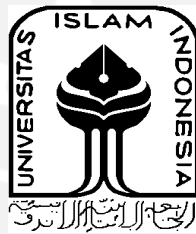


**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR *ANNEALING*
TERHADAP SIFAT FISIK DAN MEKANIK PADA
SAMBUNGAN LAS SMAW BAJA AISI 1006**

TUGAS AKHIR

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



Disusun Oleh :

Nama : Fathurrahman Abdullah

No. Mahasiswa : 17525068

NIRM : 2017040594

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

2022

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR *ANNEALING*
TERHADAP SIFAT FISIK DAN MEKANIK PADA
SAMBUNGAN LAS SMAW BAJA AISI 1006**

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Fathurrahman Abdullah

No. Mahasiswa : 17525068

NIRM : 2017040594

Yogyakarta, 17 Mei 2022

Pembimbing I,

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

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR *ANNEALING*
TERHADAP SIFAT FISIK DAN MEKANIK PADA
SAMBUNGAN LAS SMAW BAJA AISI 1006**

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Fathurrahman Abdullah

No. Mahasiswa : 17525068

NIRM : 2017040594

Tim Penguji

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

Ketua

Tanggal : _____

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

Anggota I

Tanggal : _____

Muhammad Ridlwan, S. T., M. T.

Anggota II

Tanggal : 6 Juni 2022

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin

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

Lembar Pernyataan Orisinalitas

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : FATHURRAHMAN ABDULLAH

NIM : 17525068

Program Studi : TEKNIK MESIN

Menyatakan bahwa skripsi saya berjudul **“PENGARUH VARIASI TEMPERATUR *ANNEALING* TERHADAP SIFAT FISIK DAN MEKANIK SAMBUNGAN LAS SMAW BAJA AISI 1006”** ini benar – benar merupakan hasil karya saya sendiri. Selain itu sumber informasinya yang dikutip penulis lain telah disebutkan dala naskah dan dicantumkan dalam daftar pustaka.

Apabila pada kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, saya akan menerima sanksi atas perbuatan saya.

Yogyakarta, 14 Juni 2022

Yang membuat pernyataan



Fathurrahman Abdullah

NIM 17525068

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR *ANNEALING*
TERHADAP SIFAT FISIK DAN MEKANIK PADA
SAMBUNGAN LAS SMAW BAJA AISI 1006**

TUGAS AKHIR


Disusun Oleh :

Nama : Fathurrahman Abdullah
No. Mahasiswa : 17525068
NIRM : 2017040594

Tim Penguji

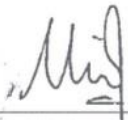
Yustiasih Purwaningrum, S. T., M. T.

Ketua


Tanggal : 8 Juni 2022

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

Anggota I


Tanggal : 7 Juni 2022

Muhammad Ridlwan, S. T., M. T.


Anggota II


Tanggal : 06/06/2022

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin




Dr. Eng. H. Sidiyono, S. T., M. Eng., IPM

HALAMAN PERSEMBAHAN

Laporan tugas akhir ini saya persembahkan untuk orangtua saya, bapak Waldiman dan ibu Aan kurnia, S.Pd AUD yang selalu mendukung dan juga mendoakan saya dalam segala hal. Saya sangat berterimakasih kepada kedua orangtua saya sehingga saya dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini dengan kemampuan saya dan dengan hasil yang sebaik – baiknya.

Adik – adik saya yang selalu memberi semangat dan menemani saya saat melaksanakan penelitian dan penulisan laporan sehingga dapat menyelesaikannya dengan baik.

Dosen pembimbing saya yaitu ibu Yustiasih Purwaningrum, S.T., M.T. yang telah memberikan segala nasihat dan bimbingan kepada saya dalam mengerjakan Laporan Tugas Akhir ini sehingga saya dapat menyelesaikannya dengan baik.

Teman – teman dan staff yang dengan ikhlas membantu dan memberikan dukungan semangat tanpa pamrih, penulis sangat beruntung memiliki teman seperti kalian.

HALAMAN MOTTO

ALLAH.....ALLAH.....ALLAH.....ALLAH lagi
(FATHURRAHMAN ABDULLAH)

“Maka sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan”

(Q.S AL – Insyirah 94:5)



KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis akhirnya dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan judul “Pengaruh Variasi Temperatur *Annealing* Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Sambungan Las SMAW Baja AISI 1006”. Tugas Akhir ini dijalankan untuk mendapatkan gelar sarjana Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.

Penulis menyadari dalam kegiatan tugas akhir ini tidak akan terealisasi tanpa adanya bantuan dan dorongan dari semua pihak. Dengan segala hormat dan kerendahan hati, penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang mendalam kepada semua pihak yang telah membantu dan memberikan dukungan, baik secara moral maupun materiil selama tugas akhir hingga penyusunan laporan ini. Ucapan terima kasih ini disampaikan kepada:

1. Allah SWT yang selalu melimpahkan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Kedua orang tua yang sudah sangat banyak memberikan dukungan penuh kepada penulis. Sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir dengan lancar dan dalam keadaan sehat. Serta doa yang selalu di berikan kepada penulis.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo M.T. selaku dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Dr. Eng. Risdiyono S.T., M.Eng. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
5. Ibu Yustiasih Purwaningrum, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing 1 yang telah memberikan bimbingan serta arahan sebelum maupun hingga Tugas akhir ini selesai dengan baik.
6. Teman-teman dan Staff laboratorium yang selalu membantu penulis dalam pelaksanaan Tugas Akhir maupun dalam proses penyusunan laporan.

Penulis menyadari bahwa dalam pelaksanaan dan penyusunan laporan Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan dan kesalahan, sangat jauh dari kata sempurna. Hal tersebut karena penulis masih dalam tahap belajar. Saran yang membangun sangat diharapkan untuk proses belajar penulis. Atas perhatiannya penulis ucapkan terima kasih.

Yogyakarta, 31 Maret 2022



Fathurrahman
17525068

Abdullah

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur annealing terhadap sifat fisik dan mekanik pada sambungan las SMAW baja AISI 1006. Penelitian ini menggunakan baja AISI 1006 yang mengandung komposisi 0,08% C, 0,45% Mn, 0,0035% P, 0,04% S, 97,9% Fe, dan unsur paduan yang lainnya. Metode yang digunakan pada penelitian ini ialah metode eksperimen. Pengelasan menggunakan las busur listrik atau las SMAW, kemudian dilakukan pemanasan annealing pada temperatur 500° C, 600° C dan 700° C dengan waktu penahanan 60 menit atau 1 jam. Pada tegangan tarik dan juga kekerasan mengalami penurunan, penurunan tertinggi pada tegangan tarik didapat pada variasi 600° C sebesar 27,23% sedangkan penurunan terendah pada variasi 700° C sebesar 18,31%, penurunan kekerasan tertinggi pada variasi 600° C sebesar 35,28% sedangkan penurunan terendah pada variasi 500° C sebesar 28,47%. Peningkatan regangan tarik tertinggi pada variasi 700° C sebesar 87,84% sedangkan peningkatan terendah pada variasi 500° C sebesar 30,19%, peningkatan tegangan bending tertinggi pada variasi 500° C sebesar 102,55% peningkatan terendah pada variasi 600° C sebesar 79,51%, peningkatan kekuatan impak tertinggi pada variasi 700° C sebesar 600% peningkatan terendahnya pada variasi 500° C sebesar 170%. Pada pengujian korosi logam Non PWHT, variasi 600° C dan 700° C memiliki standar excellent, pada variasi 500° C memiliki standar outstanding.. Pada pengamatan makro sambungan tidak terindikasi adanya cacat las semua tersambung dengan baik. Pada pengamatan mikro pada logam Non PWHT didaerah las dan HAZ kasar didominasi oleh Grain Boundary Ferit dan Acicular Ferit. Pada logam Non PWHT daerah HAZ halus dan logam PWHT pada daerah las, HAZ kasar, HAZ halus dan logam induk didominasi oleh butir Ferit dan Perlit.

Kata kunci/keywords: las SMAW, PWHT, annealing, variasi temperature, AISI 1006

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing	ii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji	iii
Halaman Persembahan	vi
Halaman Motto	vii
Kata Pengantar atau Ucapan Terima Kasih	viii
Abstrak	x
Daftar Isi	xi
Daftar Gambar	xiii
Daftar tabel	xiv
Daftar Notasi.....	xv
Bab 1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
Bab 2 Tinjauan Pustaka	4
2.1 Kajian Pustaka	4
2.2 Dasar Teori	6
2.2.1. Perlakuan Panas	6
2.2.2. Annealing	7
2.2.3. Pengelasan	7
2.2.4. Pengelasan SMAW	8
2.2.5. Baja	9
2.2.6. Baja AISI 1006	10
2.2.7. Pengujian Tarik	10
2.2.8. Pengujian Bending.....	11
2.2.9. Pengujian Impak	12

2.2.10.	Pengujian Kekerasan Vickers	13
Bab 3	Metode Penelitian	15
3.1	Alur Penelitian	15
3.2	Peralatan dan Bahan	16
3.2.1	Alat	16
3.2.2	Bahan	17
3.3	Proses pembuatan spesimen	17
3.3.1	Pemotongan Plat Baja	17
3.3.2	Proses Penyambungan	18
3.3.3	Proses Pemotongan Spesimen	19
3.4	Proses Annealing	19
3.5	Pengujian material	21
3.5.1	Pengujian Tarik	21
3.5.2	Pengujian Bending	22
3.5.3	Pengujian Impak	23
3.5.4	Pengujian Kekerasan	23
3.5.5	Pengujian Korosi	24
3.5.6	Pengamatan Mikro Dan Makro	25
Bab 4	Hasil dan Pembahasan	26
4.1	Hasil dan Analisis pengujian	26
4.1.1	Pengujian Tarik	26
4.1.2	Pengujian Bending	28
4.1.3	Pengujian Impak	29
4.1.4	Pengujian Kekerasan	30
4.1.5	Pengamatan Struktur Makro dan Mikro	32
4.1.6	Pengujian Korosi	38
Bab 5	Penutup	40
5.1	Kesimpulan	40
5.2	Saran	40
Daftar Pustaka	42
LAMPIRAN	44

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1 : Pengelasan SMAW	9
Gambar 2-2 Mesin pengujian tarik.....	11
Gambar 2-3 Mesin pengujian bending	12
Gambar 2-4 : Alat Uji Impak.....	13
Gambar 2-5 : Metode Pengujian Impak (a) izod (b) charpy.....	13
Gambar 3-1 : Alur Penelitian.....	15
Gambar 3-2 : Gerinda Tangan	17
Gambar 3-3 : Kampuh Single V	18
Gambar 3-4 : Penjepitan dengan G-clamp	18
Gambar 3-5 : Penggambaran standar.....	19
Gambar 3-6 : Proses Annealing.....	20
Gambar 3-7 : Mesin <i>Furnance</i>	20
Gambar 3-8 : Standar ASTM E 8	21
Gambar 3-9 : Alat Uji Tarik dan Uji Bending.....	22
Gambar 3-10 : Standar JIS Z 2204	22
Gambar 3-11 : Alat Uji Impak.....	23
Gambar 3-12 : Standar ASTM E23	23
Gambar 3-13: Alat Uji Kekerasan	24
Gambar 3-14 : Daerah Penekanan Uji Kekerasan	24
Gambar 3-15 : Proses Pengamplasan	25
Gambar 4-1: Hasil Pengujian Tarik.....	27
Gambar 4-2 : Hasil Pengujian Bending.....	28
Gambar 4-3 : Hasil Pengujian Impak	29
Gambar 4-4 : Hasil Pengujian Kekerasan.....	31
Gambar 4-5 : Hasil Pengamatan Makro A) Non PWHT B)500 ⁰ C C) 600 ⁰ C D).33	
Gambar 4-6 : Diagram CCT/TTT.....	37

DAFTAR TABEL

Table 2-1 : Data komposisi AISI 1006.....	10
Table 3-1 : Data Alat	16
Table 3-2 : Data Bahan.....	17
Table 4-1 : Hasil Pengamatan Mikro Daerah Las	34
Table 4-2 : Hasil Pengamatan Mikro Daerah HAZ Kasar.....	35
Table 4-3 : Hasil Pengamatan Mikro Dearah HAZ Halus.....	36
Table 4-4 : Hasil Pengamatan Mikro Logam Induk	37
Table 4-5 : Hasil Pengujian Korosi	38
Table 4-6 : Perhitungan Laju Korosi	39
Table 4-7 : Standar Laju Korosi	39



DAFTAR NOTASI

σ	= Tegangan (Mpa)
F	= Beban (N)
A	= Luas Penampang (mm^2)
ε	= Regangan (%)
ΔL	= Pertambahan Panjang (mm)
L_0	= Panjang Awal (mm)
σ_b	= Kekuatan Bending (Mpa)
P	= Beban / Load (N)
L	= Panjang Span (mm)
b	= Lebar / Width (mm)
d	= Tebal (mm)
α	= Sudut Puncak(136^0)
F	= Gaya Tekan (Kg)
d	= Diagonal Rata – Rata (mm)
R	= Laju Korosi (mmpy)
K	= Konstanta ($8,76 \times 10^4$)
W	= Massa Yang Hilang (g)
D	= Massa Jenis Material (g/cm^3)
A	= Luas Penampang (cm^2)
T	= Waktu Pengujian (jam)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada masa ini industri logam berkembang sangat pesat ini disebabkan logam sudah menjadi kebutuhan bahan baku yang wajib pada bidang perindustrian. Tidak hanya itu pengelasan juga menjadi hal yang berkembang dengan pesat didorong oleh berkembangnya industri logam yang notabene digunakan di banyak hal seperti rekayasa konstruksi yang menggunakan logam dan sambungan las. Dikarenakan sambungan las memiliki lebih banyak keuntungan dan dinilai baik.

Dalam sebuah proyek konstruksi yang beraneka ragam jenis dan bentuknya juga beraneka ragam kebutuhan sifat – sifat fisis dan mekanik dari logamnya. Oleh karena itu kini manusia berupaya untuk meningkatkan sifat – sifat fisis dan mekanik dari logam tersebut sesuai kebutuhan. Proses perlakuan panas (*Heat Treatment*) menjadi salah satu cara untuk mereparasi dan memperbaiki sifat – sifat logam tersebut, hal ini memegang peranan penting dalam upaya untuk peningkatan sifat – sifat logam sesuai kebutuhan yang diperukan. Proses perlakuan panas bisa dilakukan dengan banyak cara misalnya dengan memanaskan logam pada temperature tertentu dan mempertahankannya pada waktu tertentu sehingga temperaturnya merata.

Perlakuan panas atau *Heat Treatment* adalah suatu metode yang bertujuan merubah sifat – sifat mekanik dari logam, seperti contoh kekerasan, kekuatan atau keuletannya (Subagiyo dan Listiono, 2016). Proses perlakuan panas bertujuan untuk meningkatkan sifat – sifat mekanis, meningkatkan ketahanan terhadap korosi, meningkatkan ketahanan panas, dan mengubah sifat mekanis pada logam. Faktor – faktor yang mempengaruhi hasil dari perlakuan panas mencakup: suhu atau temperatur saat perlakuan panas (*Heat Treatment*), waktu penahanan (*Holding Time*), dan media pendinginan. Untuk mendapatkan hasil yang sesuai kebutuhan, dapat dilakukan variasi berupa temperatur yang berbeda pada saat heat treatment.

Perlakuan panas dilakukan atau diaplikasikan pada sambungan dikarena pada proses pengelasan terjadi pemanasan setempat yaitu pada sambungan las, selama proses pengelasan berjalan temperaturnya terus berubah sehingga distribusi menjadi tidak merata. Karena panas tersebut, maka pada bagian sambungan terjadi pengembangan thermal sedangkan pada bagian yang dingin tidak berubah sehingga terbentuk penghalang pengembangan yang menyebabkan terjadinya peregangan. Akibat peregangan ini akan timbul tegangan tetap atau yang disebut tegangan sisa. Tegangan sisa ini berwujud adanya dislokasi struktur Kristal material yang terjadi akibat *cold working* atau pada saat pendinginan yang tidak sempurna.

1.2 Rumusan Masalah

Dapat dirumuskan dari latar belakang, maka rumusan masalah yang akan menjadi obyek penelitian adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi temperature *annealing* terhadap sifat mekanik dan fisik sambungan las SMAW dan baja AISI 1006?
2. Bagaimana perbandingan kekuatan tarik, kekuatan impak, kekuatan bending, kekerasan, korosi dan pengamatan struktur mikro pada sambungan las yang telah di *annealing* dengan temperatur yang bervariasi?

1.3 Batasan Masalah

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

1. Penelitian ini dilakukan menggunakan las SMAW dengan arus 90 A, voltase 220V, dan kecepatan pengelasan 0,001875 m/s.
2. Pengelasan menggunakan elektroda E 6013 dengan diameter 2,6 mm.
3. Bahan logam yang dipakai menggunakan baja carbon rendah dengan jenis AISI 1006 dengan tebal 4,8 mm.
4. Gerakan elektroda las yang digunakan adalah gerakan elektroda zig – zag.
5. Sambungan las yang digunakan adalah sambungan but joint dan kampuh yang digunakan adalah kampuh *V groove* dengan sudut kampuh 30° .

6. Menggunakan proses perlakuan panas *annealing* dengan variasi temperatur 500⁰ C, 600⁰ C, 700⁰ C dan waktu penahanan 1 jam.
7. Pengujian yang diberikan uji tarik, uji bending, uji kekerasan, uji dampak, pengamatan mikro dan makro, uji korosi.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disampaikan maka ditentukan tujuan penelitian yaitu:

1. Mengetahui pengaruh variasi temperatur *annealing* terhadap hasil sambungan pengelasan SMAW dengan gerakan zig – zag pada sifat mekanik dan fisik baja AISI 1006 dengan melakukan uji tarik, uji *bending*, uji dampak, uji kekerasan, uji korosi, pengamatan mikro dan makro.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat dari penelitian ini antara lain:

1. Bagi peneliti, penelitian ini di harapkan dapat memberikan informasi dan pengetahuan tentang pengaruh variasi temperatur pada proses *annealing* pada sambungan las.
2. Bagi bidang keilmuan, penelitian ini di harapkan dapat memberikan pengetahuan yang baru tentang sifat mekanik hasil proses *annealing*.
3. Di harapkan dapat menjadi acuan bagi penelitian selanjutnya khususnya proses *annealing* pada sambungan las.

1.6 Sistematika Penulisan

Penelitian ini berisi tentang pengaruh variasi temperatur *annealing* pada sambungan las. Pada bab 1 berisi alasan yang melatar belakangi penelitian ini dilakukan. Bab 2 berisi review jurnal dan landasan teori dari penelitian ini. Bab 3 berisi peralatan dan metode yang dilakukan pada penelitian ini. Bab 4 berisi analisis data dari data pengujian yang dilakukan. Bab 5 berisi kesimpulan dan saran.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Proses perlakuan panas yang diberikan pada suatu logam atau paduan dapat mempengaruhi sifat – sifat mekanik dari logam atau paduan tersebut. Salah satu prosesnya adalah annealing, proses *annealing* merupakan proses perlakuan panas terhadap logam atau paduan pada temperature tertentu dan menahan temperatur tersebut beberapa saat lalu mendinginkan dengan laju pendinginan yang lambat. Proses perlakuan panas yang diberikan bertujuan untuk memperbaiki atau meningkatkan sifat mekanik dari logam (Trihutomo. 2014).

Penelitian yang dilakukan oleh Trihutomo ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh proses annealing pada sambungan las baja carbon rendah dengan variasi temperatur *annealing* 500 °C, 600 °C dan 700 °C dan *holding time* 1 jam. Setelah itu dilakukan pengujian kekerasan dan pengamatan mikro makro. Hasil analisa data nilai rata – rata kekerasan tertinggi pada temperatur 500 °C yaitu 170,03 HVN, sedangkan nilai rata – rata terendah pada temperatur 700 °C yaitu 125,13 HVN.

PWHT *annealing* ini memiliki beberapa fungsi yaitu mengurangi tegangan sisa, meningkatkan keuletan, menurunkan ketidak homogenan struktur dan memperbaiki ketangguhan daerah logam las dan HAZ (Rohman, 2014). Penelitian yang dilakukan oleh Huda Fathur Rohman ini melakukan proses *annealing* pada sambungan las pada baja NP-42 dengan variasi temperatur 780°C, 800°C, 820°C, 840°C dan waktu penahanan selama 60 menit. Hasil penelitian diperoleh struktur ferrite dan pearlite pada semua spesimen, namun perbedaaan yang signifikan adalah perbedaan *grain size* pada masing – masing temperatur *annealing*. Untuk nilai kekerasan antara 171,7 HVN – 259,1 HVN, hal ini didukung dengan foto mikro pada daerah disetiap temperatur.

Post Weld Heat Treatment (PWHT) adalah proses pemanasan dan pendinginan pada logam untuk mendapatkan sifat – sifat tertentu yang diperlukan untuk suatu konstruksi (Hernawan, 2014). Menurut penelitian yang dilakukan oleh Dedy Hernawan ini bertujuan mengetahui adakah pengaruh dari variasi suhu *annealing*. Hasil dari penelitian ini ketangguhan PWHT pada suhu 500⁰C naik 49%, pada PWHT suhu 600⁰C mengalami kenaikan 24% dan PWHT suhu 700⁰C mengalami kenaikan 16%. Pada semua variasi suhu perubahan struktur mikronya belum bisa homogen.

Gatot Sri Sambodo pada tahun 2021 melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui variasi temperature dan waktu tahan terhadap kekerasan dan struktur mikro dari baja ST 60 pada proses *annealing*. Hasil dari penelitian menunjukkan pada temperatur 750⁰C nilai kekerasannya memiliki rata – rata 62 HRA. Pada temperatur 800⁰C nilai kekerasannya memiliki rata – rata 59,67 HRA. Pada temperatur 850⁰C memeiliki nilai rata – rata kekerasan 53,67 HRA. Pada temperatur 900⁰C memiliki rata – rata nilai kekerasan 53 HRA. Untuk raw material memiliki rata – rata nilai kekerasan 66,7 HRA.

Pada tahun 2016 Hesti Istiqlaliyah melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur *annealing* pada sambungan las terhadap kekerasan baja ST.37. Suhu *annealing* yang digunakan adalah 450⁰C, 550⁰C, dan 560⁰C dengan waktu penahanan 30 menit, 60 menit dan 90 menit. Kemudian didinginkan menggunakan media pendingin ruangan selama 3 jam (Istiqlaliyah, 2016).

Hasil penelitiannya pada titik 3 pada temperatur 650⁰C dengan waktu penahanan 90 menit memiliki nilai tingkat kekerasan 73,6 HRB sedangkan pada temperatur 450⁰C dengan waktu penahanan 30 menit memiliki nilai tingkat kekerasan 86,87 HRB.

2.2 Dasar Teori

2.2.1. Perlakuan Panas

Perlakuan panas atau *Heat Treatment* merupakan metode yang dipergunakan untuk merubah sifat – sifat mekanik dari suatu baja, misalnya seperti kekerasan kekuatan atau keuletan. Komponen yang di perlakuan perlakuan panas bermacam – macam ada yang sederhana dan ada yang rumit seperti komponen mesin (Edy. 2016).

Perkembangan teknologi sangat pesat dan pertumbuhan teknologi juga semakin beragam maka dari itu beragam juga kebutuhan pada sifat – sifat logam yang dibutuhkan pada suatu komponen. Mengeraskan suatu komponen terdengar cukup mudah, tetapi untuk menyesuaikan kebutuhan dengan tepat dan murah itu menjadi sebuah pekerjaan yang rumit sehingga diperlukan fasilitas alat yang mumpuni untuk menunjang itu semua.

Secara umum *heat treatment* meliputi:

1. Pemanasan sampai suhu dan kecepatan tertentu
2. Mempertahankan suhu untuk waktu tertentu sehingga temperaturnya merata antara permukaan dan inti
3. Pendinginan dengan media pendingin (air, minyak, udara atau media pendingin yang lain)

Ketiga hal diatas menyesuaikan pada kebutuhan yang diinginkan

Syarat – syarat perlakuan panas (*heat treatment*) yang harus dipenuhi:

1. Suhu pemanasan harus naik secara teratur
2. Alat ukur suhu hendaknya seteliti mungkin
3. Laju pendinginan sesuai dengan jenis perlakuan panas yang dilakukan

Secara umum *heat treatment* diklasifikasikan sebagai berikut:

1. *Annealing*
2. *Normalizing*
3. *Hardening*
4. *Tempering*

2.2.2. Annealing

Annealing adalah proses pemanasan logam yang diikuti dengan pendinginan yang lambat di dalam tungku yang dimatikan. Tujuan dari *annealing* sendiri untuk memperbaiki, mampu mesin, mampu bentuk, keuletan, kehomogenan struktur, menghilangkan tegangan sisa (Saripuddin, 2021).

Proses *annealing* dibagi menjadi tiga macam yaitu *annealing* penuh, *annealing* isothermal, *annealing* pada suhu kritis terendah. Pada *annealing* dengan suhu kritis terendah, pemanasan dipertahankan pada beberapa saat dibawah batas transformasi (perubahan). Suhu ini cukup tinggi untuk membuat pengkristalan kembali dan merubah struktur menjadi seragam.

Jika ini diterapkan pada baja karbon tinggi akan menyebabkan baja tersebut mudah dibentuk dan mudah untuk dilakukan dikerjakan dengan mesin perkakas. Pada proses *annealing* dengan suhu tinggi dalam waktu periode yang relatif lama akan terjadi oksidasi sehingga menyebabkan terjadi pengelupasan pada bagian luar baja. *Annealing* memiliki tujuan untuk mengurangi tegangan sisa, memperbaiki keuletan dan meningkatkan mampu mesin pada material logam.

Mekanisme *annealing* terdapat tiga fase yaitu: pemulihan(*recovery*), rekristalisasi(*recrystallization*), pertumbuhan butir(*grain growth*). Pada fase pemulihan terjadi poligonasi yang merupakan sub batas butir dengan mekanisme pergerakan kekosongan atau *vacancies* dari atom untuk menghasilkan pergerakan dan pemanjatan dislokasi, pada proses pemulihan kekuatan logam akan sedikit berkurang yang diikuti dengan peningkatan keuletan. Fase rekristalisasi merupakan fase dimana pertumbuhan butir terjadi, pertumbuhan butir yang terjadi tidak homogen atau ada perbedaan besar butir yang cukup besar. Fase pertumbuhan butir pada fase ini butir – butir tumbuh lebih lanjut secara perlahan dan menghasilkan butir yang relatif seragam.

2.2.3. Pengelasan

Pengelasan adalah suatu kegiatan teknik yang dimana penyambungan logam dengan cara memasak logam induk dengan logam pengisi sehingga terbentuk sambungan akibat logam pengisi yang mencair. DIN (*Deutsche Industrie Normen*) memberikan definisi mengenai *welding* yaitu pengelasan atau

welding adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair.

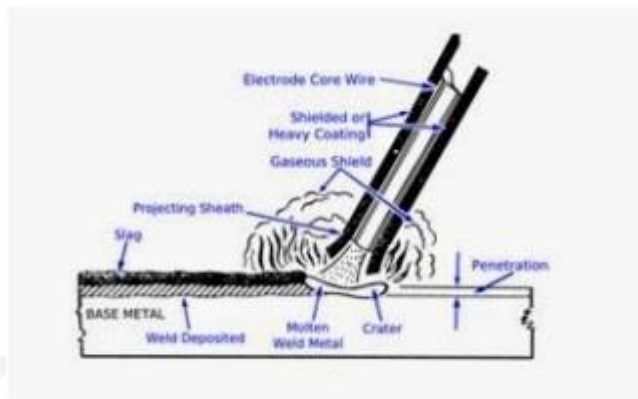
Pada proses pengelasan terjadi distribusi temperatur yang tidak merata. Pada daerah las terjadi penambahan *filler* atau logam penambah pada daerah ini juga temperatur sangat tinggi dikarenakan langsung terkena panas dari proses pengelasan untuk mencairkan elektroda, pada daerah las terjadi perubahan struktur mikro. Pada daerah HAZ sendiri juga terkena panas dari pengelasan tetapi tidak secara langsung atau tidak terlalu signifikan, pada daerah ini juga terjadi perubahan struktur mikro. Pada logam induk tidak terkena panas secara langsung atau tidak signifikan, pada daerah ini jarang terjadinya perubahan struktur mikro dikarenakan temperatur yang kurang untuk terjadi perubahan struktur.

Dengan kata lain pengelasan adalah suatu proses penyambungan logam atau logam paduan menjadi satu akibat pengaruh panas atau tanpa bantuan tekanan, juga bisa didefinisikan kegiatan menyambung logam dengan mencairkan logam pengisi sehingga terbentuk sambungan akibat dari metalurgi logam yang menjadi satu secara fisik. Saat menyambung logam ini bisa dengan atau tanpa logam pengisi (*filler metal*) yang sama atau beda titik cair maupun strukturnya.

Pada masa kini perkembangan semakin pesat dan kebutuhan – kebutuhan atas perkembangan pesat itu semakin banyak. ini juga terjadi pada teknik pengelasan yang dimana metode – metode pengelasan yang berkembang dari tahun ke tahun kebutuhan las pun juga semakin berkembang.

2.2.4. Pengelasan SMAW

Las SMAW adalah salah satu teknik penyambungan material. *American Welding Society (AWS)* mendefinisikan pengelasan adalah proses penyambungan antara metal atau non-metal yang menghasilkan satu bagian yang menyatu, dengan memanaskan material yang akan disambung sampai pada suhu pengelasan tertentu, dengan atau tanpa penekanan dan dengan atau tanpa logam pengisi (Kurniawan, 2019).



Gambar 2-1 : Pengelasan SMAW

Pengelasan SMAW banyak dan bahkan sudah umum digunakan, dari kelas pabrik hingga kelas bengkel rekayasa kecil – kecilan. Dalam bidang konstruksi pengelasan SMAW menjadi salah satu proses pengelasan yang sering digunakan juga dikarenakan tidak terlalu banyak perlengkapan dan alat yang digunakan dan tidak membutuhkan waktu banyak dalam waktu produksinya.

2.2.5. Baja

Baja adalah salah satu jenis logam yang sering digunakan sebagai bahan utama dalam sebuah perancangan mekanik, baja juga di dasari dengan unsur karbon sebagai unsur pembentuknya. Unsur pembentuk baja tidak hanya karbon saja, disamping karbon terdapat unsur – unsur lain seperti sulphur (S), fosfor (P), silicon (Si), mangan (Mn) dan unsur lainnya yang kadarnya terbatas. Didunia ini terdapat beragam jenis baja sifat dari baja itu juga berbeda – beda.

Sifat pada baja ini tergantung pada prosentase dari unsur karbon dan struktur mikronya. Struktur mikro pada baja dipengaruhi oleh perlakuan dan komposisi baja. Campuran lain juga dapat merubah sifat dari baja, perbedaan prosentase unsur campuran dan unsur karbon menjadi salah satu cara mengklasifikasikan baja (Kurniawan, 2019).

Berdasarkan kandungan karbonnya, baja dibagi menjadi tiga, macam, yaitu:

1. Baja karbon rendah (*Low Carbon Steel*) merupakan baja dengan kadar karbon yang rendah yaitu kurang dari 0,3%C. Dikarenakan kandungan karbon yang

rendah maka baja ini bukan termasuk baja yang keras. Baja ini juga tidak dapat dikeraskan karena kandungan karbon yang rendah (Amanto, 2003).

2. Baja karbon menengah (*Medium Carbon Steel*) kadar karbon pada baja ini adalah 0,3%C - 0,6%C. dengan kandungan karbon yang cukup baja ini dapat dikeraskan dengan perlakuan panas heat treatment (Amanti, 2003).
3. Baja karbon tinggi (*High Carbon Steel*) memiliki kadar karbon 0,6%C – 1,5%C dan memiliki kekerasan yang tinggi namun keuletannya lebih rendah. Baja ini jika dilakukan heat treatment tidak menghasilkan hasil yang optimal dikarenakan terlalu banyak martensit yang membuat baja menjadi getas.

2.2.6. Baja AISI 1006

Baja AISI 1006 adalah baja karbon rendah yang biasa digunakan karena memiliki keuletan yang tinggi dan mampu mesin yang baik. Dalam proses pembuatan baja AISI 1006 melibatkan *rolling*, dikarenakan sifat dari baja tersebut. Komposisi dari baja AISI 1006 seperti dituliskan dalam ASTM A830-A830M dapat dilihat pada tabel. Baja ini tergolong baja karbon sangat rendah karena kadar karbon yang terkandung maksimum 0,08 % untuk semua bentuk baja AISI 1006. Perhatikan tabel 2-1 berikut,

Table 2-1 : Data komposisi AISI 1006

Unsur	%
Karbon, C	Maks 0,08
Mangan, Mn	Maks 0,45
Fosfor, P	Maks 0,035
Sulphur, S	Maks 0,04

2.2.7. Pengujian Tarik

Pengujian tarik adalah pengujian yang memberikan beban tarik pada spesimen uji hingga mencapai tegangan maksimal atau spesimen mengalami kerusakan karena gaya tarik tersebut. Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui sifat – sifat dari suatu spesimen, hasil dari pengujian tarik adalah kurva tegangan, regangan, parameter kekuatan, dan perpanjangan. Dari kurva tegangan regangan dapat dirumuskan sebagai berikut,

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

Dengan :

σ = Tegangan (Mpa)

F = Beban (N)

A = Luas Penampang (mm²)

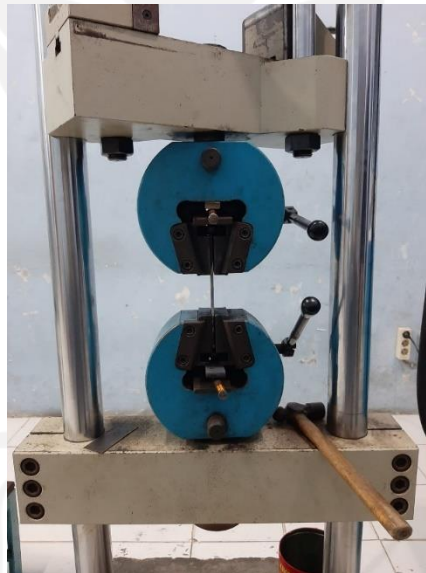
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (2.2)$$

Dengan :

ε = Regangan (%)

ΔL = Pertambahan Panjang (mm)

L_0 = Panjang Awal (mm)



Gambar 2-2 Mesin pengujian tarik

2.2.8. Pengujian Bending

Pengujian bending merupakan spesimen uji diberi pembebanan tekan pada spesimen. Pengujian bending ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan lentur pada suatu spesimen. Kekuatan lentur sendiri merupakan tegangan bending terbesar yang dapat diterima akibat pembebanan luar tanpa mengalami deformasi yang besar. Kekuatan bending dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\sigma_b = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (2.3)$$

Dengan :

σ_b = Kekuatan Bending (Mpa)

P = Beban / Load (N)

L = Panjang Span (mm)

b = Lebar / Width (mm)

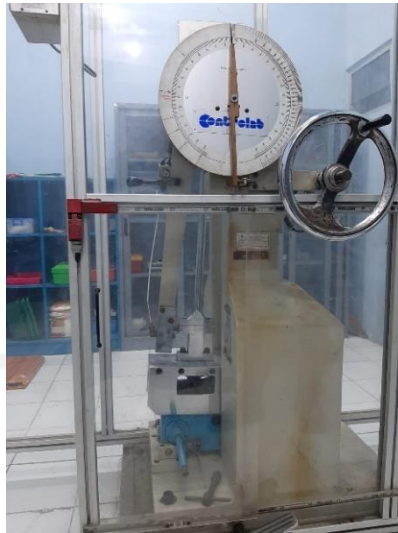
d = Tebal (mm)



Gambar 2-3 Mesin pengujian bending

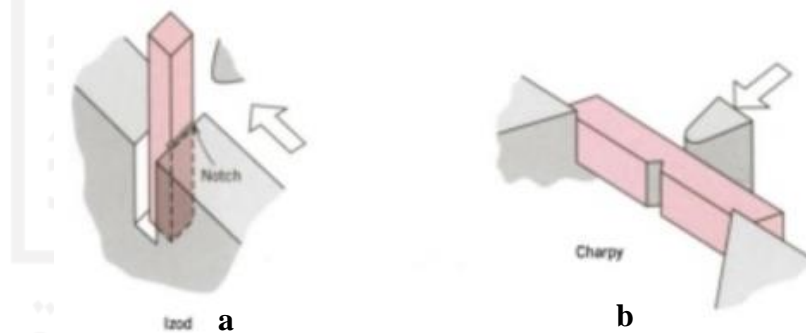
2.2.9. Pengujian Impak

Pengujian impak adalah pengujian dilakukan dengan pembebanan yang secara cepat dan tiba – tiba. Pada pembebanan cepat terjadi penyerapan energi yang besar dari energi kinetik suatu beban yang menumbuk ke spesimen. Pengujian impak bertujuan untuk mengetahui sifat ketahanan suatu material terhadap beban impak. Perhatikan gambar 2-4 berikut,



Gambar 2-4 : Alat Uji Impak

Metode pengujian impak terdapat dua macam yaitu: metode Izod dan metode Charpy. Perbedaan dari kedua metode adalah pada metode Izod spesimen hanya satu ujung yang di kunci atau di jepit dengan spesiman diletakkan tegak sedangkan metode Charpy diletakkan mendatar dan kedua ujung specimen ditumpu pada suatu landasan. Perhatikan gambar 2-5 berikut.



Gambar 2-5 : Metode Pengujian Impak (a) izod (b) charpy

2.2.10. Pengujian Kekerasan Vickers

Pengujian kekerasan bertujuan untuk mengetahui sifat suatu material yaitu kekerasan dan kekuatan. Pengujian Vickers ini menggunakan indenter intan berbentuk piramida bujur sangkar dengan sudut 136° . Kemudian ditekan pada permukaan material uji dalam waktu (10-30)s. Selanjutnya akan diukur diagonal

yang terbentuk akibat penekanan dengan indenter piramida intan (kumayasari dan sultoni, 2017). Angka kekerasan bisa dihitung dengan rumus:

$$H = \frac{\{2F(\alpha/2)\}}{d^2} = \frac{1854F}{d^2} \quad (2.4)$$

Dengan :

- α = Sudut Puncak(136^0)
- F = Gaya Tekan (Kg)
- d = Diagonal Rata – Rata (mm)

2.2.11. Pengujian korosi

Korosi adalah penghancur paksa zat seperti logam dan bahan bangunan mineral media sekitarnya, yang biasanya cair. Korosi dimulai pada permukaan dan disebabkan oleh kimia pada kasus logam, reaksi elektrokimia. Kehancuran kemudian dapat menyebar ke bagian dalam material (Knofel, 1978)

Laju korosi adalah kecepatan rambat atau kecepatan penurunan kualitas bahan terhadap waktu (Fontana, 1986). Satuan yang biasa digunakan pada pengujian korosi adalah mmpy (*milimeter per year*). Laju korosi dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut,

$$R(mmpy) = \frac{K \times W}{D \times A \times T} \quad (2.5)$$

Dengan :

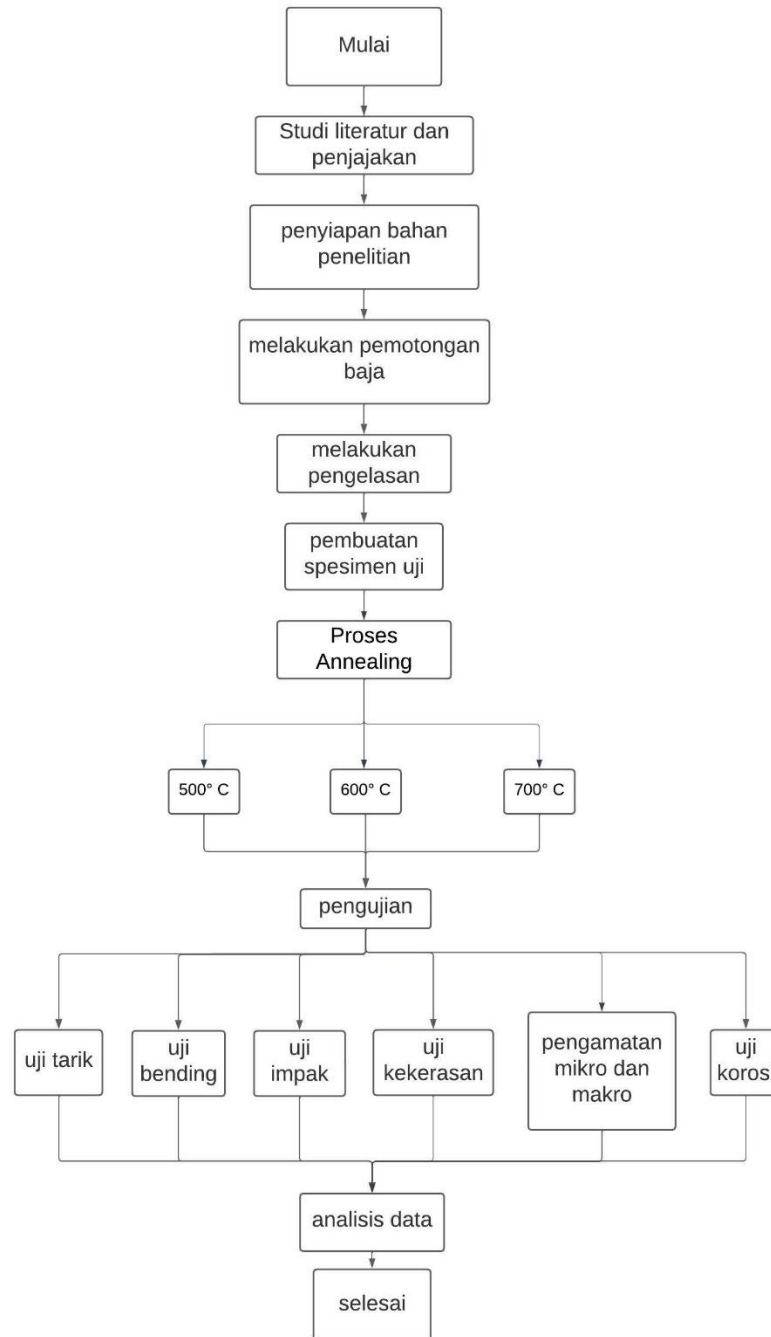
- R = Laju Korosi (mmpy)
- K = Konstanta ($8,76 \times 10^4$)
- W = Massa Yang Hilang (g)
- D = Massa Jenis Material (g/cm^3)
- A = Luas Penampang (cm^2)
- T = Waktu Pengujian (jam)

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Berikut adalah digram alur dari penelitian yang dilakukan:



Gambar 3-1 : Alur Penelitian

Penulis melakukan penelitian diawali dengan studi literatur dilanjut untuk mempersiapkan material baja, kemudian melakukan pemotongan baja, selanjutnya dilakukan proses pengelasan, setelah pengelasan dipotong membentuk spesimen uji, lalu diberi perlakuan panas *annealing*, selanjutnya diuji dan hasil pengujian dianalisis.

3.2 Peralatan dan Bahan

3.2.1 Alat

Dalam proses penelitian ini ada beberapa alat yang digunakan selama penelitian ini berjalan. Perhatikan tabel data alat 3-1 berikut:

Table 3-1 : Data Alat

No	Nama Alat
1.	Mesin las SMAW
2.	Gerinda tangan
3.	Mesin <i>furnance</i>
4.	Palu terak
5.	Kikir
6.	Sarung tangan
7.	Helm las
8.	G clamp
9.	Sikat logam
10.	Kaca mata

3.2.2 Bahan

Dalam juga menggunakan beberapa bahan yang menunjang selama berjalannya penelitian. Perhatikan tabel 3-2 berikut:

Table 3-2 : Data Bahan

No	Nama bahan
1.	AISI 1006
2.	Resin
3.	Elektroda E6013
4.	Amplas
5.	Autosol
6.	Air laut
7.	Cairan etsa HNO ₃ 2,5%

3.3 Proses pembuatan spesimen

3.3.1 Pemotongan Plat Baja

Specimen yang digunakan adalah baja karbon rendah dengan AISI 1006. Untuk spesifikasi baja setiap memiliki ukuran lebar 100 mm dan panjang 300 mm dengan jumlah 3 pasang atau 12 buah. Untuk pemotongan digunakan mesin gerinda tangan seperti pada gambar3-2 berikut,



Gambar 3-2 : Gerinda Tangan

3.3.2 Proses Penyambungan

Proses penyambungan dilakukan menggunakan metode pengelasan SMAW menggunakan mesin las inverter. Mesin las yang digunakan adalah mesin las laboratorium proses produksi teknik mesin Universitas Islam Indonesia. Setelah plat material dipotong dengan ukuran 100 mm x 300 mm dilakukan pembuatan kampuh pada setiap material. Kampuh yang digunakan adalah kampuh *single V*. Hasil pembuatan kampuh seperti pada gambar 3-3 berikut,



Gambar 3-3 : Kampuh Single V

Setelah diberi kampuh pada setiap material, kemudian dilakukan proses pengelasan SMAW. Sebelum proses pengelasan dilakukan material dijepit menggunakan *g clamp* terlebih dahulu, ini guna mengurangi pembengkokan pada material akibat efek panas pada saat proses pengelasan terlihat seperti pada gambar 3-4.

Setelah material dijepit dengan *g-clamp* kemudian dilakukan proses pengelasan. Pada proses pengelasan ini menggunakan elektroda E6013 dengan diameter 2,6 mm dan menggunakan arus 90 A. Gerakan elektroda pengelasan menggunakan gerakan zig – zag.



Gambar 3-4 : Penjepitan dengan G-clamp

3.3.3 Proses Pemotongan Spesimen

Pemotongan spesimen dilakukan dengan menggunakan gerinda tangan. Dari material yang telah dilakukan proses pengelasan, kemudian dipotong lagi membentuk spesimen uji. Adapun standar dari setiap spesimen pengujian berbeda dan bermacam – macam.

Sebelum pemotongan spesimen dilakukan penggambaran bentuk standar yang dipakai pada permukaan material, ini dilakukan supaya mempermudah melakukan pemotongan dan meminimalisir terjadinya salah ukuran. Terlihat pada gambar 3-5 berikut,

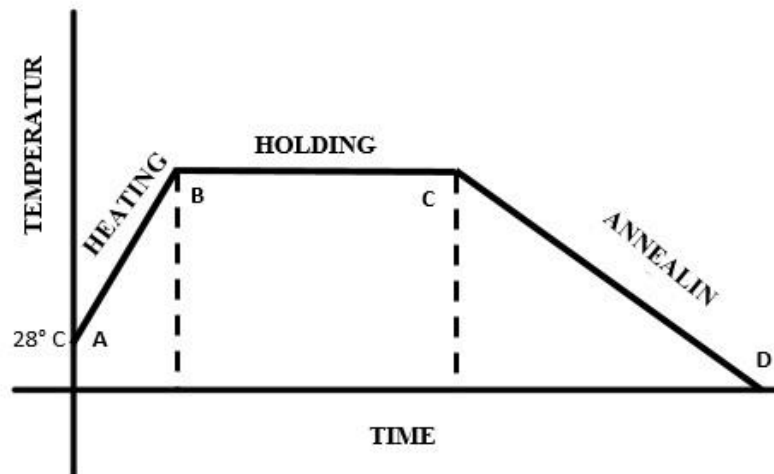


Gambar 3-5 : Penggambaran standar

3.4 Proses Annealing

Setelah spesimen dipotong membentuk spesimen uji dari setiap pengujian, selanjutnya akan dilakukan proses *annealing*. Proses *annealing* ini menggunakan mesin *furnance* yang berada di laboratorium proses produksi teknik mesin Universitas Islam Indonesia.

Dalam proses *annealing* terdapat beberapa tahapan yang terjadi. Tahapan – tahapan ini wajib dilakukan ketika melakukan proses *annealing*. lebih tepatnya terdapat 3 tahapan dalam proses *annealing*. Perhatikan gambar 3-7 tahapan pertama adalah tahapan A-B yaitu dimana mesin *furnance* mulai dihidupkan dan mulai juga untuk memanaskan dengan menaikkan temperatur dari temperatur ruang hingga temperatur yang diinginkan. Selanjutnya tahapan B-C pada tahap ini temperatur *annealing* yang diinginkan ditahan pada waktu tertentu selama beberapa waktu. Kemudian tahap C-D adalah tahap *annealing* yaitu pada tahap ini pendinginan lambat yang terjadi hingga temperatur ruang.



Gambar 3-6 : Proses Annealing

Pada proses *annealing* temperatur diatur dengan variasi temperatur 500⁰C, 600⁰C, dan 700⁰C. Dengan waktu penahanan selama 1 jam atau 60 menit. Kemudian pendinginan dilakukan secara perlahan didalam mesin *furnance* yang dimatikan. Perhatikan gambar 3-6 berikut,

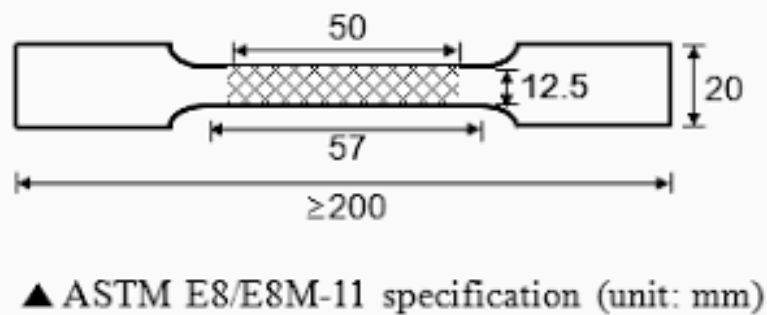


Gambar 3-7 : Mesin Furnance

3.5 Pengujian material

3.5.1 Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik dari sambungan las SMAW. Pada pengujian tarik ini menggunakan standar ASTM E 8. Pada standar ASTM E 8. Spesimen yang akan diuji berjumlah enam pada setiap variasi.



Gambar 3-8 : Standar ASTM E 8

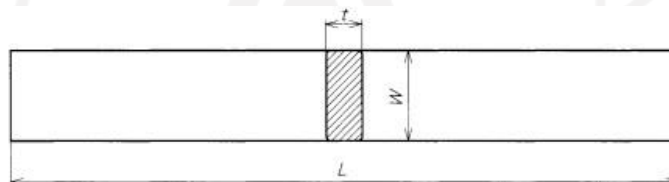
Pengujian tarik dilakukan di laboratorium Bahan Teknik UGM dengan menggunakan mesin UTM Hidrolik seperti pada gambar 3-7. Sebelum dilakukan pengujian specimen tarik diukur terlebih dahulu lebar bagian tengah dan tebalnya. Kemudian diberi tanda dengan ukuran 25 mm dari tengah specimen. Setelah itu specimen diletakkan pada mesin uji, pada saat pengujian berlangsung specimen diberi beban aksial secara kontinu hingga specimen mengalami fraktur atau patah. Pada mesin uji akan memperlihatkan P_{max} dari specimen uji. Setelah fraktur atau patah perpanjangan material akan diukur dan dimasukkan ke tabel sebagai bahan analisis. Hasil dari pengujian ini menghasilkan grafik tegangan regangan.



Gambar 3-9 : Alat Uji Tarik dan Uji Bending

3.5.2 Pengujian Bending

Pengujian bending dilakukan untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik dari sambungan las SMAW. Pada pengujian ini menggunakan standar JIS Z 2204. Sebelum dilakukan pengujian spesimen diukur terlebih dahulu lebar bagian tengah dan tebalnya. Metode yang digunakan pada pengujian ini menggunakan *Three Point Bending* seperti yang terlihat pada gambar 3-9. Spesimen uji yang akan diuji sebanyak 3 spesimen tiap variasinya.



t : thickness (original thickness)

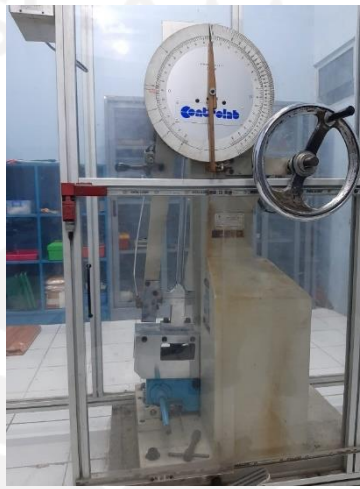
W : width (20 mm to 50 mm)

L : length (according to the thickness of the test piece and the testing apparatus used)

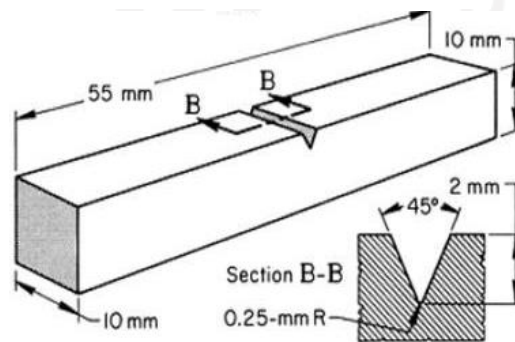
Gambar 3-10 : Standar JIS Z 2204

3.5.3 Pengujian Impak

Pengujian impak dilakukan untuk mengetahui kekuatan impak dari sambungan las SMAW. Pengujian ini dilakukan di laboratorium Bahan Teknik UGM ditunjukkan pada gambar 3-10. Pada pengujian ini menggunakan standar uji ASTM E 23. Sebelum spesimen diletakkan pada mesin uji, spesimen diukur terlebih dahulu lebar dari ujung takik dan tebalnya. Perhatikan gambar 3-11 berikut



Gambar 3-11 : Alat Uji Impak



Gambar 3-12 : Standar ASTM E23

3.5.4 Pengujian Kekerasan

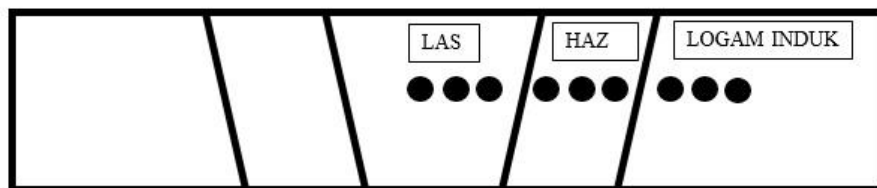
Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui kekerasan dari material. Pada pengujian kekerasan kali ini menggunakan metode Vickers. Pengujian dilakukan di laboratorium Bahan Teknik UGM. Perhatikan gambar 3-12 berikut,



Gambar 3-13: Alat Uji Kekerasan

Spesifikasi pengujian pada uji kekerasan ini adalah dengan 3 titik untuk setiap daerah total untuk satu variasi terdapat 9 titik seperti pada gambar 3-13. Untuk jarak antar titik 1,5 mm. specimen pada pengujian kekerasan ini masing – masing menggunakan sebanyak 1 buah pada setiap variasinya.

Sebelum dilakukan pengujian specimen diberi resin guna menopang agar tidak goyang pada saat pengujian berlangsung ini juga bertujuan untuk mempermudah pada saat pengujian berlangsung.



Gambar 3-14 : Daerah Penekanan Uji Kekerasan

3.5.5 Pengujian Korosi

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui ketahanan sambungan las SMAW yang telah diberi perlakuan *annealing* terhadap korosi. Pengujian ini menggunakan specimen pada daerah las yang direndam dalam air laut yang diambil dari Pantai Baron gunung kidul.

Pengujian ini memakan waktu selama 40 hari, disetiap 10 hari specimen ditimbang beratnya untuk mengetahui perubahan berat yang terjadi akibat korosi.

Data dari berat spesimen selama 40 hari nantinya akan dianalisa dan akan mendapatkan laju korosi material.

3.5.6 Pengamatan Mikro Dan Makro

Pada pengamatan mikro dan makro ini spesimen diberi resi terlebih dahulu supaya spesimen tidak goyang saat dilakukan pengamatan. Setelah diberi resin kemudian spesimen diampas dengan kekasaran amplas mulai dari 280, 400, 600, 1000, 1500. Proses pengamplasan ditunjukkan oleh gambar 3-14 berikut,



Gambar 3-15 : Proses Pengamplasan

Setelah halus spesimen di poles menggunakan autosol supaya permukaan yang akan diamati mengkilap dan bersih. Kemudian diberi carian etsa untuk baja menggunakan cairan HNO_3 2,5%, ini bertujuan untuk memperjelas batas butir yang ada pada struktur mikro dan makro dari material. Pengamatan menggunakan mikroskop optic yang berada di laboratorium Bahan Teknik UGM dengan perbesaran 100x. Daerah yang diamati yaitu daerah las, HAZ halus, HAZ kasar dan daerah logam induk ini berlaku untuk semua variasi.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil dan Analisis pengujian

4.1.1 Pengujian Tarik

Pada pengujian tarik ini menggunakan mesin ATM Hidrolik, dari pengujian tarik didapatkan nilai Pmax dan ΔL dari setiap specimen uji. Selain itu pada pengujian tarik juga didapatkan grafik tegangan regangan dan tabel data pengujian yang berada pada lampiran.

Berikut ini adalah salah satu perhitungan dari nilai tegangan regangan dengan menggunakan rumus tegangan (2.1) dan rumus regangan (2.2).

Variasi temperatur 500⁰ C

Dengan diketahui :

Lebar 11,57 Mm

Tebal 4,27 Mm

Pmax : 8,20 KN

Nilai tegangan :

$$\sigma = \frac{P}{A}$$
$$\sigma = \frac{8,20 \text{ KN}}{11,57 \text{ mm} \times 4,27 \text{ mm}} \quad (2.1)$$

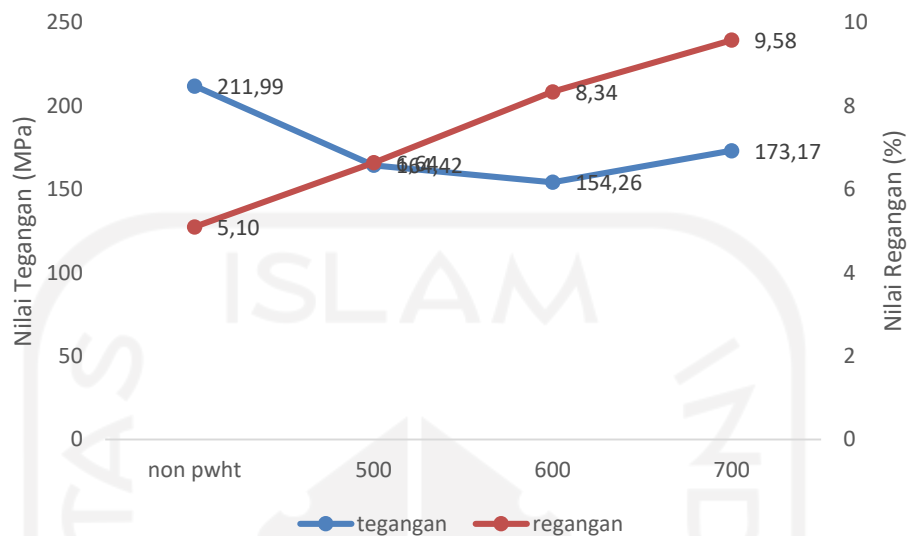
$$\sigma = \frac{8,20 \text{ KN}}{49,4039 \text{ mm}^2} = 165,98 \text{ Mpa}$$

Nilai regangan :

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

$$\varepsilon = \frac{3,30 \text{ mm}}{6 \text{ mm}} \times (100\%) \quad (2.2)$$
$$\varepsilon = 6,60 \%$$

Dari hasil perhitungan tersebut didapatkan grafik perbandingan setiap variasi yang diuji. Grafik pengujian tarik dapat dilihat pada gambar 4-1.



Gambar 4-1: Hasil Pengujian Tarik

Dilihat dari gambar 4-1 hasil dari pengujian tarik, untuk tegangan rata – rata nilainya mengalami penurunan pada spesimen yang telah diberi perlakuan panas *annealing* ini terjadi pada semua variasi temperatur. Rata – rata yang tertinggi adalah variasi temperatur 700⁰ C dengan nilai 173,17 MPa nilai ini turun 18,31% dan diikuti oleh variasi temperatur 500⁰ C dengan nilai 164,42 MPa nilai ini turun sebesar 22,43% kemudian variasi temperatur 600⁰ C dengan nilai 154,26 MPa nilai ini turun 27,31%.

Pada regangan tarik mengalami peningkatan pada spesimen yang telah diberi perlakuan panas annealing, ini berlaku pada semua variasi temperatur. Rata – rata tertinggi pada variasi temperatur 700⁰ C dengan nilai 9,58 % nilai regangan pada variasi ini meningkat 87,84% kemudian variasi temperatur 600⁰ C dengan nilai 8,34 % nilai regangan pada variasi ini meningkat 63,52% dan variasi 500⁰ C dengan nilai 6,64% nilai regangan pada variasi ini meningkat 30,19%.

Hal ini dapat terjadi akibat temperatur yang berbeda – beda pada saat proses perlakuan panas *annealing*. Bahwa variasi temperatur dapat mempengaruhi nilai regangan pada sebuah logam dan juga sambungan las. Semakin tinggi temperatur maka semakin tinggi juga nilai regangan. Begitu juga dengan nilai tegangan temperatur mempengaruhi besar dari nilai tegangan.

4.1.2 Pengujian Bending

Pada pengujian bending ini menggunakan mesin UTM Hidrolik. Dari pengujian bending didapatkan Pmax dan defleksi dari setiap specimen uji. Dari pengujian ini juga didapatkan grafik tegangan dan tabel data pengujian yang berada pada lampiran.

Berikut ini adalah salah satu perhitungan dari tegangan yang didapat pada pengujian bending dengan menggunakan rumus (2.3).

Variasi temperatur 500^o C

Dengan diketahui :

Lebar 20,75 mm

Tebal 4,08 mm

Pmax 3,21 KN

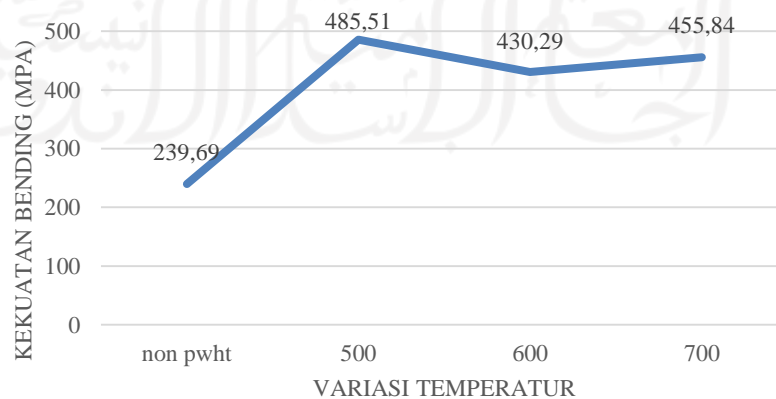
Panjang span 3,5 mm

Niaail kekuatan bending

$$\sigma_b = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (2.3)$$

$$\sigma_b = \frac{3 \times 3,21 \text{KN} \times 3,5 \text{mm}}{2 \times 20,75 \text{mm} \times (4,08 \text{mm})^2}$$
$$\sigma_b = 487,89 \text{ MPa}$$

Dari hasil pengujian dan perhitungan didapatkan grafik perbandingan tegangan dari setiap variasi yang diuji. Grafik dapat dilihat pada gambar 4-2 berikut,



Gambar 4-2 : Hasil Pengujian Bending

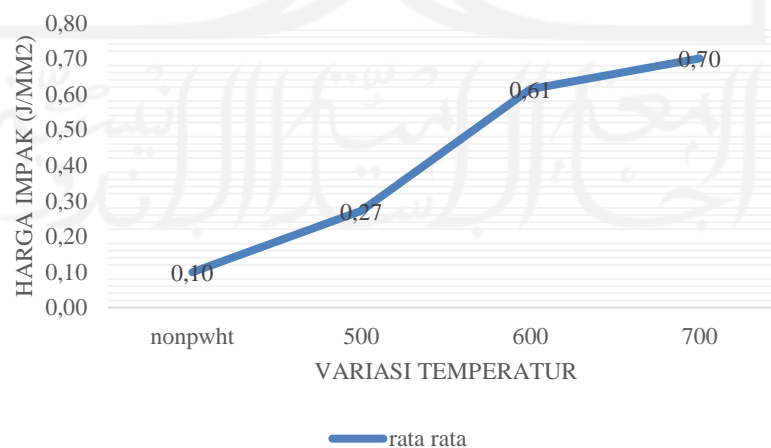
Dari grafik hasil pengujian *bending* diatas nilai tegangan *bending* rata – ratanya mengalami peningkatan yang cukup signifikan ini terjadi pada semua spesimen yang telah diberikan perlakuan panas *annealing*. Peningkatan tertinggi yaitu pada variasi temperatur 500⁰ C sebesar 102,55% kemudian diikuti pada variasi temperatur 700⁰ C sebesar 90,17% sedangkan peningkatan terendah pada variasi temperatur 600⁰ C sebesar 79,51%. Dari hasil pegujian *bending* tegangan *bending* pada spesimen yang diberi perlakuan panas *annealing* mengalami peningkatan, perbedaan peningkatan antar variasinya tidak terpaut terlalu jauh.

Nilai tertinggi dari tegangan *bending* terdapat pada variasi *annealing* 500°C dengan 485,51 MPa. Kemudian diikuti oleh variasi *annealing* 700° C dengan 455,84 Mpa dan nilai terendah pada variasi *annealing* 600° C dengan 430,29 MPa.

Perbedaan tegangan *bending* ini dapat terjadi dikarenakan perbedaan temperatur pada saat proses *annealing*. Temperatur mempengaruhi tegangan *beding* pada sambungan las.

4.1.3 Pengujian Impak

Pada pengujian impak ini dilakukan di laboratorium bahan teknik UGM. Dari pengujian impak yang dilakukan menghasilkan harga impak dari setiap pengujian dan juga grafik perbandingan harga impak dari setiap spesimen. Berikut adalah grafik dari hasil pengujian impak, perhatikan gambar 4-3,



Gambar 4-3 : Hasil Pengujian Impak

Dari grafik 4-4 perbandingan nilai rata – rata harga impact sambungan las tanpa perlakuan panas dengan sambungan las yang diberikan perlakuan panas *annealing*, nilai rata – ratanya mengalami peningkatan untuk sambungan las yang diberi perlakuan panas *annealing*. Rata – rata tertinggi pada variasi 700⁰ C dengan nilai 0,70 J/mm² lalu diikuti oleh variasi 600⁰ C dengan nilai 0,61 J/mm² sedangkan peningkatan yang terendah pada variasi 500⁰ C dengan nilai 0,27 J/mm². Persentase peningkatan tertinggi terdapat pada variasi *annealing* 700⁰ C sebesar 600%. Diikuti dengan variasi *annealing* 600⁰ C sebesar 510% sedangkan variasi *annealing* 500⁰ C memiliki persentase peningkatan yang terendah sebesar 170%. Dari semua variasi *annealing* mengalami peningkatan yang lebih dari 2 kali lipat dengan sebelum diberi *annealing*.

Pada pengujian impact ini temperatur pada saat *annealing* mempengaruhi harga impact dari suatu material. Ini menunjukkan bahwa *annealing* dapat meningkatkan penyerapan energi dari material sehingga harga impact menjadi tinggi. Semakin besar harga impact maka material tersebut semakin ulet. Dapat dilihat juga semakin tinggi temperatur *annealing* yang diberikan semakin tinggi pula harga impact yang dihasilkan.

4.1.4 Pengujian Kekerasan

Pada pengujian kekerasan ini dilakukan di laboratorium Bahan Teknik UGM. Pengujian kekerasan ini menghasilkan nilai kekerasan dari setiap variasi yang diuji. Dari pengujian kekerasan ini menghasilkan grafik kekerasan dari setiap variasi yang diuji.

Berikut adalah perhitungan untuk menentukan nilai atau harga kekerasan menggunakan rumus (2.4).

Daerah las variasi temperatur 500⁰ C

$$H = \frac{\{2F(\alpha/2)\}}{d^2} = 1854 \frac{F}{d^2} \quad (2.4)$$

Pada titik 1

$$H = 1854 \frac{(40kgf)}{(0,76mm)^2}$$

$$H = 128,39 \text{ VHN}$$

Pada titik 2

$$H = 1854 \frac{(40kgf)}{(0,77mm)^2}$$

$$H = 125,08 \text{ VHN}$$

Pada titik 3

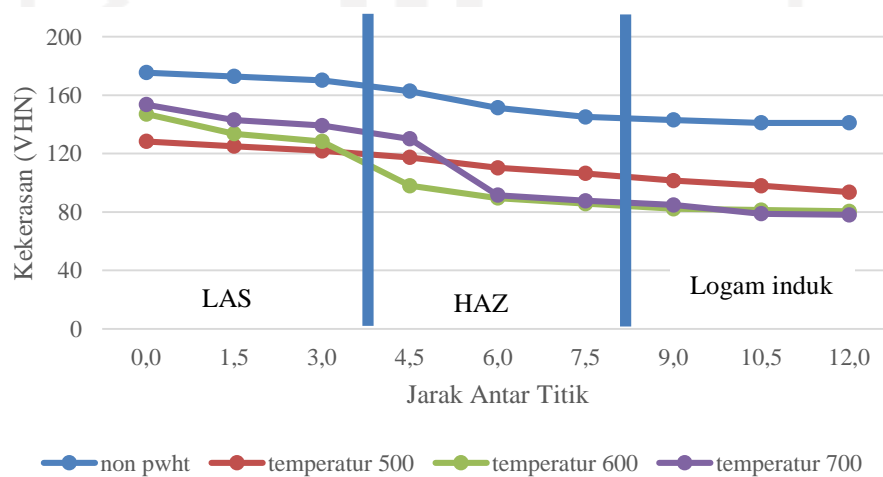
$$H = 1854 \frac{(40kgf)}{(0,78mm)^2}$$

$$H = 121,89 \text{ VHN}$$

Setelah dihitung nilai kekerasannya dari setiap titik pada daerah las maka didapatkan rata – rata nilai kekerasan di setiap titik

$$128,39 + 125,08 + 121,89/3 = 125,12 \text{ VHN}$$

Berdasarkan perhitungan nilai kekerasan di setiap titik didapatkan grafik distribusi nilai kekerasa pada setiap titik. Dapat dilihat pada grafik perbandingan 4-6 berikut,



Gambar 4-4 : Hasil Pengujian Kekerasan

Pada grafik distribusi kekerasan pada setiap titik pada spesimen uji, dapat dilihat kekerasan material pada daerah las lebih tinggi daripada daerah HAZ dan logam induk ini terjadi pada setiap variasinya ini dikarenakan pada saat proses

pengelasan daerah las terjadi proses penyambungan atau pengisian oleh elektroda sehingga panas yang terjadi lebih tinggi daripada daerah HAZ dan logam induk.

Perbedaan nilai kekerasan pada setiap daerah ini dipengaruhi oleh suhu pada saat pengelasan, pada saat proses pengelasan distribusi temperatur tidak merata sehingga nilai kekerasan pada setiap daerah berbeda – beda dan pada saat proses pengelasan berlangsung terjadi proses *annealing* yang diikuti pendinginan yang cepat sehingga membuat kekerasannya tinggi dan berbeda pada setiap daerahnya. Rata – rata tertinggi terdapat pada daerah las sebesar 142,45 VHN. Diikuti oleh rata – rata daerah HAZ sebesar 108,44 VHN. Dan rata – rata nilai kekerasan terendah pada daerah logam induk sebesar 100,13 VHN.

Rata – rata pada hasil pengujian kekerasan mengalami penurunan, variasi *annealing* yang mengalami penurunan paling tinggi pada variasi 600° C sebesar 35,28% dengan rata – rata 99,99 VHN. Diikuti oleh variasi 700° C sebesar 33,07% dengan rata – rata 103,04 VHN. Penurunan terendah pada variasi 500° C sebesar 28,47% dengan rata – rata 110,51 VHN. Penurunan ini terjadi dikarenakan proses *annealing* sendiri memiliki arti pelunakan sehingga tidak heran jika hasil pengujian kekerasan mengalami penurunan sehingga kegetasan dari material berkurang.

4.1.5 Pengamatan Struktur Makro dan Mikro

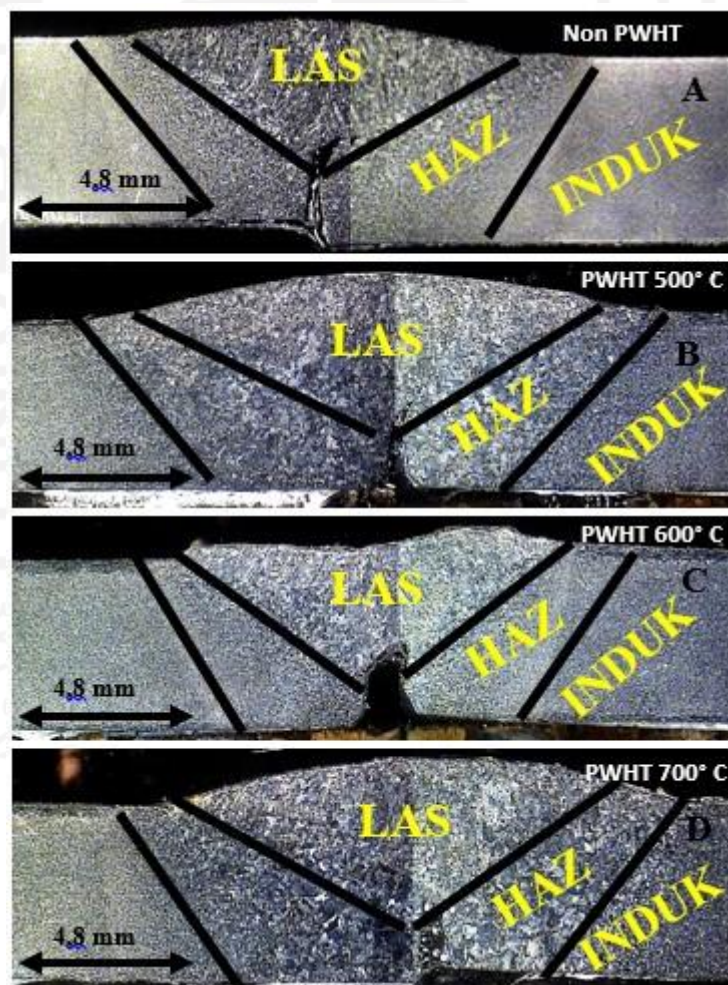
Pengamatan struktur makro dan mikro ini dilakukan untuk mengetahui sambungan dan struktur yang terbentuk setelah perlakuan panas *annealing* diberikan.

Pengamatan makro ini dilakukan di laboratorium Bahan Teknik UGM, menggunakan mikroskop dengan perbesaran 20x. Tebal dari spesimen yang digunakan adalah 4,8 mm. Pada setiap variasi uji diambil sample satu buah. Hasil dari pengamatan makro ini terlihat pada gambar berikut,

Berdasarkan gambar 4-7 sambungan las tidak ada cacat pada bagian sambungan las antar material. Pada variasi temperatur 600⁰ pengisian las tidak penuh sehingga bagian akar las tidak terisi, ini dikarenakan kecepatan pengelasan yang tidak stabil.

Pada proses pengelasan menghasilkan beberapa zona. Zona yang terbentuk adalah: 1 merupakan zona sambungan las, 2 merupakan zona HAZ pada zona HAZ ini terdapat dua macam yaitu HAZ halus dan HAZ kasar dan 3 merupakan zona logam induk. Berdasarkan zona tersebut diamati struktur mikro pada material, yang terlihat pada gambar 4-7.

Daerah las adalah daerah yang terkena panas dari proses pengelasan secara langsung sehingga menyebabkan terjadinya mencair dan juga terdapat penambahan *filler* atau elektroda. Kemudian daerah HAZ adalah daerah yang terpengaruh panas terletak disebelah daerah las pada daerah HAZ ini terdapat dua daerah didalamnya yaitu daerah HAZ kasar dan HAZ halus, HAZ kasar berbatasan dengan daerah las sedangkan HAZ halus berbatasan dengan daerah logam induk. Sedangkan daerah logam induk adalah daerah yang terpengaruh.

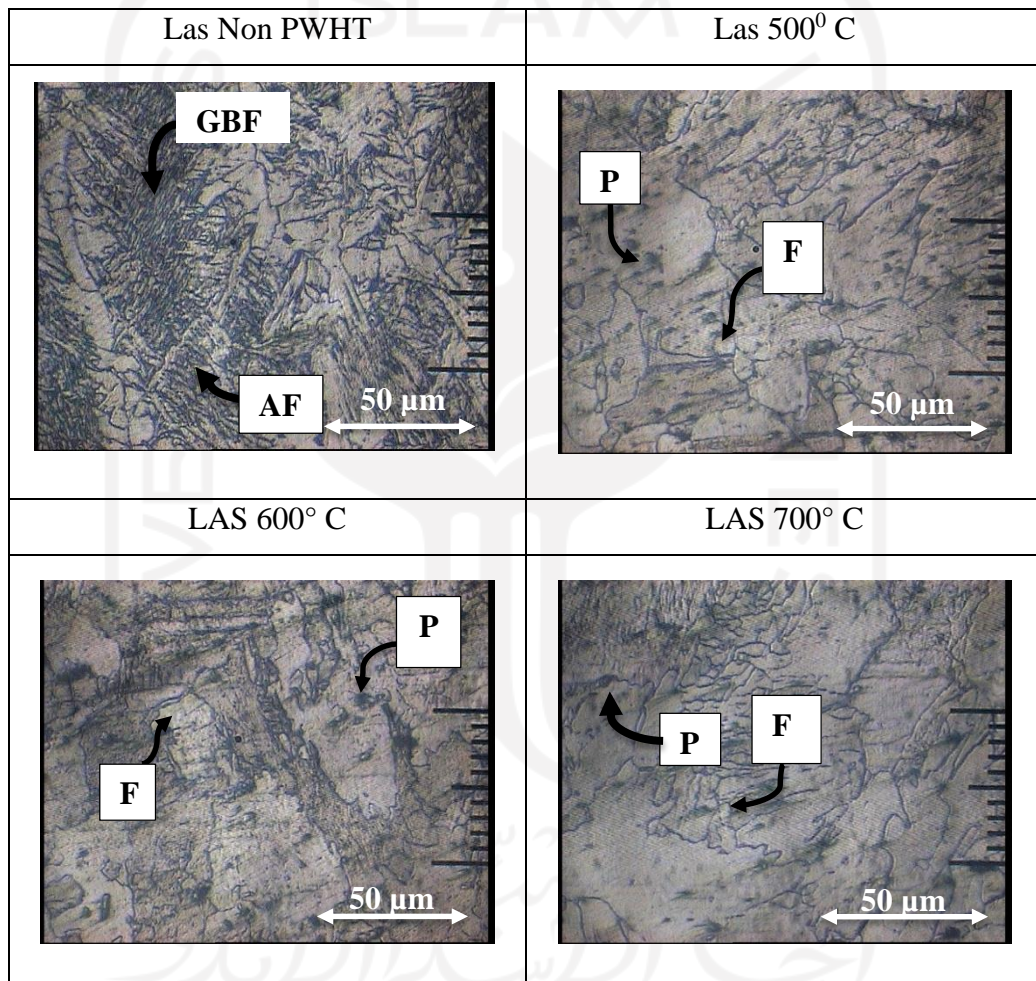


Gambar 4-5 : Hasil Pengamatan Makro A) Non PWHT B) 500°C C) 600°C D) 700°C

Berdasarkan zona yang terbentuk dari proses pengelasan dan proses perlakuan panas *annealing* kemudian dilakukan pengamatan struktur mikro dari setiap zona yang terbentuk.

Pada pengamatan struktur mikro ini diamati menggunakan mikroskop dengan perbesaran lensa 100x. Terlihat pada logam induk dan juga pada spesimen dengan variasi temperatur memiliki bentuk dan struktur mikro yang berbeda – beda.

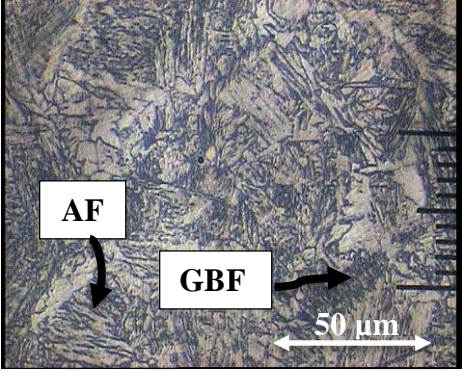
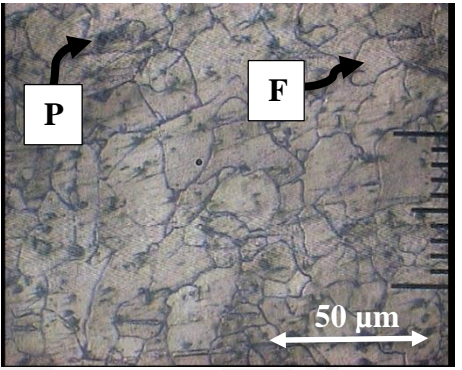
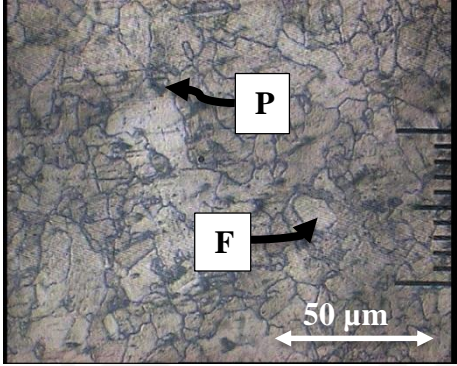
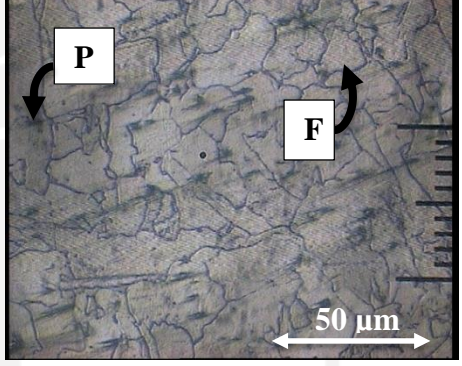
Table 4-1 : Hasil Pengamatan Mikro Daerah Las



Pada daerah las terlihat bentuk dari butir – butir struktur mikro masih tidak beraturan dan tidak sama antara satu dengan yang lain ini dikarenakan pada daerah las terjadi penambahan *filler* yang menyebabkan ketidak homogenan dari butir strukturnya. Pada logam Non PWHT terbentuk butir *Grain Boundary Ferit* dan *Acicular Ferit* ini dikarenakan panas dari proses pengelasan secara langsung dan juga penambahan *filler*. Setelah dilakukan perlakuan panas *annealing* butir

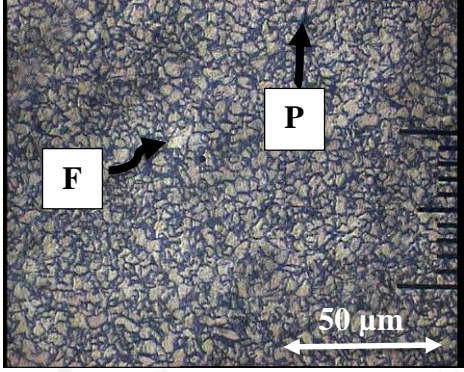
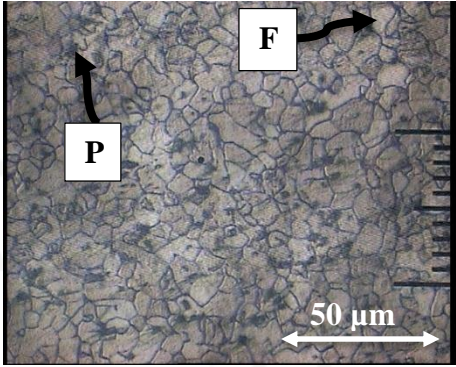
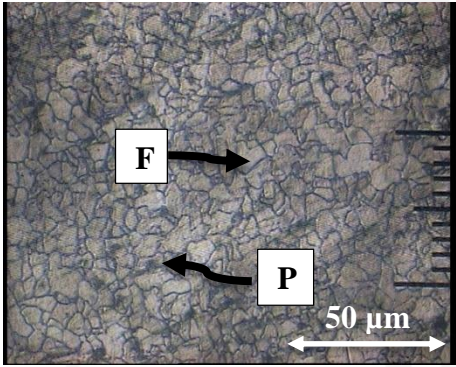
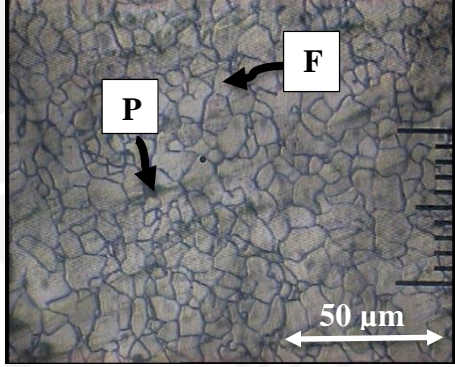
berubah menjadi *Ferit* dan *Perlit* dan bentuk dari struktur butir juga berubah relatif homogen dari segi ukurannya.

Table 4-2 : Hasil Pengamatan Mikro Daerah HAZ Kasar

HAZ kasar Non PWHT	HAZ kasar 500° C
	
HAZ kasar 600° C	HAZ kasar 700° C
	

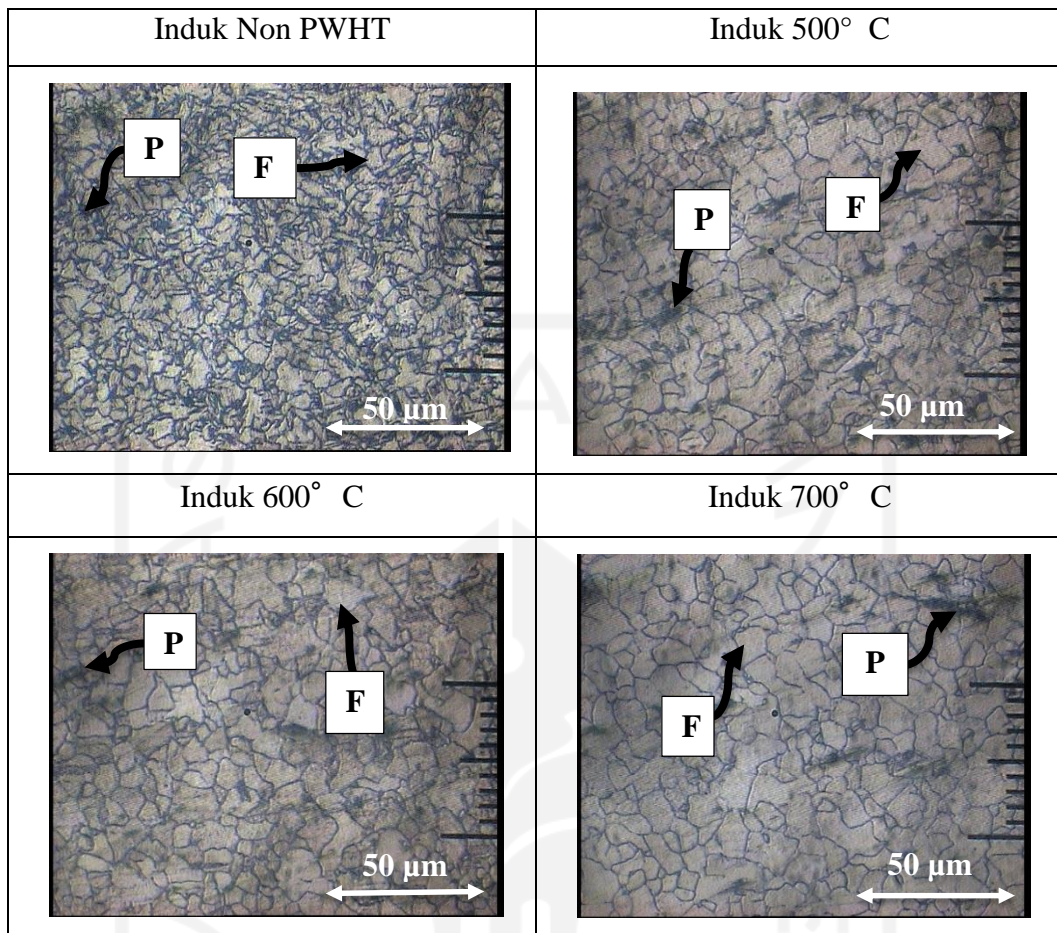
Pada daerah HAZ kasar ini terletak dekat dengan daerah las, daerah ini juga terpengaruh panas dari proses pengelasan tetapi tidak secara langsung sehingga butir strukturnya sama dengan daerah las. Pada logam Non PWHT butir struktur yang terbentuk adalah *Grain Boundary Ferrite* dan *Acicular Ferrite* setelah diberi perlakuan panas *annealing* butir struktur berubah menjadi *Ferit* dan *perlit* yang mendominasi. Bentuk struktur setelah proses *annealing* menjadi homogen dan lebih rapi dari sebelum di beri perlakuan *annealing*. Bentuk dari butir strukturnya pada logam Nn PWHT masih tidak beraturan dan belum homogen dari segi ukurannya sedangkan setelah diberi perlakuan panas *annealing* bentukstrukturnya lebih rapi dan homogen.

Table 4-3 : Hasil Pengamatan Mikro Dearah HAZ Halus

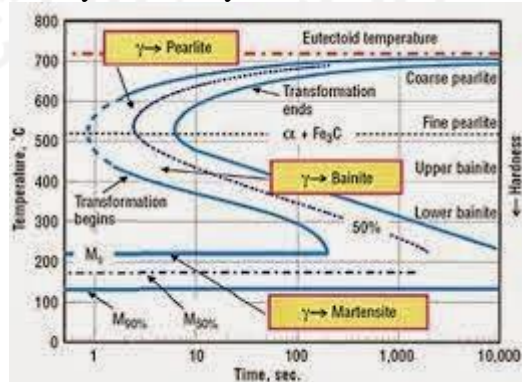
HAZ halus Non PWHT	HAZ halus 500° C
	
HAZ halus 600° C	HAZ halus 700° C
	

Di daerah HAZ halus terbentuk struktur mikro yang relatif besar dan tidak beraturan bentuknya. Pada daerah HAZ halus dengan perlakuan *annealing* terbentuk struktur mikro *Ferit* dan *Perlit*. Pada spesimen yang tidak diberi perlakuan *annealing* terbentuk adalah *Ferit* dan *Perlit*. Pada daerah HAZ halus ini berdekatan dengan logam induk sehingga terjadinya perubahan struktur jarang terjadi dikarenakan temperatur yang kurang untuk merubah butir strukturnya hanya bentuk dan ukurannya saja yang berubah. Bentuk struktur pada logam Non PWHT terlihat tidak beraturan dan belum homogen setelah diberi perlakuan *annealing* bentuk strukturnya relatif bulat dan homogen.

Table 4-4 : Hasil Pengamatan Mikro Logam Induk



Pada daerah logam induk pada daerah ini terpengaruh panas tetapi tidak signifikan sehingga tidak menyebabkan perubahan struktur. Pada daerah logam induk ini butir struktur yang terbentuk adalah *Ferit* dan *Perlit*. Bentuk struktur didaerah ini pada logam Non PWHT terlihat kecil dan belum terlalu homogen dari segi ukuran sedangkan setelah diberi perlakuan panas *annealing* terlihat bentuk dari butir strukturnya ukurannya lebih besar, relatif bulat dan homogen.



Gambar 4-6 : Diagram CCT/TTT

Dari diagram CCT diatas memperlihatkan pada temperatur kritis yaitu dibawah 700° C atau dapat disebut juga eutectoid temperatur membuat logam menjadi menurun kekerasannya dan menambah keuletan. Ini terjadi karena pertumbuhan struktur *perlit* yang terjadi. Pada struktur mikro yang telah diberi perlakuan *annealing* struktur mikronya berubah menjadi *perlit* dan *ferit* ini juga sama dengan diagram CCT yang mana pada temperatur 500° C, 600° C dan 700° C membuat perubahan struktur menjadi *perlit* dan *ferit* ini yang membuat kekerasannya menjadi turun yang dibarengi dengan bertambahnya keuletan.

4.1.6 Pengujian Korosi

Pengujian korosi ini dilakukan untuk mengetahui laju korosi dari material dan juga sambungan las. Pada pengujian ini berlangsung selama 40 hari dan setiap 10 hari berat dari spesimen ditimbang. Hasil dari pengujian tersebut berat dari spesimen yang mengalami penurunan dan tetap, seperti terlihat pada tabel 4-5

Table 4-5 : Hasil Pengujian Korosi

Variasi	Berat awal	Hari			
		I	II	III	IV
Non PWHT Las	23,32 gr	23,30 gr	23,30 gr	23,28 gr	23,27 gr
500 Las	10,00 gr	9,98 gr	9,98 gr	9,98 gr	9,97 gr
600 Las	12,00 gr	11,98 gr	11,97 gr	11,97 gr	11,97 gr
700 Las	10,00 gr	9,97 gr	9,93 gr	9,93 gr	9,93 gr

Berdasarkan hasil pengujian korosi diatas kemudian dihitung laju korosi dari material. Perhitungan dilakukan dengan persamaan (2.5), contoh perhitungan dari variasi temperatur 500° C pada sambungan las hari ke-I

Diketahui :

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

$$D = 7,8 \text{ g/cm}^3$$

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

$$A = 2 \text{ cm}^2$$

$$R(\text{mmpy}) = \frac{K \times W}{D \times A \times T} \quad (2.5)$$

$$R = \frac{8,76 \times 10^4 \times 0,02 \text{ gr}}{7,8 \text{ g/cm}^3 \times 2 \text{ cm}^2 \times 240 \text{ jam}} = 0,046 \text{ mmpy}$$

Hasil perhitungan laju korosi dapat dilihat pada tabel 4-6

Table 4-6 : Perhitungan Laju Korosi

Variasi	Laju korosi 10 hari ke- (mmpy)				Rata – rata
	I	II	III	IV	
Non PWHT	0,046	0	0,046	0,023	0,028
Las 500	0,046	0	0	0	0,011
Las 600	0,046	0,023	0	0	0,023
Las 700	0,070	0,093	0	0	0,040

Setelah menghitung laju korosi dari semua spesimen uji, selanjutnya hasil dari laju korosi akan dibandingkan pada standar uji korosi material untuk melihat kualitas laju korosi dari spesimen uji. Terlihat pada tabel 4-7 berikut

Table 4-7 : Standar Laju Korosi

Laju Korosi	Standar (mmpy)	Hasil spesimen (mmpy)				Keterangan
		Non PWHT	500° C	600° C	700° C	
Outstanding	<0,02		0,011			Outstanding
Excellent	0,02-0,1	0,028		0,023	0,040	Excellent
Good	0,1-0,5					
Fair	0,5-1					
Poor	1-5					
Unacceptable	>5					

Pada tabel laju korosi 4-7 terlihat hasil dari laju korosi berada pada standar outstanding untuk variasi temperatur 500° C. pada temperatur 600° C dan 700° C logam Non PWHT berada pada standar *excellent*. Pada variasi temperatur 500° C memiliki standar *outstanding* artinya laju korosinya lambat sehingga ketahanan terhadap korosi baik.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Peningkatan regangan tarik tertinggi terdapat pada variasi 700° C sebesar 87,84%. Penurunan tegangan tarik tertinggi terdapat pada variasi 600° C sebesar 27,23%.
- Peningkatan tegangan *bending* tertinggi pada variasi 500° C sebesar 102,55 % dengan nilai 485,51 MPa
- Peningkatan harga impak tertinggi terdapat pada variasi 700° C sebesar 600% dengan nilai 0,70 J/mm².
- Penurunan kekerasan tertinggi pada variasi 600° C yaitu 35,28% dengan nilai 99,99 VHN.
- Pada daerah las memiliki rata – rata tertinggi dari pada daerah HAZ dan logam induk dengan nilai 142,45 VHN ini terjadi pada semua variasi uji.
- Struktur mikro yang terbentuk pada daerah las dan daerah HAZ kasar adalah *Grain Boundary Ferit* dan *Aciculas Ferit*. Pada daerah HAZ halus dan logam induk struktur mikronya yang terbentuk adalah *Ferit* dan *Perlit*.
- Hasil pengujian korosi menunjukkan pada sambungan las non PWHT, variasi 600° C dan 700° C memiliki standar *excellent* dengan rata – rata <0,1. Pada variasi 500° C memiliki standar *outstanding* dengan rata – rata <0,02.
- Aplikasi proses *annealing* ini digunakan pada industri pengolahan logam baja dan produsen alat berat.

5.2 Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan ada beberapa sebagai berikut:

- Untuk melengkapi dan memperbaharui alat yang berada di laboratorium teknik mesin, supaya mempermudah mahasiswa untuk melakukan penelitian. Contoh: alat pengamplas, alat – alat pengujian.
- Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai variasi penahanan waktu saat proses *annealing*.
- Pada saat melakukan proses pengelasan disarankan untuk tidak terburu – buru.



DAFTAR PUSTAKA

- Trihutomo, Prihanto. (2014). *Pengaruh Proses Annealing Pada Hasil Pengelasan Terhadap Sifat Mekanik Baja Karbon Rendah*. Jurnal Teknik Mesin, 1, 81-88.
- Istiqlalayah, Hesti., Fatkur, Rhohman. (2016). *Pengaruh Variasi Temperatur Annealing Terhadap Kekerasan Sambungan Baja St 37*. Jurnal Teknik Mesin, 1, 137-142.
- Mildayati, Nurdin. (2021). *Pengaruh Temperatur terhadap Kekuatan Impak Sambungan Las Listrik pada Material Besi Plat ST 42*. Jurnal Teknik Mesin, 1, 35-42.
- Rohman, Huda Fathu., Gunawan, D.H. (2014). *Pengaruh Proses Heat Treatment Annealing Terhadap Struktur Mikro Dan Nilai Kekerasan Pada Sambungan Las Thermite Baja Np-42*. Jurnal Teknik Mesain, 2, 195-203.
- Tatapangarsa, Iftitah. (2016). *“Pengaruh Waktu Tahan Post-Heat Dan Cooling Rate Terhadap Struktur Mikro Dan Perilaku Ketahanan Korosi Baja Aisi 1006 Pada Proses Copperizing”*. Skripsi. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Hernawan, Dedi. (2015). *“Pengaruh Variasi Suhu Proses Annealing Pada Sambungan Smaw Terhadap Ketangguhan Las Baja K945 Ems45”*. Skripsi. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Aksara, Praditha Diksi. (2016). *“Pengaruh Temperatur Aging Dan Waktu Tahan Post-Heat Pada Proses Copperizing Terhadap Kekerasan, Ketahanan Korosi , Serta Struktur Mikro Baja Aisi 1006”*. Skripsi. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Afandi, Yudha Kurniawan., Irfan Syarif Arief. (2015). *“Analisa Laju Korosi pada Pelat Baja Karbon dengan Variasi Ketebalan Coating”*. Jurnal Teknik ITS, 4, G-1 - G-5.
- Sambodo, Gatot Tri. (2021). *“Penelitian Tugas Akhir Analisa Pengaruh Proses Annealing Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Pada Baja St60 Dengan Variasi Temperatur 750°, 800°, 850°, 900°C Dan Holding Time*

15 Menit, 30 Menit, 45 Menit, Dan 60 Menit". Skripsi. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Wirjosumarto, Harsono., Toshie Okumura. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.

Sari, Nasmi Herlina. (2018). *Baja AISI 1006: Efek Suhu Pemanasan Terhadap Sifat Mekanik Dan Strukturmikro*. Jurnal METTEK, 4, 1-7.

Amanto, Hari., dan Daryanto. 2003. *Ilmu Bahan*. Jakarta: PT Bumi Aksara.

Agung Nugroho Adi. 2010. *Apa Sih motor Step Itu?* Diakses dari nugroho.staff.uui.ac.id. pada 1/1/2011.



LAMPIRAN



LABORATORIUM BAHAN TEKNIK DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS GADJAH MADA

HASIL PENGUJIAN BENDING

No.	Variasi Spesimen	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (KN)	Defleksi (mm)	Tegangan Bending (MPa)
1	I 500_1	4.88	22.07	6.45	26.04	644.28
2	I 500_2	4.76	21.78	6.41	26.65	681.94
3	I 500_3	4.84	21.88	6.42	26.73	657.59
4	L 500_1	4.08	20.75	3.21	17.21	487.89
5	L 500_2	4.10	21.86	3.38	16.24	482.90
6	L 500_3	4.64	23.66	3.29	18.26	339.08
7	I 600_1	4.78	20.43	5.95	27.78	669.19
8	I 600_2	4.77	20.15	5.73	27.31	656.15
9	I 600_3	4.86	21.82	6.40	22.53	651.95
10	L 600_1	4.57	21.48	3.70	15.01	433.01
11	L 600_2	4.95	23.49	3.10	18.20	282.77
12	L 600_3	4.03	23.89	3.16	19.01	427.58
13	I 700_1	4.92	22.59	6.06	25.03	581.82
14	I 700_2	4.82	22.38	5.92	26.01	597.76
15	I 700_3	4.91	23.02	6.04	25.13	571.38
16	L 700_1	4.90	20.88	4.34	29.55	454.49
17	L 700_2	4.59	20.44	3.50	25.19	426.70
18	L 700_3	4.31	21.76	3.52	26.51	457.18

Lembar asli, tidak untuk digandakan

Keterangan:

1. Pengujian dilakukan tanggal 25 Desember 2021
2. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine
3. Standar spesimen menggunakan JIS Z 2248

Yogyakarta, 25 Desember 2021

Staf Laboratorium Bahan Teknik



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

NIP. 197703112002121002

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	I 500_1	151	300	82	162.2	52.4	3.096
2	I 500_2	151	300	58	224.7	59.9	3.754
3	I 500_3	151	300	78	173.2	59.9	2.892
4	L 500_1	151	300	142	13.9	49.5	0.280
5	L 500_2	151	300	142	13.9	52.6	0.263
6	L 500_3	151	300	141	15.6	49.7	0.314
7	I 600_1	151	300	110	85.2	47.0	1.813
8	I 600_2	151	300	98	117.7	52.8	2.230
9	I 600_3	151	300	97	120.4	47.0	2.562
10	L 600_1	151	300	118	64.8	52.3	1.240
11	L 600_2	151	300	129	39.2	54.1	0.725
12	L 600_3	151	300	135	26.8	53.4	0.502
13	I 700_1	151	300	98	117.7	40.3	2.919
14	I 700_2	151	300	95	126.0	51.9	2.427
15	I 700_3	151	300	88	145.5	46.0	3.165
16	L 700_1	151	300	130	37.1	51.6	0.719
17	L 700_2	151	300	128	41.4	60.8	0.682
18	L 700_3	151	300	135	26.8	58.9	0.455

Lembar asli, tidak untuk digandakan

Keterangan :

1. Menggunakan metode Charpy
2. Standar benda uji mengacu JIS 2202
3. Panjang lengan 0,8 meter
4. Berat palu 20 kilogram
5. Pengujian dilakukan pada tanggal 25 Desember 2021



Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281



LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

PENGUJIAN KEKERASAN VICKERS

Daerah Uji	Jarak dari las	D1 (mm)	D2 (mm)	D rata-rata (mm)	Kekerasan (VHN)
500_Las	0.0	0.76	0.76	0.76	128.39
	1.5	0.77	0.77	0.77	125.08
	3.0	0.77	0.79	0.78	121.89
500_HAZ	4.5	0.79	0.80	0.80	117.34
	6.0	0.82	0.82	0.82	110.29
	7.5	0.83	0.84	0.84	106.36
500_Induk	9.0	0.85	0.86	0.86	101.45
	10.5	0.87	0.87	0.87	97.98
	12.0	0.88	0.90	0.89	93.62
600_Las	0.0	0.70	0.72	0.71	147.11
	1.5	0.75	0.74	0.75	133.62
	3.0	0.76	0.76	0.76	128.39
600_HAZ	4.5	0.87	0.87	0.87	97.98
	6.0	0.91	0.91	0.91	89.55
	7.5	0.93	0.93	0.93	85.74
600_Induk	9.0	0.95	0.95	0.95	82.17
	10.5	0.95	0.96	0.96	81.31
	12.0	0.96	0.96	0.96	80.47
700_Las	0.0	0.69	0.70	0.70	153.53
	1.5	0.71	0.73	0.72	143.06
	3.0	0.72	0.74	0.73	139.16
700_HAZ	4.5	0.75	0.76	0.76	130.10
	6.0	0.90	0.90	0.90	91.56
	7.5	0.92	0.92	0.92	87.62
700_Induk	9.0	0.93	0.94	0.94	84.83
	10.5	0.97	0.97	0.97	78.82
	12.0	0.97	0.98	0.98	78.01

Lembar asli, tidak digandakan

Keterangan:

1. Pengujian dilakukan tanggal 3 Januari 2022
2. Pengujian menggunakan Universal hardness tester
3. Pembebanan menggunakan 40 kgf



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	I 500_1	4.71	10.18	19.54	13.05	407.53	26.10
2	I 500_2	4.75	10.54	21.94	15.81	438.23	31.62
3	I 500_3	4.74	9.41	17.05	10.96	382.26	21.92
4	L 500_1	4.27	11.57	8.20	3.30	165.98	6.60
5	L 500_2	4.19	11.87	8.10	3.34	162.86	6.68
6	L 500_3	4.76	12.03	12.65	4.00	220.91	8.00
7	I 600_1	4.09	9.44	11.57	15.24	299.67	30.48
8	I 600_2	4.07	9.64	12.09	19.00	308.14	38.00
9	I 600_3	4.05	9.85	11.79	14.54	295.54	29.08
10	L 600_1	4.40	9.53	6.00	3.31	143.09	6.62
11	L 600_2	4.34	10.45	8.93	4.19	196.90	8.38
12	L 600_3	4.32	10.20	7.29	4.15	165.44	8.30
13	I 700_1	4.14	10.31	12.48	21.39	292.39	42.78
14	I 700_2	4.10	10.21	12.53	22.65	299.32	45.30
15	I 700_3	4.10	10.06	12.28	19.90	297.73	39.80
16	L 700_1	4.09	10.85	7.93	3.93	178.70	7.86
17	L 700_2	4.31	12.40	11.88	6.19	222.29	12.38
18	L 700_3	4.02	10.09	6.80	4.79	167.65	9.58

Lembar asli, tidak untuk digandakan

Keterangan:

1. Pengujian dilakukan tanggal 25 Desember 2021
2. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine
3. Standar spesimen menggunakan JIS Z 2201



Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281

Standar Deviasi Pada Regangan Tarik								
no	variasi spstimen	regangan %	\bar{x}	$xi-\bar{x}$	$(xi-\bar{x})^2$	standar deviasi (s)	rentang $\bar{x}+s < xi < \bar{x}-s$	Rata - rata
1	Zig-Zag 1	5,04	5,98	-0,94	0,88	1,53	4,45 < xi < 7,51	5,10
2	Zig-Zag 2	7,74	5,98	1,76	3,10			
3	Zig-Zag 3	5,16	5,98	-0,82	0,67			
4	Las 500 1	6,60	7,09	-0,49	0,24	0,79	6,30 < xi < 7,88	6,64
5	Las 500 2	6,68	7,09	-0,41	0,17			
6	Las 500 3	8,00	7,09	0,91	0,83			
7	Las 600 1	6,62	7,77	-1,15	1,31	0,99	6,78 < xi < 8,76	8,34
8	Las 600 2	8,38	7,77	0,61	0,38			
9	Las 600 3	8,30	7,77	0,53	0,28			
10	Las 700 1	7,86	9,94	-2,08	4,33	2,28	7,66 < xi < 12,22	9,58
11	Las 700 2	12,38	9,94	2,44	5,95			
12	Las 700 3	9,58	9,94	-0,36	0,13			

standar deviasi pada tegangan tarik								
No	Variasi Spesimen	Tegangan Mpa	\bar{X}	$Xi-\bar{X}$	$(Xi-\bar{X})^2$	Standar Deviasi (S)	Rentang $\bar{X}+S < Xi < \bar{X}-S$	Rata - Rata
1	Zig-Zag 1	214,92	204,96	9,96	99,13	12,52	192,44 < xi < 217,48	211,99
2	Zig-Zag 2	190,90	204,96	-14,06	197,70			
3	Zig-Zag 3	209,07	204,96	4,11	16,87			
4	Las 500 1	165,98	183,25	-17,27	298,32	32,65	150,60 < xi < 215,90	164,42
5	Las 500 2	162,86	183,25	-20,39	415,69			
6	Las 500 3	220,91	183,25	37,66	1418,37			
7	Las 600 1	143,09	168,48	-25,39	644,54	27,03	141,45 < xi < 195,51	154,26
8	Las 600 2	196,90	168,48	28,42	807,88			
9	Las 600 3	165,44	168,48	-3,04	9,23			
10	Las 700 1	178,70	189,54	-10,85	117,63	28,89	160,65 < xi < 218,43	173,17
11	Las 700 2	222,29	183,29	39,00	1521,05			
12	Las 700 3	167,65	183,29	-15,64	244,69			

standar deviasi pada harga impact

No.	Variasi Spesimen	Harga Impact (J/m^2)	\bar{x}	$xi - \bar{x}$	$(xi - \bar{x})^2$	standar deviasi (s)	rentang $\bar{x} + s < xi < \bar{x} - s$	rata - rata
1	Zig-Zag_1	0,085	0,128	-0,043	0,001877	0,051	$0,077 < xi < 0,179$	0,10
2	Zig-Zag_2	0,115	0,128	-0,013	0,000176			
3	Zig-Zag_3	0,185	0,128	0,057	0,003197			
4	L_500_1	0,280	0,286	-0,006	0,000031	0,026	$0,260 < xi < 0,312$	0,27
5	L_500_2	0,263	0,286	-0,022	0,000506			
6	L_500_3	0,314	0,286	0,028	0,000775			
7	L_600_1	1,240	0,822	0,417	0,174	0,378	$0,444 < xi < 1,200$	0,61
8	L_600_2	0,725	0,822	-0,097	0,009			
9	L_600_3	0,502	0,822	-0,320	0,103			
10	L_700_1	0,719	0,619	0,101	0,010	0,143	$0,476 < xi < 0,762$	0,70
11	L_700_2	0,682	0,536	0,145	0,021			
12	L_700_3	0,455	0,536	-0,082	0,007			

standar deviasi pada kekuatan bending

no	variasi spesimen	teganggan	\bar{x}	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$	standar deviasi (s)	rentang $\bar{x} + s < x_i < \bar{x} - s$	Rata - rata
1	Zig-Zag_1	218,11	232,50	14,39	207,01	12,75	219,73 < x_i < 245,25	239,69
2	Zig-Zag_2	236,97	232,50	4,47	19,98			
3	Zig-Zag_3	242,42	232,50	9,92	98,38			
4	L 500_1	487,89	436,63	51,27	2628,48	84,51	352,12 < x_i < 521,14	485,40
5	L 500_2	482,90	436,63	46,28	2141,40			
6	L 500_3	339,08	436,63	97,55	9515,65			
7	L 600_1	433,01	381,12	51,89	2692,36	85,22	295,90 < x_i < 466,34	430,29
8	L 600_2	282,77	381,12	98,35	9673,16			
9	L 600_3	427,58	381,12	46,46	2158,78			
10	L 700_1	454,49	446,12	8,37	70,03	16,88	429,24 < x_i < 463	455,84
11	L 700_2	426,70	446,12	19,43	377,35			
12	L 700_3	457,18	446,12	11,06	122,27			

