yang melemahkan material. Gambar 4-12 merupakan hasil spesimen setelah pengujian *bending* menggunakan mesin UTM.



Gambar 4-12 Spesimen Setelah Pengujian *Bending*

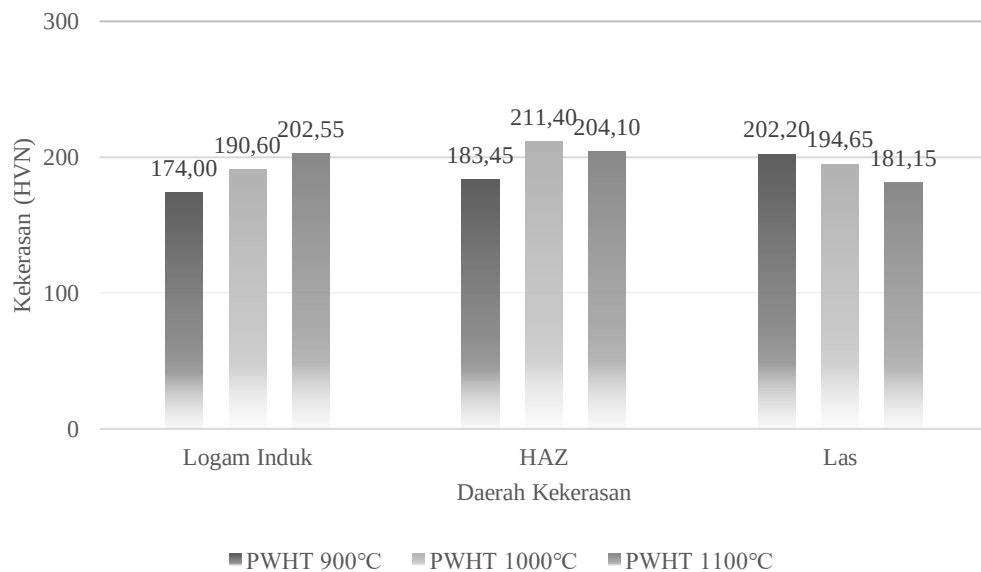
Spesimen PWHT 900°C menunjukkan deformasi yang cenderung lebih kaku, menunjukkan bahwa struktur mikro menjadi lebih keras namun dengan keuletan yang lebih rendah. Sementara itu, spesimen PWHT 1000°C menunjukkan deformasi yang lebih lentur dibandingkan dengan kelompok sebelumnya, yang menandakan adanya perbaikan keuletan. Spesimen dengan PWHT 1100°C menunjukkan deformasi yang menurun dengan nilai lebih rendah dari PWHT 900°C.

4.8 Hasil Pengujian Kekerasan

Spesimen baja yang telah dicetak dalam resin kemudian di etsa hingga terlihat perbedaan warna yang menunjukkan daerah pengelasan yang dipengaruhi oleh panas. Setelah itu, pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode kekerasan mikro Vickers dengan beban sebesar 200 gf selama 10 detik, yang telah diatur pada mesin uji *Universal Hardness Vickers*. Untuk spesimen pengelasan, pengujian dilakukan di tiga titik yang berada dalam jarak 0,5 mm dari setiap area pengelasan. Sementara itu, untuk spesimen tanpa las, tiga titik diambil secara acak dan sejajar.

Setelah proses indentasi selesai, spesimen dipindahkan ke mikroskop metalografi untuk mengamati ukuran bekas indentasi. Panjang kedua diagonal yang dihasilkan dari indentor berbentuk piramida akan digunakan untuk

menentukan nilai kekerasan *vickers*. Berikut ini pada gambar 4-13 adalah data yang didapatkan pada proses pengujian kekerasan *vickers*.



Gambar 4-13 Diagram Hasil Kekerasan

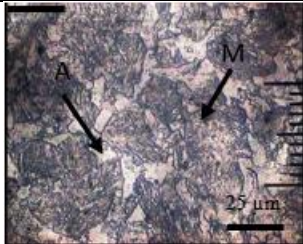
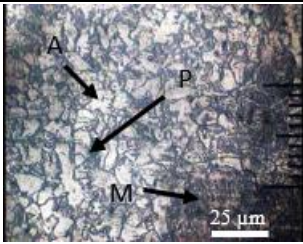
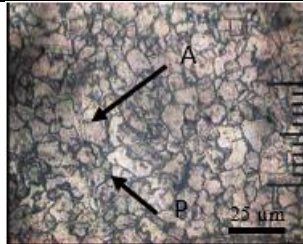
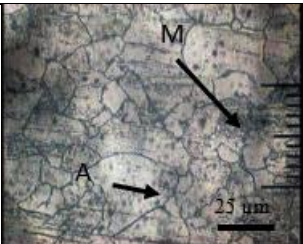
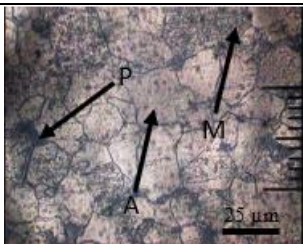
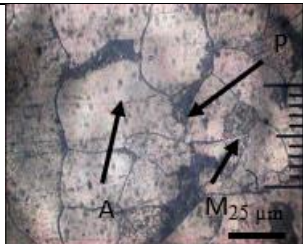
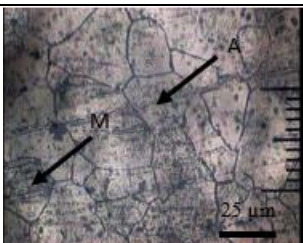
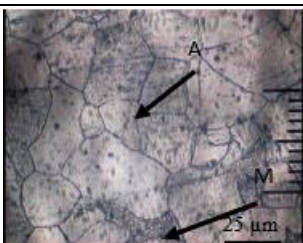
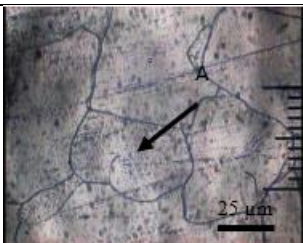
Setelah PWHT, Berdasarkan hasil pengujian kekerasan *vickers* dengan variasi temperatur PWHT pada baja SS400, dapat disimpulkan bahwa temperatur PWHT memiliki pengaruh signifikan terhadap kekerasan pada daerah Induk, HAZ (*Heat-Affected Zone*), dan Las. Pada daerah induk, kekerasan cenderung meningkat seiring meningkatnya temperatur PWHT, dengan rata-rata tertinggi tercatat pada 1100°C sebesar 202,55 HVN, yang menunjukkan adanya perbaikan struktur mikro akibat proses tempering.

Di sisi lain, pada daerah HAZ, kekerasan mencapai titik tertinggi pada temperatur PWHT 1000°C dengan rata-rata 211,40 HVN, namun sedikit menurun pada 1100°C menjadi 204,10 HVN. Penurunan ini mungkin disebabkan oleh fenomena *over-tempering*. Sementara itu, pada daerah Las, terjadi penurunan kekerasan yang konsisten dari 900°C hingga 1100°C, dengan rata-rata kekerasan masing-masing 202,20 HVN dan 181,15 HVN, yang menunjukkan bahwa daerah las lebih rentan terhadap pelunakan pada temperatur tinggi.

Secara keseluruhan, PWHT pada temperatur 1000°C memberikan hasil optimal untuk mempertahankan kekerasan, terutama pada daerah HAZ, sementara penggunaan temperatur yang terlalu tinggi dapat mengakibatkan pelunakan, khususnya pada daerah las.

4.9 Hasil Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan foto mikro dilakukan untuk menganalisis struktur mikro yang terbentuk akibat proses pengelasan dan PWHT yang menggunakan metode pendinginan quenching. Struktur mikro ini memiliki hubungan yang signifikan dengan kekerasan spesimen, mengingat setiap fase dalam mikrostruktur menunjukkan sifat yang berbeda-beda. Pengujian mikro dilaksanakan menggunakan mikroskop metalografi dengan perbesaran mencapai 200x untuk memperoleh informasi yang detail dan mendalam. Pada gambar 4-14 merupakan hasil dari pengamatan struktur mikro dengan perbesaran 200x.

Daerah Logam Las	HAZ	Logam Induk
PWHT 900°C	PWHT 900°C	PWHT 900°C
		
PWHT 1000°C	PWHT 1000°C	PWHT 1000°C
		
PWHT 1100°C	PWHT 1100°C	PWHT 1100°C
		

Gambar 4-14 Hasil Pengamatan Struktur Mikro

Keterangan:

M : Martensite P : Pearlite
A : Austenite

Didapatkan hasil dari struktur mikro, menunjukkan bahwa pada PWHT 900°C, daerah logam didominasi oleh fase *martensite* yang berukuran besar, dengan sedikit fase *austenite*. Sebaliknya, pada PWHT 1000°C dan 1100°C, dominasi beralih ke fase *austenite*, sementara fase *martensite* hanya terdapat dalam jumlah yang sedikit.

Pada daerah HAZ, untuk PWHT 900°C dan 1000°C, masih terlihat adanya fase *austenite*, *pearlite*, dan *martensite*. Pada PWHT 900°C, fase *pearlite* masih banyak, sedangkan pada 1000°C, jumlah fase *pearlite* berkurang. Di PWHT 1100°C, hanya terlihat fase *martensite* dan *austenite*.

Pada logam induk, PWHT 900°C menunjukkan keberadaan fase *austenite* dan *pearlite* dalam ukuran batas butir kecil, sementara pada PWHT 1000°C, terdapat fase *martensite* dan *pearlite* yang ukuran batas butir kecil, serta *austenite* yang berukuran besar. Pada PWHT 1100°C, hanya terdeteksi fase *austenite* yang berukuran besar.

4.10 Hasil Pengujian Laju Korosi

Proses pengujian korosi dilakukan selama 40 hari dengan merendam spesimen dalam air laut, di mana setiap 10 hari dilakukan pengukuran terhadap pengurangan berat spesimen. Setelah mengumpulkan data mengenai pengurangan berat tersebut, langkah berikutnya adalah menghitung laju korosi dalam satuan milimeter per tahun (mmpy). Tabel 4-3 di bawah ini menyajikan data mengenai pengurangan berat spesimen yang dicatat selama periode pengujian 40 hari.

Tabel 4-3 Data Mengenai Pengurangan Berat Spesimen

Spesimen	Berat Awal (gr)	Hasil timbang 10 hari ke- (gr)			
		1	2	3	4
PWHT 900°C	8,76	8,75	8,71	8,68	8,64
PWHT 1000°C	6,09	6,06	6,05	6,04	6,03
PWHT 1100°C	4,76	4,74	4,73	4,71	4,70

Setelah data hasil pengujian korosi diperoleh, langkah selanjutnya adalah menghitung selisih berat yang terjadi setiap 10 hari penimbangan. Selisih berat ini

akan digunakan dalam perhitungan laju korosi. Berikut ini adalah perhitungan laju korosi yang dilakukan pada spesimen PWHT 900°C pada periode penimbangan yang pertama.

Diketahui : $k = 8,76 \times 10^4$

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

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

$w = 0,01 \text{ g}$

$A = 3,76 \text{ cm}^2$

$$CR = \frac{k \times w}{D \times A \times T} = \frac{8,76 \times 10^4 \times 0,01}{7,9 \times 3,76 \times 240} = 0,12$$

Setelah menghitung laju korosi, kemudian hasil tersebut dibandingkan dengan tingkat ketahanan korosi untuk melihat kualitas laju korosi. Berikut hasil perhitungan laju korosi pada tabel 4-4.

Tabel 4-4 Hasil Perhitungan laju korosi

Spesimen	Laju Korosi 10 hari ke-(<i>mmpy</i>)				Rata-Rata Laju LKorosi
	1	2	3	4	
PWHT 900°C	0,12	0,25	0,12	0,12	0,15
PWHT 1000°C	0,43	0,07	0,05	0,04	0,15
PWHT 1100°C	0,29	0,07	0,10	0,04	0,13

Setelah menghitung laju korosi, hasil tersebut dibandingkan dengan ketahanan korosi untuk melihat kualitas laju korosi. Tingkat ketahanan korosi dapat dilihat pada Tabel 4-5.

Tabel 4-5 Standar Kualitas Ketahanan Korosi

Laju Korosi	Standar (<i>mmpy</i>)	Hasil (<i>mmpy</i>)		
		PWHT 900°C	PWHT 1000°C	PWHT 1100°C
<i>Outstanding</i>	<0,02			
<i>Excellent</i>	0,02-0,1			
<i>Good</i>	0,1-0,5	0,15	0,15	0,13
<i>Fair</i>	0,5-1			
<i>Poor</i>	1-5			

Laju Korosi	Standar (<i>mmpy</i>)	Hasil (<i>mmpy</i>)		
		PWHT	PWHT	PWHT
		900°C	1000°C	1100°C
<i>Unacceptable</i>	>5			

Berdasarkan hasil pengujian laju korosi, semua sampel PWHT pada temperatur 900°C, 1000°C, dan 1100°C menunjukkan kategori yang baik dalam hal ketahanan korosi. Laju korosi yang terukur untuk masing-masing temperatur adalah 0,15 *mmpy* pada 900°C, 0,15 *mmpy* pada 1000°C, dan 0,13 *mmpy* pada 1100°C. Hasil ini menunjukkan bahwa ketiga temperatur tersebut efektif dalam menjaga kualitas sambungan las, dengan laju korosi yang relatif rendah.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini, perlakuan panas setelah pengelasan (PWHT) pada temperatur 900°C, 1000°C, dan 1100°C menunjukkan pengaruh yang berbeda terhadap sifat fisik dan mekanik sambungan las TIG pada baja SS400. PWHT pada temperatur 1000°C memberikan dampak signifikan terhadap peningkatan sifat fisik dan mekanik sambungan las, terbukti sebagai kondisi yang optimal. Pada temperatur ini, kekuatan tarik mencapai nilai tertinggi 246,31 MPa, dengan energi yang diserap dan nilai dampak tertinggi masing-masing 29,92 J dan 1,38 J/mm², serta kekuatan *bending* mencapai 483,88 MPa. Hasil ini menunjukkan bahwa pada 1000°C, proses PWHT berhasil mengurangi tegangan residual dan meningkatkan ketahanan sambungan las. Sebaliknya, PWHT pada 900°C menghasilkan struktur mikro yang didominasi oleh batas butir *martensite*, mengakibatkan kekerasan tinggi tetapi rendahnya ketahanan di daerah HAZ. Sementara itu, PWHT pada 1100°C menghasilkan temperatur yang terlalu tinggi, dengan dominasi batas butir *austenite* yang berlebihan, sehingga mengurangi kualitas sambungan pada semua daerah, termasuk logam induk, HAZ, dan logam las. Temuan ini menekankan pentingnya pemilihan temperatur PWHT yang tepat, yang berkontribusi tidak hanya pada kualitas sambungan las tetapi juga memberikan wawasan baru dalam praktik pengelasan baja SS400. Pemilihan temperatur PWHT yang sesuai adalah kunci untuk memaksimalkan sifat fisik dan mekanik sambungan las, serta memberikan pemahaman lebih lanjut tentang pengaruh temperatur dalam proses pengelasan baja SS400.

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

Dari hasil penelitian yang dilakukan, saran yang diberikan penulis, sebagai berikut:

1. Pembelian *torch* baru untuk pengelasan TIG, karena kondisi *torch* yang saat ini digunakan seringkali tidak berfungsi. Membuat proses pengelasan menjadi sulit, karena operator harus menekan torch dengan kuat selama pengelasan.
2. Penelitian selanjutnya dilakukan dengan mengeksplorasi variasi parameter lain dalam proses PWHT, seperti waktu perlakuan dan kecepatan pendinginan, untuk memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif tentang pengaruhnya terhadap sifat fisik dan mekanik sambungan las.

DAFTAR PUSTAKA

- Affandi, Tanjung, I., Nasution, A., Fonna, S., & Huzni, S. (2020). Investigasi Laju Korosi Atmosferik Baja Karbon Rendah Profil Segiempat Di Kawasan Industri Medan. *Jurnal Teknologika*, 10(1). <https://doi.org/10.51132/teknologika.v10i1.31>
- Afonso, I. S., Martín, M. R., & Ribeiro, J. E. (2022). Effect of Welding Sequence in Angular Distortion on Butt Joint GMAW Process. *Applied Sciences*, 12(20), 10402. <https://doi.org/10.3390/app122010402>
- Budiyanto, E. (2020). *Pengujian Material*. Laduny Alifatama.
- Choung, J. M., & Cho, S. R. (2008). Study on true stress correction from tensile tests. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 22(6), 1039–1051. <https://doi.org/10.1007/s12206-008-0302-3>
- Fakri, Z., Bukhari, & Juhan, N. (2019). Analisa Pengaruh Kuat Arus Pengelasan Gmaw Pada Pengujian Impak Baja AISI 1050. *Journal of Welding Technology*, 1(1), 5–10.
- Fitri, M., Sukiyono, B., & Simanjuntak, M. L. (2019). Pengaruh Waktu Penahanan pada Perlakuan Panas Paska Pengelasan terhadap Ketangguhan Sambungan Las Baja. *SINTEK JURNAL: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 13(2), 80. <https://doi.org/10.24853/sintek.13.2.80-86>
- Gandy, D. (2007). *Carbon Steel Handbook*. EPRI Project Manager.
- Ghorbani, S., Ghasemi, R., Ebrahimi-Kahrizsangi, R., & Hojjati-Najafabadi, A. (2017). Effect of post weld heat treatment (PWHT) on the microstructure, mechanical properties, and corrosion resistance of dissimilar stainless steels. *Materials Science and Engineering: A*, 688, 470–479. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2017.02.020>
- Handoyo, Y. (2018). Perancangan Alat Uji Impak Metode Charpy Kapasitas 100 Joule. *Jurnal Kajian Ilmiah Sains dan Teknologi pada Bidang Ilmu Teknik Mesin*, 1(2), 45–53. <https://doi.org/10.33558/jitm.v1i2.735>
- Hidayat, W. (2019). Klasifikasi Dan Sifat Material Teknik Serta Pengujian Material. *INA-Rxiv*. <https://doi.org/10.31227/osf.io/6bmfu>

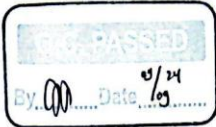
- Jeyaprakash, N., Haile, A., & Arunprasath, M. (2015). The Parameters and Equipments Used in TIG Welding: A Review. *The International Journal Of Engineering And Science (IJES)*, 4(2), 11–20.
- Jumadin, Halik, A., Hasim, M., Wabdillah, Labusab, Ahmad, M., Husda, B., Irwan, M., Aqsha, I., & Ali, A. (2023). *Teknik Pengelasan*. Rizmedia Pustaka Indonesia.
- Lippold, J. C. (2015). *Welding Metallurgy And Weldability*. John Wiley & Sons Inc. <https://doi.org/10.1002/9781118960332>
- Mulyadi, & Iswanto. (2020). *Buku Ajar Teknologi Pengelasan*. UMSIDA Press.
- Oktaviandy, N. R., Kardiman, K., & Hanifi, R. (2023). Effect of Preheat Temperature Variation with Cooling Media on Mechanical Properties in Welding SS400 Steel. *SINTEK JURNAL: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 17(2), 130. <https://doi.org/10.24853/sintek.17.2.130-142>
- Prabakaran, M. P., & Kannan, G. R. (2019). Optimization of laser welding process parameters in dissimilar joint of stainless steel AISI316/AISI1018 low carbon steel to attain the maximum level of mechanical properties through PWHT. *Optics & Laser Technology*, 112, 314–322. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2018.11.035>
- Prayitno, D., & Indayanto, P. (2021). Pengaruh Hardening Terhadap Korosi Pada Baja S45c. *Metrik Serial Teknologi Dan Sains*, 2(2), 70–75.
- Putra Nugraha, Y. D., Suharno, S., & Estriyanto, Y. (2017). Pengaruh Proses Post Weld Heat Treatment (Pwht) Pada Pengelasan Material Paduan Super Berbasis Nikel Dengan Metode Tungsten Inert Gas (Tig) Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik dan Kejuruan*, 10(2), 75. <https://doi.org/10.20961/jiptek.v10i2.16916>
- Rahmatika, A., Sutarto, E., & C.Arifin, A. (2021). Pengujian Merusak Pada Kualifikasi Prosedur Las Plat Baja Karbon SA-36 dengan Proses Pengelasan SMAW Berdasarkan Standar ASME Section IX. *Jurnal Vokasi Teknologi Industri*, 3(1), 24–30.
- Ramadhani, S., Basyirun, Rusiyanto, & Sunyoto. (2022). Pengaruh Variasi Temperatur Preheat Pada Pengelasan Smaw Terhadap Struktur Mikro Dan

- Kekerasan Baja Karbon Ss400. *Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin*, 7(1), 12–20.
- Romli. (2012). Pengaruh Proses Pengelasan Tig Terhadap Sifat Mekanis Bahan Paduan Aluminium. *Jurnal Austenit*, 4, 9–15.
- Sanjaya, T. R., Anjani, R. D., & Burhan, N. (2024). Analisis Kekuatan Bending Akibat Variasi Arus Pengelasan SMAW Pada Sambungan Pipa Api 5L GR.B SCH 80. *Jurnal Serambi Engineering*, 9(3), 9848–9856.
- Sarifudin, M., & Tjahjanti, P. H. (2024). Karakteristik Pengelasan Shield Metal Arc Welding (SMAW) dan Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) pada Plat Stainless Steel 201 di Tabung Air Minum. *Innovative Technologica: Methodical Research Journal*, 3(1). <https://doi.org/10.47134/innovative.v3i1.98>
- Singh, C. (2023). *Post Weld Heat Treatment PWHT Standards, Procedures, Applications, and Interview Q&A*. Draft2digital.
- Sulistiyo, E., & Prasetyo, F. (2016). Identifikasi Material Tube High Pressure Economizer Hrsg Unit 2.3 Pltgu Up Semarang. *PowerPlant*, 4(2), 76–85.
- Sumardani, N. I., Setiawan, N. I., Nuryadin, B. W., & Sumardani, D. (2020). Defect Analysis of Carbonsteel Pipe Welding Connections Using Non-Destructive Testing with the Penetrant Test Method. *Risenologi (Jurnal Sains, Teknologi, Sosial, Pendidikan, dan Bahasa)*, 5(1), 38–47.
- Syaiful, & Fuadi, M. G. (2024). Pengaruh Variasi Quenching-Holding Time terhadap Nilai Tegangan Tarik pada Proses Pengelasan Baja Karbon Rendah. *Elektrise: Jurnal Sains dan Teknologi Elektro*, 14(01), 172–182.
- Tavares, S. S. M., Laurya, M. L., Farneze, H. N., Landim, R. V., Velasco, J. A. C., & Andia, J. L. M. (2019). Influence of PWHT on the sulfide stress cracking susceptibility of 9%Ni low carbon steel. *Engineering Failure Analysis*, 104, 331–340. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.05.017>
- Verhaeghe, G. (1999). *Predictive formulae for weld distortion: A critical review*. Abington Publ.
- Wahyu, M., Junaidi, & Irwan, A. (2020). Analisa Uji Impak Baja Carbon Steel1045 Dengan Menggunakan metode Charpy. *Jurnal Simetri Rekayasa*, 2(1), 81–86.

Weman, K. (Ed.). (2003). *Welding processes handbook*. Woodhead Pub.

LAMPIRAN

	PT. ITOKOH CEPERINDO Stainless Steel & Alloy Steel Casting	
---	--	---

COMPANY : PT. ITOKOH CEPERINDO SAMPLE NAME : 33400 (LA3) CUSTOMER : Sdr. ISAL DAN REZA FURNACE : CI0912D03/51 OPERATOR : FIYAN DATE / TIME : 09-SEP-2024 15:04:49 TASK : Conc_Fei METHOD : FEGLFE	
---	--

	Fe	S	Al	C	Ni	Nb	Si
1	98.8928	0.0128	0.0052	0.1135	0.0712	0.0001	0.1777
2	98.9432	0.0131	0.0097	0.1222	0.0736	0.0004	0.1461
AVG	98.9180	0.0129	0.0075	0.1179	0.0749	0.0003	0.1619
SD	0.05558	0.00025	0.00523	0.00615	0.00520	0.00013	0.02238
SD%	0.04	1.94	45.20	5.22	6.94	67.50	13.63

	Cr	V	Mn	Mo	W	P	Cu
1	0.0524	0.0010	0.4230	0.0038	0.0005	0.0178	0.1742
2	0.0567	0.0010	0.3590	0.0104	0.0001	0.0164	0.1364
AVG	0.0545	0.0010	0.3910	0.0096	0.0003	0.0171	0.1807
SD	0.00304	0.00001	0.04524	0.00111	0.00031	0.00057	0.00313
SD%	5.57	1.20	11.57	11.52	97.88	5.70	4.50

	Ti	H	B	Pb	Sb	Ca	Mg
1	0.0025	0.0177	0.0002	0.0008	0.0015	0.0001	0.0001
2	0.0035	0.0152	0.0002	0.0013	0.0013	0.0025	0.0001
AVG	0.0060	0.0165	0.0002	0.0010	0.0016	0.0013	0.0001
SD	0.00496	0.00181	0.00002	0.00033	0.00021	0.00171	0.00000
SD%	82.14	11.02	11.20	37.06	12.70	131.23	0.00

	Zn	Co
1	0.0006	0.0067
2	0.0007	0.0068
AVG	0.0006	0.0067
SD	0.00006	0.00009
SD%	8.73	1.30

INDONESIA OFFICE & FACTORY : Jl. KH. Hasyim As'ari By Pass Selatan Klaten, Gumulan, Klaten Tengah, Klaten 57417 Jawa Tengah - Indonesia Phone : 0272 - 324208, 324038, Fax. 0272 - 324213 JAPAN OFFICE : 3-22-2 Motogo, Kawaguchi City, Saitama, Japan Phone : 81 482 248 401, Fax : 81 482 242070
--

 Dipindai dengan CamScanner



PT. ITOKOH CEPERINDO
Stainless Steel & Alloy Steel Casting



COMPANY : PT. ITOKOH CEPERINDO
SAMPLE NAME : 23400 (RAW MATERIAL)
CUSTOMER : Sdr. ISAL DAN REZA
FURNACE : CI0901B01/53
OPERATOR : FIYAN
DATE / TIME : 03-SEP-2024 15:10:41
TASK : Conc_Fei METHOD : FEGLFE



	Fe	S	Al	C	Ni	Nb	Si
1	98.9515	0.0126	0.0228	0.1701	0.0835	-0.0001	0.1273
2	98.9546	0.0131	0.0231	0.1202	0.0833	0.0001	0.1279
AVG	98.9431	0.0129	0.0229	0.1452	0.0861	0.0000	0.1278
SD	0.01631	0.00034	0.00021	0.03513	0.00371	0.00013	0.00009
SD%	0.02	2.62	0.93	24.23	4.31	461.53	0.07

	Cr	V	Mn	Mo	W	P	Cu
1	0.0615	0.0007	0.3250	0.0112	0.0001	0.0151	0.1900
2	0.0631	0.0007	0.3283	0.0125	0.0001	0.0154	0.1952
AVG	0.0648	0.0007	0.3369	0.0119	0.0001	0.0152	0.1926
SD	0.00470	0.00003	0.00267	0.00092	0.00000	0.00019	0.00367
SD%	7.25	4.49	0.79	7.75	0.00	1.27	1.91

	Ti	N	B	Pb	Sb	Ca	Mg
1	0.0013	0.0088	0.0002	0.0007	0.0012	0.0320	0.0001
2	0.0013	0.0101	0.0001	0.0003	0.0013	0.0012	0.0001
AVG	0.0013	0.0095	0.0002	0.0008	0.0015	0.0316	0.0001
SD	0.00003	0.00037	0.00001	0.00014	0.00041	0.00043	0.00000
SD%	2.20	9.21	8.36	17.24	26.70	27.55	0.00

	Zn	Co
1	0.0009	0.0065
2	0.0009	0.0063
AVG	0.0009	0.0067
SD	0.00002	0.00013
SD%	1.91	2.65

INDONESIA OFFICE & FACTORY : Jl. KH. Hasyim As'ari By Pass Selatan Klaten, Gumulan, Klaten Tengah, Klaten 57417
Jawa Tengah - Indonesia
Phone : 0272 - 324208, 324038, Fax. 0272 - 324213
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 BENDING

No.	Variasi Spesimen	Tebal	Lebar	Pmax	Defleksi	Tegangan
		(mm)	(mm)	(KN)	(mm)	Bending (MPa)
1	900°C_1	3.56	19.85	0.68	13.06	121.64
2	900°C_2	4.10	19.82	2.10	22.14	283.64
3	900°C_3	4.10	19.71	2.44	26.51	331.40
4	1000°C_1	2.67	19.00	1.38	23.05	458.47
5	1000°C_2	2.67	18.84	1.52	24.88	509.28
6	1000°C_3	3.48	18.93	1.28	28.36	251.25
7	1100°C_1	3.22	19.08	0.62	8.27	141.03
8	1100°C_2	3.31	19.48	1.36	28.53	286.75
9	1100°C_3	2.81	18.66	0.90	27.34	274.87

Keterangan:

1. Pengujian dilakukan tanggal 17 Oktober 2024
2. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine
3. Standar spesimen menggunakan JIS Z 2204

Identitas Penguji :

Nama : Isal Alvianto dan Reza Arief Sidiq
NIM : 20525095 dan 20525132
Institusi : Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 17 Oktober 2024
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



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	900°C_1	3.70	12.53	6.21	1.61	133.95	3.22
2	900°C_2	3.77	12.50	12.14	0.99	257.61	1.98
3	900°C_3	3.81	12.47	4.50	1.65	94.72	3.30
4	1000°C_1	2.60	11.60	1.54	0.66	51.06	1.32
5	1000°C_2	2.91	11.07	4.91	0.73	152.42	1.46
6	1000°C_3	2.70	11.54	10.60	2.68	340.20	5.36
7	1100°C_1	2.96	10.84	7.96	3.38	248.08	6.76
8	1100°C_2	2.84	11.84	1.30	1.57	38.66	3.14
9	1100°C_3	2.99	11.58	6.93	2.40	200.15	4.80

Keterangan:

1. Pengujian dilakukan tanggal 17 Oktober 2024
2. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine
3. Standar spesimen menggunakan JIS Z 2201

Identitas Penguji :

Nama : Isal Alvianto dan Reza Arief Sidiq
NIM : 20525095 dan 20525132
Institusi : Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 17 Oktober 2024
Staf Laboratorium Bahan Teknik

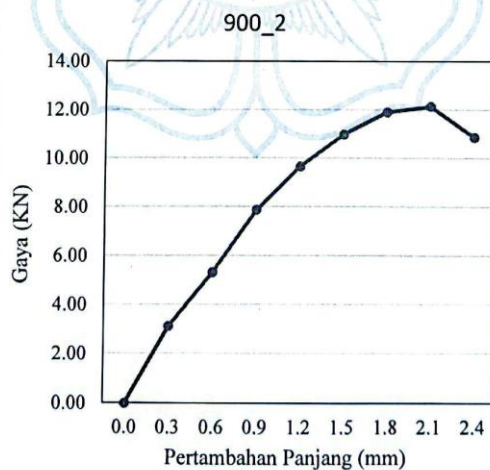
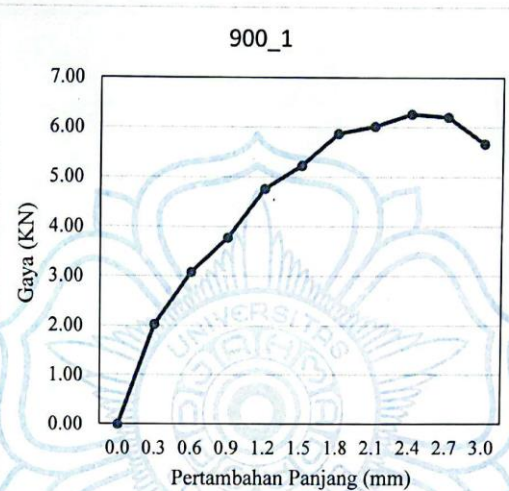
Pengujian & Analisis Material
Lilik Dwi Setyana, S.T., M.T.
NIP. 197703312002121002

Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281



LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

Grafik Gaya vs Pertambahan Panjang



Lembar asli, tidak untuk digandakan

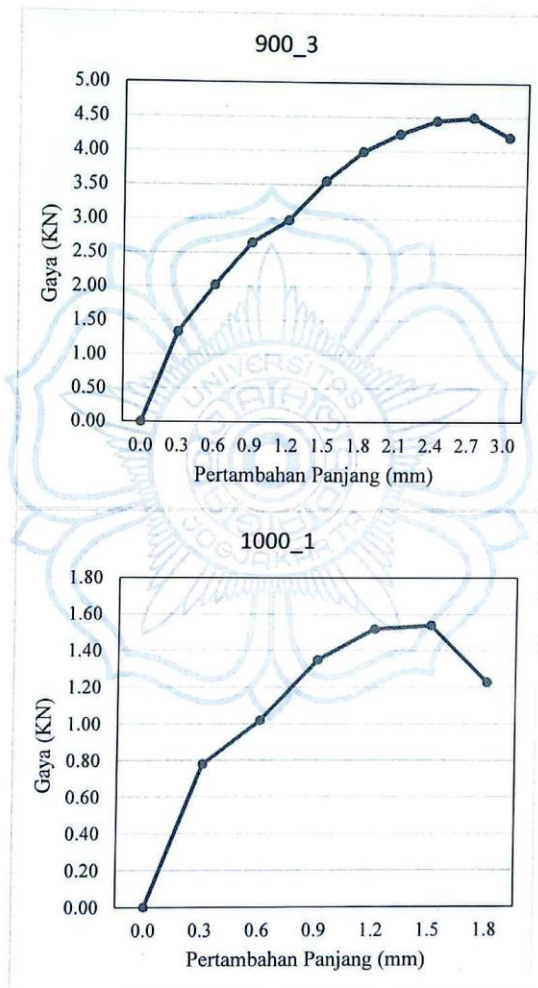
Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281





LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

Lembar asli, tidak untuk digandakan



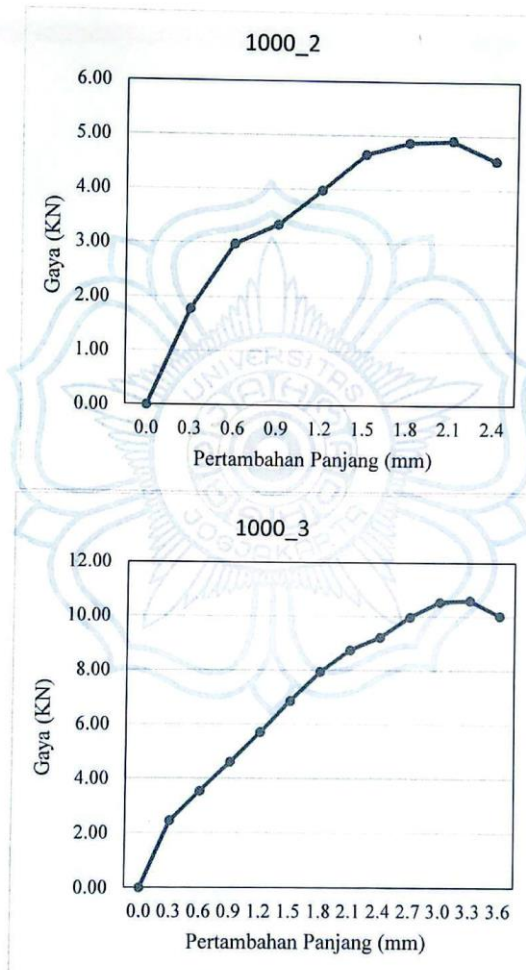
Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281





LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

Lembar asli, tidak untuk digandakan



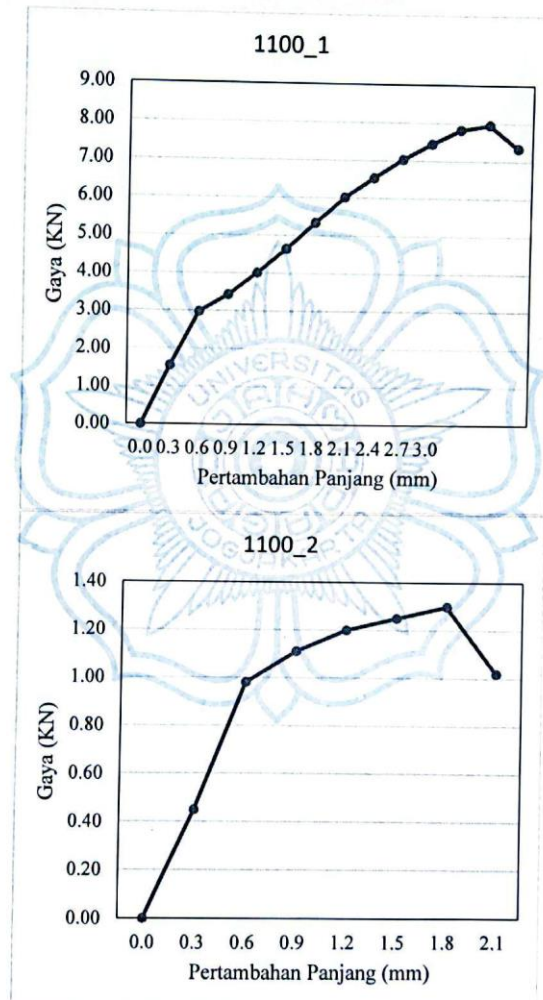
Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281





LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

Lembar asli, tidak untuk digandakan

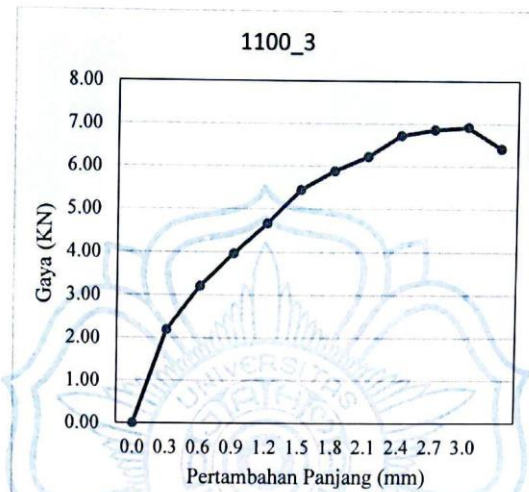


Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281





LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA



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	900°C_1	151	300	146.0	7.3	26.4	0.276
2	900°C_2	151	300	134.0	28.8	27.6	1.045
3	900°C_3	151	300	148.0	4.3	24.9	0.171
4	1000°C_1	151	300	147.0	5.8	26.2	0.220
5	1000°C_2	151	300	136.0	24.8	18.6	1.336
6	1000°C_3	151	300	131.0	35.0	24.5	1.425
7	1100°C_1	151	300	148.0	4.3	25.0	0.170
8	1100°C_2	151	300	147.0	5.8	19.1	0.300
9	1100°C_3	151	300	146.0	7.3	17.2	0.425

Keterangan :

1. Pengujian dilakukan tanggal 17 Oktober 2024
2. Standar Spesimen menggunakan JIS Z 2202
3. Panjang lengan 0,8 meter
4. Berat palu 20 kilogram

Identitas Penguji :

Nama : Isal Alvianto dan Reza Arief Sidiq
NIM : 20525095 dan 20525132
Institusi : Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 17 Oktober 2024

Staf Laboratorium Bahan Teknik

Pengujian & Analisa
Materi

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

Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281

0,580	-0,232	0,498	0,654	0,788	1,175	1,134	1,554	1,779	1,000
-0,321	-0,117	0,011	0,035	0,061	0,084	0,105	0,129	0,141	1,000
-0,581	-0,360	-0,082	0,08	0,138	0,150	0,180	0,100	1,113	1,000
-0,891	-0,595	-0,136	0,17	0,101	0,124	0,133	0,062	0,87	1,000
-1,19	-0,861	-0,67	0,145	0,21	0,100	0,115	0,091	0,63	1,000
-1,441	-1,155	-0,968	-0,702	0,143	0,124	0,107	0,022	0,46	1,000
-1,681	-1,345	-1,165	-0,905	0,161	0,111	0,158	0,095	0,133	1,000
-1,841	-1,551	-1,335	-1,08	0,182	0,11	0,156	0,127	0,116	1,000
-1,971	-1,651	-1,395	-1,13	0,192	0,166	0,137	0,160	0,113	1,000
-2,03	-1,681	-1,43	0,118	0,192	0,167	0,141	0,118	0,08	1,000
-2,05	-1,70	-1,45	0,122	0,194	0,170	0,144	0,119	0,09	1,000
-2,07	-1,70	-1,48	0,122	0,196	0,169	0,143	0,121	0,07	1,000
-1,981	-1,70	-1,45	0,123	0,197	0,168	0,143	0,119	0,07	1,000
-1,981	-1,66	-1,41	0,118	0,190	0,168	0,141	0,117	0,110	1,000
-1,921	-1,60	-1,37	0,113	0,187	0,161	0,133	0,112	0,155	1,000
-1,811	-1,54	-1,30	0,11	0,183	0,155	0,132	0,108	0,191	1,000
-1,731	-1,51	-1,28	0,101	0,176	0,152	0,125	0,103	0,240	1,000
-1,711	-1,53	-1,165	0,109	0,165	0,137	0,112	0,097	0,370	1,000
-1,611	-1,401	-1,121	0,108	0,156	0,127	0,104	0,079	0,350	1,000
-1,571	-1,37	-1,01	0,107	0,149	0,115	0,104	0,023	0,500	1,000
-1,431	-1,160	-0,82	0,101	0,130	0,111	0,112	0,036	0,620	1,000
-1,320	-0,97	-0,72	0,107	0,122	0,113	0,134	0,061	0,830	1,000
-1,240	-0,86	-0,61	0,103	0,111	0,121	0,148	0,073	0,910	1,000
-1,20	-0,74	-0,47	0,102	0,104	0,123	0,156	0,081	1,110	1,000
-1,14	-0,67	-0,29	0,105	0,116	0,131	0,162	0,088	1,210	1,000

169,35

☐	1,54	1,36	1,21	1,18	1,01	0,84	0,64	0,31	0,14
☐	1,31	1,21	1,11	1,02	0,87	0,67	0,50	0,27	0,08
☐	1,09	1,06	1,00	0,97	0,76	0,51	0,31	0,11	0,01
☐	0,88	0,83	0,74	0,71	0,60	0,39	0,29	0,08	-0,11
☐	0,76	0,71	0,68	0,63	0,54	0,27	0,11	-0,07	-0,17
☐	0,43	0,41	0,40	0,40	0,31	0,11	0,06	-0,11	-0,21
☐	0,21	0,20	0,15	0,18	0,13	0,07	-0,13	-0,32	-0,40
☐	0,18	0,18	0,17	0,17	0,01	-0,17	-0,21	-0,41	-0,54
☐	0,17	0,14	0	-0,07	-0,18	-0,37	-0,43	-0,62	-0,89
☐	0,11	0,07	-0,05	-0,13	-0,29	-0,49	-0,59	-0,87	-1,31
☐	0,00	-0,21	-0,31	-0,47	-0,59	-0,77	-0,80	-1,33	-1,60
☐	0,09	-0,14	-0,54	-0,79	-0,81	-0,88	-0,99	-1,54	-1,60
☐	0,13	-0,21	-0,77	-0,89	-0,90	-0,90	-0,99	-1,58	-1,58
☐	0,16	-0,16	-0,54	-0,78	-0,83	-0,87	-0,97	-1,47	-1,50
☐	0,20	-0,11	-0,40	-0,67	-0,68	-0,77	-0,87	-1,28	-1,31
☐	0,29	0,11	-0,31	-0,41	-0,54	-0,61	-0,76	-1,24	-1,27
☐	0,31	0,34	-0,11	-0,32	-0,52	-0,61	-0,73	-1,11	-1,18
☐	0,83	0,54	-0,11	-0,24	-0,43	-0,51	-0,64	-1,07	-1,15
☐	0,10	0,78	-0,08	-0,17	-0,21	-0,41	-0,54	-0,93	-1,01
☐	1,62	0,86	0,10	-0,10	-0,11	-0,37	-0,50	-0,76	-1,01
☐	1,09	0,91	0,22	0	-0,01	-0,31	-0,41	-0,61	-0,98
☐	1,13	0,97	0,42	0,11	0,04	-0,25	-0,39	-0,55	-0,91
☐	1,29	1,11	0,64	0,23	0,11	-0,17	-0,20	-0,41	-0,93
☐	1,36	0,71	0,30	0,18	-0,14	-0,18	-0,41	-0,87	
☐	1,40	1,01	0,87	0,47	0,26	0,07	-0,09	-0,34	-0,81

☐	0	0,11	0,39	0,54	0,88	1,01	1,24	1,50	1,61
☐	-0,42	-0,27	0,11	0,33	0,64	0,88	1,03	1,31	1,45
☐	-0,51	-0,36	-0,10	0,06	0,47	0,56	0,84	1,20	1,20
☐	-0,78	-0,49	-0,38	-0,12	0,21	0,41	0,66	1,14	1,27
☐	-0,97	-0,78	-0,56	-0,34	0,01	0,21	0,53	0,87	1,03
☐	-1,34	-1,01	-0,88	-0,67	-0,25	-0,02	0,21	0,34	0,72
☐	-1,68	-1,24	-0,97	-0,74	-0,55	-0,16	0,03	0,11	0,40
☐	-1,74	-1,56	-1,23	-0,88	-0,64	-0,31	-0,15	-0,01	0,19
☐	-1,87	-1,71	-1,47	-0,97	-0,79	-0,48	-0,29	-0,17	-0,03
☐	-1,93	-1,83	-1,67	-1,23	-0,84	-0,59	-0,47	-0,31	-0,12
☐	-2,01	-1,91	-1,85	-1,44	-1,03	-0,81	-0,77	-0,53	-0,36
☐	-2,03	-1,91	-1,87	-1,53	-1,31	-0,89	-0,82	-0,72	-0,55
☐	-2,00	-1,87	-1,79	-1,48	-1,28	-1,17	-0,97	-0,71	-0,54
☐	-1,94	-1,76	-1,57	-1,47	-1,27	-1,16	-0,95	-0,71	-0,49
☐	-1,94	-1,74	-1,55	-1,39	-1,11	-1,05	-0,84	-0,68	-0,44
☐	-1,86	-1,54	-1,34	-1,26	-1,10	-1,03	-0,81	-0,52	-0,21
☐	-1,74	-1,51	-1,31	-1,26	-1,10	-0,87	-0,68	-0,41	-0,20
☐	-1,69	-1,52	-1,29	-1,11	-1,07	-0,86	-0,61	-0,30	-0,11
☐	-1,65	-1,36	-1,26	-1,13	-1,08	-0,64	-0,44	-0,27	-0,14
☐	-1,58	-1,29	-1,01	-0,84	-0,76	-0,42	-0,22	-0,04	0,07
☐	-1,49	-1,25	-1,01	-0,86	-0,56	-0,24	-0,05	0,05	0,29
☐	-1,43	-1,01	-0,83	-0,57	-0,34	-0,10	0,08	0,23	0,41
☐	-1,38	-0,81	-0,60	-0,41	-0,21	-0,01	0,14	0,36	0,68
☐	-1,22	-0,62	-0,59	-0,31	-0,06	0,14	0,25	0,49	0,84
☐	-1,22	-0,78	-0,55	-0,28	-0,05	0,16	0,29	0,58	0,94

CS Dipindai dengan CamScanner

0	0,22	0,43	0,49	0,61	-0,11	0,84	0,86	1,00	1,09
-0,02	0,12	0,29	0,48	0,56	-0,25	0,71	0,89	0,98	1,05
-0,18	0,02	0,18	0,37	0,50	-0,32	0,67	0,78	0,89	0,89
-0,26	-0,03	0,12	0,31	0,39	-0,39	0,61	0,71	0,78	0,82
-0,32	-0,13	0,09	0,23	0,30	-0,50	0,56	0,62	0,72	0,72
-0,40	-0,25	-0,03	0,11	0,21	-0,57	0,35	0,53	0,63	0,68
-0,50	-0,33	-0,17	-0,03	0,11	-0,56	0,23	0,36	0,50	0,59
-0,66	-0,46	-0,31	-0,13	0,02	-0,82	0,19	0,30	0,42	0,52
-0,75	-0,54	-0,38	-0,18	-0,02	-0,82	0,19	0,29	0,41	0,53
-0,77	-0,56	-0,40	-0,21	-0,05	-0,86	0,15	0,30	0,41	0,54
-0,80	-0,59	-0,42	-0,23	-0,07	-0,86	0,01	0,29	0,42	0,56
-0,85	-0,65	-0,46	-0,27	-0,12	-0,85	0,07	0,25	0,40	0,52
-0,88	-0,67	-0,49	-0,29	-0,12	-0,85	0,09	0,24	0,40	0,55
-0,90	-0,68	-0,49	-0,29	-0,11	-0,85	0,06	0,25	0,41	0,55
-0,87	-0,65	-0,47	-0,27	-0,09	-0,80	0,12	0,28	0,46	0,59
-0,82	-0,62	-0,45	-0,23	-0,03	-0,84	0,15	0,34	0,52	0,68
-0,77	-0,59	-0,39	-0,19	0	-0,78	0,21	0,40	0,60	0,77
-0,69	-0,50	-0,35	-0,13	0,03	-0,72	0,27	0,47	0,68	0,88
-0,61	-0,41	-0,30	-0,13	0,07	-0,67	0,30	0,48	0,73	0,89
-0,56	-0,41	-0,15	0	0,17	-0,57	0,43	0,59	0,76	0,83
-0,53	-0,35	-0,12	0	0,22	-0,52	0,45	0,64	0,82	0,99
-0,47	-0,32	-0,10	0,06	0,31	-0,48	0,52	0,69	0,91	1,17
-0,37	-0,25	-0,01	0,11	0,39	-0,44	0,65	0,80	1,01	1,29
-0,25	-0,15	-0,03	0,22	0,49	-0,26	0,69	0,85	1,06	1,30
-0,22	-0,02	0,15	0,23	0,45	-0,20	0,69	0,84	1,12	1,30

	0,96	0,90	0,87	0,79	0,65	0,56	0,45	0,32	0,13
	0,89	0,84	0,78	0,75	0,59	0,55	0,38	0,28	0,05
	0,89	0,85	0,76	0,66	0,55	0,52	0,32	0,19	0,05
	0,83	0,86	0,70	0,55	0,50	0,38	0,24	0,15	-0,11
	0,63	0,61	0,55	0,46	0,39	0,21	0,11	+0,02	-0,20
	0,63	0,60	0,49	0,41	0,35	0,17	0,03	-0,16	-0,27
	0,63	0,54	0,45	0,36	0,27	0,10	-0,04	-0,22	-0,25
	0,59	0,39	0,33	0,23	0,14	0,02	-0,15	-0,32	-0,40
	0,51	0,35	0,25	0,17	0,06	-0,11	-0,21	-0,46	-0,58
	0,44	0,33	0,25	0,15	0,02	-0,14	-0,25	-0,46	-0,62
	0,55	0,34	0,23	0,05	-0,09	-0,17	-0,36	-0,50	-0,68
	0,47	0,33	0,20	0,05	-0,11	-0,25	-0,40	-0,55	-0,71
	0,46	0,32	0,20	0,04	-0,12	-0,28	-0,45	-0,61	-0,80
	0,46	0,32	0,20	0,01	-0,13	-0,32	-0,49	-0,65	-0,84
	0,46	0,33	0,19	0,01	-0,14	-0,32	-0,49	-0,66	-0,84
	0,50	0,34	0,24	-0,03	-0,14	-0,33	-0,50	-0,65	-0,86
	0,54	0,40	0,24	-0,05	-0,11	-0,30	-0,49	-0,66	-0,86
	0,61	0,45	0,28	-0,10	-0,08	-0,28	-0,44	-0,64	-0,85
	0,68	0,52	0,32	-0,13	-0,07	-0,23	-0,41	-0,60	-0,80
	0,66	0,52	0,39	-0,18	-0,03	-0,20	-0,40	-0,57	-0,77
	0,72	0,55	0,38	-0,20	-0,01	-0,20	-0,38	-0,59	-0,77
45,05	0,76	0,55	0,40	-0,21	0,03	-0,17	-0,36	-0,53	-0,73
	0,82	0,62	0,42	-0,20	0,05	-0,06	-0,28	-0,43	-0,61
	0,98	0,78	0,58	-0,33	0,16	0,00	-0,15	-0,32	-0,51
	1,01	0,86	0,66	-0,55	0,26	0,11	-0,07	-0,27	-0,45

CS Dipindai dengan CamScanner

```

1  ///Z-initialisation
2
3  Z=[0.00---0.25---0.49---0.64---0.88---1.15---1.34---1.54---1.74---1.76
4  -0.32---0.17---0.19---0.35---0.61---0.84---1.05---1.29---1.41---1.49
5  -0.58---0.36---0.08---0.08---0.38---0.50---0.80---1.00---1.13---1.21
6  -0.89---0.59---0.36---0.17---0.01---0.24---0.33---0.62---0.87---1.01
7  -1.19---0.86---0.67---0.45---0.21---0.00---0.15---0.41---0.63---1.00
8  -1.44---1.15---0.96---0.70---0.43---0.24---0.07---0.22---0.46---0.88
9  -1.68---1.34---1.16---0.90---0.61---0.41---0.15---0.04---0.33---0.64
10 -1.84---1.51---1.33---1.08---0.82---0.56---0.27---0.09---0.16---0.55
11 -1.97---1.63---1.39---1.13---0.92---0.66---0.37---0.16---0.13---0.42
12 -2.03---1.68---1.43---1.18---0.92---0.67---0.41---0.18---0.08---0.39
13 -2.05---1.70---1.45---1.22---0.94---0.70---0.44---0.19---0.09---0.40
14 -2.07---1.70---1.48---1.22---0.96---0.69---0.43---0.21---0.07---0.37
15 -1.98---1.70---1.45---1.23---0.97---0.68---0.43---0.19---0.07---0.37
16 -1.98---1.66---1.41---1.18---0.90---0.63---0.41---0.17---0.10---0.41
17 -1.92---1.60---1.37---1.13---0.87---0.62---0.33---0.12---0.15---0.46
18 -1.81---1.54---1.30---1.11---0.83---0.55---0.32---0.08---0.17---0.48
19 -1.73---1.51---1.25---1.01---0.76---0.52---0.25---0.03---0.24---0.53
20 -1.71---1.53---1.16---0.94---0.65---0.37---0.12---0.07---0.31---0.59
21 -1.61---1.40---1.12---0.86---0.56---0.27---0.04---0.19---0.35---0.64
22 -1.57---1.27---1.01---0.77---0.44---0.15---0.04---0.23---0.50---0.73
23 -1.43---1.16---0.82---0.61---0.30---0.11---0.12---0.36---0.62---0.99
24 -1.32---0.97---0.72---0.47---0.22---0.13---0.34---0.61---0.83---1.00
25 -1.24---0.86---0.61---0.39---0.11---0.21---0.48---0.73---0.91---1.09
26 -1.20---0.76---0.47---0.26---0.04---0.23---0.56---0.81---1.11---1.16
27 -1.14---0.67---0.29---0.05---0.16---0.31---0.62---0.88---1.21---1.30
28 ];
29
30 clf
31 surf(Z);
32 gcf().color_map=jet(100);
33 gcf().axes_size=[850 400];
34

```

```

1  //-Z-initialisation
2
3  Z= [0.97...-0.76...0.45...-0.24...-0.06...-0.21...-0.38...-0.58...-0.82
4  0.71...-0.44...-0.30...-0.02...-0.20...-0.40...-0.63...-0.81...-1.00
5  0.31...-0.11...-0.04...-0.27...-0.47...-0.66...-0.89...-1.05...-1.24
6  0.03...-0.15...-0.30...-0.33...-0.65...-0.85...-1.03...-1.21...-1.43
7  -0.23...-0.34...-0.50...-0.67...-0.74...-1.04...-1.21...-1.40...-1.60...
8  -0.48...-0.55...-0.72...-0.83...-1.00...-1.15...-1.33...-1.54...-1.70
9  -0.64...-0.70...-0.86...-0.97...-1.11...-1.27...-1.42...-1.62...-1.78
10 -0.75...-0.85...-0.99...-1.06...-1.22...-1.40...-1.52...-1.71...-1.87
11 -0.86...-0.97...-1.08...-1.17...-1.31...-1.47...-1.62...-1.78...-1.94
12 -0.91...-1.03...-1.14...-1.26...-1.39...-1.53...-1.69...-1.84...-1.99
13 -0.94...-1.05...-1.17...-1.31...-1.43...-1.57...-1.72...-1.87...-2.02
14 -0.94...-1.04...-1.17...-1.31...-1.44...-1.58...-1.73...-1.87...-2.05
15 -0.89...-1.00...-1.11...-1.25...-1.39...-1.53...-1.68...-1.82...-1.99
16 -0.82...-0.93...-1.07...-1.20...-1.32...-1.45...-1.61...-1.74...-1.90
17 -0.77...-0.88...-1.02...-1.14...-1.28...-1.39...-1.53...-1.69...-1.82
18 -0.67...-0.81...-0.97...-1.05...-1.16...-1.28...-1.44...-1.55...-1.74
19 -0.61...-0.73...-0.86...-0.99...-1.11...-1.22...-1.37...-1.49...-1.61
20 -0.56...-0.67...-0.80...-0.90...-1.02...-1.15...-1.26...-1.35...-1.49
21 -0.44...-0.51...-0.64...-0.79...-0.90...-0.99...-1.15...-1.24...-1.32
22 -0.32...-0.36...-0.50...-0.59...-0.71...-0.83...-0.95...-1.05...-1.13
23 -0.17...-0.23...-0.34...-0.43...-0.52...-0.65...-0.81...-0.90...-0.94
24 0.07...-0.08...-0.17...-0.25...-0.30...-0.46...-0.57...-0.66...-0.78
25 0.25...-0.13...-0.01...-0.07...-0.17...-0.30...-0.45...-0.59...-0.74
26 0.44...-0.32...-0.15...-0.11...-0.01...-0.15...-0.34...-0.36...-0.58
27 0.52...-0.49...-0.32...-0.23...-0.16...-0.04...-0.13...-0.24...-0.44
28 ];
29
30 clf
31 surf(Z);
32 gcf().color_map = jet(100);
33 gcf().axes_size = [850 400];
34

```

```

1  //-Z-initialisation
2
3  Z= [0.00---0.22---0.43---0.49---0.61---0.84---0.86---1.00---1.09
4  -0.02---0.12---0.29---0.48---0.56---0.71---0.89---0.98---1.05
5  -0.18---0.02---0.18---0.37---0.50---0.67---0.78---0.89---0.89
6  -0.26---0.03---0.12---0.31---0.39---0.61---0.71---0.78---0.82
7  -0.32---0.13---0.09---0.23---0.30---0.56---0.62---0.72---0.72---
8  -0.40---0.25---0.03---0.11---0.21---0.35---0.53---0.63---0.68
9  -0.50---0.33---0.17---0.03---0.11---0.23---0.36---0.50---0.59
10 -0.66---0.46---0.31---0.13---0.02---0.19---0.30---0.42---0.52
11 -0.75---0.54---0.38---0.18---0.02---0.19---0.29---0.41---0.53
12 -0.77---0.56---0.40---0.21---0.05---0.15---0.30---0.41---0.54
13 -0.80---0.59---0.42---0.23---0.07---0.01---0.29---0.42---0.56
14 -0.85---0.65---0.46---0.27---0.12---0.07---0.25---0.40---0.52
15 -0.88---0.67---0.49---0.29---0.12---0.04---0.24---0.40---0.55
16 -0.90---0.68---0.49---0.29---0.11---0.06---0.25---0.41---0.55
17 -0.87---0.65---0.47---0.27---0.09---0.12---0.28---0.46---0.59
18 -0.82---0.62---0.45---0.23---0.03---0.15---0.34---0.52---0.68
19 -0.77---0.59---0.39---0.19---0.00---0.21---0.40---0.60---0.77
20 -0.69---0.50---0.35---0.13---0.03---0.27---0.47---0.68---0.88
21 -0.61---0.41---0.30---0.13---0.07---0.30---0.48---0.73---0.89
22 -0.56---0.41---0.15---0.00---0.17---0.43---0.59---0.76---0.93
23 -0.53---0.35---0.12---0.00---0.22---0.45---0.64---0.82---0.99
24 -0.47---0.32---0.10---0.06---0.31---0.52---0.69---0.91---1.17
25 -0.37---0.25---0.01---0.11---0.39---0.65---0.80---1.01---1.29
26 -0.25---0.15---0.03---0.22---0.49---0.69---0.85---1.06---1.30
27 -0.22---0.02---0.15---0.23---0.49---0.69---0.84---1.12---1.30
28 ];
29
30 clf
31 surf(Z);
32 gcf().color_map = jet(100);
33 gcf().axes_size = [850 400];
34

```

Report

Sample Name	PWHT 900	Sample Sn	S 701
Min Value	0	Max Value	1000
Inspection Company	Ull	Inspection Date	2024/11/14
Tester	Lab Mesin	Reviewer	Kalab
Force	0.2kgf	Load Time (s)	10

Statistical data							
NO	MAX	MIN	AVE	VAR	STD	Cp	Cpk
9	207,90	170,60	184,91	135,36	11,63	14,33	5,30

Detailed data								
#	D1(um)	D2(um)	Davg(um)	Hardness type	Hardness value	Corvet type	Corvet value	Qualified
1	147,23	147,67	147,45	HV0.2	170,6	HV	170,6	YES
2	143,65	148,57	146,11	HV0.2	173,7	HV	173,7	YES
3	145,44	146,33	145,88	HV0.2	174,3	HV	174,3	YES
4	137,83	145,44	141,63	HV0.2	184,9	HV	184,9	YES
5	142,30	144,54	143,42	HV0.2	180,3	HV	180,3	YES
6	146,78	138,72	142,75	HV0.2	182,0	HV	182,0	YES
7	134,25	132,91	133,58	HV0.2	207,9	HV	207,9	YES
8	132,91	141,86	137,38	HV0.2	196,5	HV	196,5	YES
9	136,93	139,62	138,28	HV0.2	194,0	HV	194,0	YES

Report

Sample Name	PWHT 1000	Sample Sn	S 701
Min Value	0	Max Value	1000
Inspection Company	UII	Inspection Date	2024/11/14
Tester	Lab Mesin	Reviewer	Kalab
Force	0.2kgf	Load Time (s)	10

Statistical data							
NO	MAX	MIN	AVE	VAR	STD	Cp	Cpk
9	213,50	190,30	197,82	77,08	8,78	18,98	7,51

Detailed data								
#	D1(um)	D2(um)	Davg(um)	Hardness type	Hardness value	Corvet type	Corvet value	Qualified
1	138,72	140,07	139,39	HV0.2	190,9	HV	190,9	YES
2	137,38	141,86	139,62	HV0.2	190,3	HV	190,3	YES
3	141,86	137,38	139,62	HV0.2	190,3	HV	190,3	YES
4	127,54	136,04	131,79	HV0.2	213,5	HV	213,5	YES
5	133,35	134,70	134,02	HV0.2	206,5	HV	206,5	YES
6	131,56	134,70	133,13	HV0.2	209,3	HV	209,3	YES
7	140,07	136,93	138,50	HV0.2	193,4	HV	193,4	YES
8	142,30	132,91	137,60	HV0.2	195,9	HV	195,9	YES
9	137,83	141,41	139,62	HV0.2	190,3	HV	190,3	YES

Report

Sample Name	PWHT 1100	Sample Sn	S 701
Min Value	0	Max Value	1000
Inspection Company	UII	Inspection Date	2024/11/14
Tester	Lab ~~Mesin~~	Reviewer	Kalab
Force	0.2kgf	Load Time (s)	10

Statistical data							
NO	MAX	MIN	AVE	VAR	STD	Cp	~~Cpk~~
9	207,90	172,70	193,92	138,76	11,78	14,15	5,49

Detailed data								
#	D1(um)	D2(um)	~~Davg~~ (um)	Hardness type	Hardness value	~~Convet~~ type	~~Convet~~ value	Qualified
1	138,28	136,93	137,60	HV0.2	195,9	HV	195,9	YES
2	135,59	138,72	137,16	HV0.2	197,2	HV	197,2	YES
3	136,04	131,12	133,58	HV0.2	207,9	HV	207,9	YES
4	137,83	133,80	135,81	HV0.2	201,1	HV	201,1	YES
5	134,25	136,04	135,14	HV0.2	203,1	HV	203,1	YES
6	135,14	133,80	134,47	HV0.2	205,1	HV	205,1	YES
7	142,75	144,09	143,42	HV0.2	180,3	HV	180,3	YES
8	144,09	149,02	146,55	HV0.2	172,7	HV	172,7	YES
9	138,72	146,78	142,75	HV0.2	182,0	HV	182,0	YES