

**PENGARUH TEMPERATUR *POST WELD HEAT*  
*TREATMENT* (PWHT) TERHADAP SIFAT FISIK DAN  
MEKANIK PADA SAMBUNGAN LAS MIG BAJA AISI 1000  
SS**

**TUGAS AKHIR**

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



**Disusun Oleh :**

**Nama : Fa'iq Pungkas Muharam**

**No. Mahasiswa : 15525094**

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

**2021**

## PERNYATAAN ORISINALITAS TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini, Fa'iq Pungkas Muharam menyatakan bahwa tugas akhir dengan judul “Pengaruh Temperatur *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Pada Sambungan Las MIG Baja AISI 1000 SS” adalah hasil dari tulisan saya sendiri. Dengan ini saya menyatakan sesungguhnya bahwa dalam tugas akhir ini tidak terdapat tulisan orang lain yang saya ambil dengan cara menyalin, baik dalam bentuk kalimat atau symbol yang menunjukkan gagasan atau pendapat dari penulis lain. Apabila dikemudian hari terdapat ketidak benaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik, serta sanksi yang sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Yogyakarta, 15 Januari 2021



Fa'iq Pungkas Muharam

**LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING**

**PENGARUH TEMPERATUR *POST WELD HEAT TREATMENT*  
(PWHT) TERHADAP SIFAT FISIK DAN MEKANIK PADA  
SAMBUNGAN LAS MIG BAJA AISI 1000 SS**

**TUGAS AKHIR**

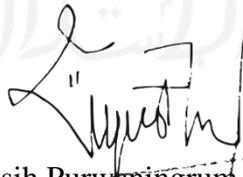
**Disusun Oleh :**

**Nama : Fa'iq Pungkas Muharam**

**No. Mahasiswa : 15525094**

Yogyakarta, 15 Januari 2021

Pembimbing I,



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

**LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI**

**PENGARUH TEMPERATUR *POST WELD HEAT TREATMENT*  
(PWHT) TERHADAP SIFAT FISIK DAN MEKANIK PADA  
SAMBUNGAN LAS MIG BAJA AISI 1000 SS**

**TUGAS AKHIR**

**Disusun Oleh :**

**Nama : Faiq Pungkas Muharam**

**No. Mahasiswa : 15525094**

Tim Penguji

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

Ketua

Tanggal : 15-02-2021

Purtojo, S.T., M.Sc.

Anggota I

Tanggal : 11-02-2021

Muhammad Faizun, S.T., M.Eng., Ph.D

Anggota II

Tanggal : 19-02-2021

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Eng. Kisdiono, S.T., M.Eng.

## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis diberikan kesehatan selalu dan juga terimakasih atas doa dan dukungan dari orang-orang tercinta sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini dengan lancar dan tepat pada waktunya.

Terimakasih kepada Allah SWT yang telah memberikan nikmat ilmu, rahmat dan hidayah-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan penelitian ini.

Terimakasih kepada Nabi Muhammad SAW karena telah membawa umat manusia dari zaman kegelapan zaman yang terang-benderang ini. Semoga diberikan syafaatnya kelak.

Terimakasih kepada orang tua saya Bapak Imam Bukhori dan Ibu Andika Sindawati yang selalu memberi dukungan dan doa kepada saya, karena sesungguhnya doa kedua orang tua itu adalah doa yang paling mujarab. Sungguh ucapan terimakasih ini tidak akan pernah cukup untuk membalas jasa kedua orang tua. Maka dari itu, tugas akhir ini kupersembahkan untuk kalian kedua orang tuaku.

Terimakasih kepada Bapak dan Ibu Dosen pengajar, pembimbing dan penguji karena telah memberikan saya pelajaran yang sangat berharga ketika kuliah di Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.

Terimakasih kepada kaka saya Safira Anugraini Putri, karena selalu menyemangati dan membantu saya selama proses penelitian tugas akhir ini.

Terimakasih juga kepada teman-teman saya yang selama melakukan penelitian tugas akhir ini selalu menyemangati saya tanpa henti.

Terimakasih yang sebesar-besarnya untuk kalian semua. Akhir kata saya persembahkan tugas akhir ini untuk kalian orang yang saya sangat sayangi. Semoga tugas akhir saya ini dapat berguna dan bermanfaat untuk kemajuan ilmu pengetahuan di masa yang akan datang. Aamiin.

## HALAMAN MOTTO

“Jangan katakan pada Allah ‘aku punya masalah besar’, tetapi katakan pada masalah bahwa ‘aku punya Allah Yang Maha Besar’.”

**-Ali bin Abi Thalib**

“Suatu pengetahuan (ilmu), walaupun tidak bermanfaat untukmu, tidak akan membahayakanmu.”

**-Umar bin Khattab**

“Seorang yang putus asa melihat kesulitan dalam setiap kesempatan, tetapi orang yang optimis melihat peluang dalam setiap kesulitan.”

**-Ali bin Abi Thalib**



## KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirahim

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan tugas akhir dengan judul : “Pengaruh Temperatur *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) Terhadap Sifat Fisik Dan Mekanik Pada Sambungan Las MIG Pada Baja AISI 1000 SS”. Atas rahmat, ridho dan kasih sayang-Nya penulis masih diberikan kesempatan, kesehatan dan kemampuan untuk menyelesaikan Tugas Akhir. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi syarat dalam menyelesaikan studi strata-1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.

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

1. Allah SWT, yang telah memberikan segalanya kepada penulis dan Nabi Muhammad SAW juga segenap keluarga dan para sahabat.
2. Kedua orang tua, Ayah Imam Bukhori dan Ibu Andika Sindawati serta Kaka Safira Anugraini Putri yang senantiasa mendo'akan dan memberikan dukungan dalam menempuh pendidikan.
3. Bapak Dr. Eng. Risdiyono, S,T ., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
4. Ibu Yustiasih Purwaningrum, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing penulis.
5. Seluruh dosen dan karyawan di lingkungan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia. Terimakasih atas kerjasama yang telah diberikan kepada penulis.
6. Pak Lilik selaku pembimbing dalam melakukan pengujian material di Laboratorium Pengujian Material Jurusan Teknik Mesin UGM.
7. Yogi Putra Jaya selaku teman kerja dalam penelitian ini.

8. Mila Andriani Fristia yang selalu memberikan dukungan dan semangat selama penulis menyusun skripsi ini.
9. Teman-teman dari berbagai macam kalangan yang sudah sangat baik terhadap penulis, yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Semoga amal kebaikan yang telah diberikan akan mendapat balasan dari Allah SWT. Penulis meminta maaf apabila di dalam tugas akhir ini terdapat kesalahan dan kekeliruan, serta penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan penyusunan laporan berikutnya. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan juga untuk orang yang membaca.

Yogyakarta, 15 Januari 2021



Fa'iq Pungkas Muharam

NIM : 15525094

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
الجامعة الإسلامية  
الاندونيسية

## ABSTRAK

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh variasi temperatur annealing pada sambungan las baja terhadap sifat fisik dan mekanik. Penelitian ini menggunakan baja AISI 1000 SS yang mengandung komposisi 0,0695% C, 1,0629% Mn, 98,27% dan beberapa unsur panduan lainnya. Jenis las pada penelitian ini menggunakan las Metal Inert Gas (MIG) dengan gas pelindung argon (100%) dan dilakukan pengujian kerataan spesimen. Kemudian satu spesimen langsung ke tahap pengujian, sedangkan ketiga spesimen dilakukan perlakuan panas annealing pada suhu 600°C, 800°C dan 1000°C dengan holding time 60 menit. Setelah itu didinginkan didalam alat selama 24 jam kurang lebih. Dari hasil uji kerataan setiap spesimen mengalami kelengkungan. Untuk hasil foto makro dapat dilihat di daerah las pada spesimen tanpa PWHT dan variasi annealing 600°C, 800°C terdapat kecacatan. Hasil dari foto mikro pada setiap spesimen, semakin tinggi temperatur maka fasa perlit dan ferit semakin merata. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai uji kekerasan spesimen tanpa PWHT di semua daerah lebih tinggi dari spesimen yang sudah melalui proses PWHT. Pada daerah las di titik 9 variasi temperature 600°C yang memiliki nilai kekerasan lebih tinggi sebesar 167,86 HVN dibanding spesimen dengan variasi temperature annealing lain. Dari hasil uji tarik tegangan dan regangan spesimen tanpa PWHT sebesar 525,81 Mpa dan 15,91% mengalami penurunan di spesimen variasi temperature 600°C sebesar 267,18 Mpa dan 4,08%. Sedangkan dari hasil uji bending didapatkan bahwa spesimen tanpa PWHT memiliki tegangan tertinggi sebesar 2155,4 Mpa dan mengalami penurunan pada spesimen variasi temperature 600°C sebesar 969,72 Mpa. Spesimen yang digunakan memiliki ketahanan korosi yang sangat baik.

***kata kunci : las MIG, baja AISI 1000 SS, pengaruh annealing***

## **ABSTRACT**

*The purpose of this study was to determine how much influence the variation of annealing temperature on steel weld joint has on physical and mechanical properties. This study used AISI 1000 SS steel containing a composition of 0.0695% C, 1.0629% Mn, 98.27% and several other guide elements. The type of welding in this study used Metal Inert Gas (MIG) welding with argon shielding gas (100%) and tested the specimen flatness. Then one specimen went straight to the testing stage, while the three specimens were subjected to heat annealing at temperatures of 600°C, 800°C and 1000°C with a holding time of 60 minutes. After that it is cooled in the tool for 24 h or so. From the results of the flatness test, each specimen had curvature. For the macro photo results, it can be seen in the weld area on the specimens without PWHT and annealing variations of 600°C, 800°C there are defects. The results of the micro photo on each specimen, the higher the temperature, the pearlite and ferrite phases are more evenly distributed. The results showed that the hardness test value of specimens without PWHT in all areas was higher than specimens that had gone through the PWHT process. In the weld area at point 9 a temperature variation of 600°C has a higher hardness value of 167.86 HVN compared to specimens with other annealing temperature variations. From the results of the stress and strain tensile test specimens without PWHT were 525.81 MPa and 15.91% decreased in specimens with a temperature variation of 600°C of 267.18 MPa and 4.08%. Meanwhile, from the bending test results, it was found that the specimen without PWHT had the highest stress of 2155.4 MPa and decreased in the temperature variation specimen 600°C of 969.72 Mpa. The specimens used have excellent corrosion resistance.*

**keywords : MIG welding, steel AISI 1000 SS, annealing effect**

## DAFTAR ISI

Halaman Judul .....	i
Pernyataan Orisinalitas Tugas Akhir .....	ii
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing .....	iii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji .....	iv
Halaman Persembahan .....	v
Halaman Motto .....	vi
Kata Pengantar .....	vii
Abstrak .....	ix
<i>Abstract</i> .....	x
Daftar Isi .....	xi
Daftar Tabel .....	xiii
Daftar Gambar .....	xiv
Daftar Notasi .....	xvi
Bab 1 Pendahuluan .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	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 Pengelasan .....	6
2.2.2 Baja .....	8
2.2.3 Pengujian Material .....	10
2.2.4 Post Weld Heat Treatment (PWHT) .....	16
Bab 3 Metode Penelitian .....	18
3.1 Alur Penelitian .....	18
3.2 Peralatan dan Bahan .....	19

3.3	Proses Persiapan Spesimen .....	27
3.4	Proses Pengelasan.....	28
3.5	Pengujian Kerataan.....	29
3.6	Proses <i>Annealing</i> .....	30
3.7	Pengujian Tarik .....	30
3.8	Pengujian <i>Bending</i> .....	31
3.9	Pengujian Kekerasan .....	32
3.10	Pengujian Metallografi .....	33
3.11	Pengujian Korosi .....	35
3.12	Pengujian Komposisi.....	35
Bab 4	Hasil dan Pembahasan .....	37
4.1	Analisis dan Pembahasan Hasil Pengujian Kerataan .....	37
4.2	Uji Komposisi Kimia.....	39
4.3	Analisis dan Pembahasan Hasil Pengujian Metallografi.....	40
4.4	Analisis dan Pembahasan Hasil Pengujian Kekerasan.....	44
4.5	Analisis dan Pembahasan Hasil Pengujian Tarik .....	45
4.6	Analisis dan Pembahasan Hasil Pengujian <i>Bending</i> .....	47
4.7	Analisis dan Pembahasan Hasil Pengujian Korosi.....	48
Bab 5	Penutup.....	51
5.1	Kesimpulan.....	51
5.2	Saran.....	52
Daftar Pustaka	.....	53

## DAFTAR TABEL

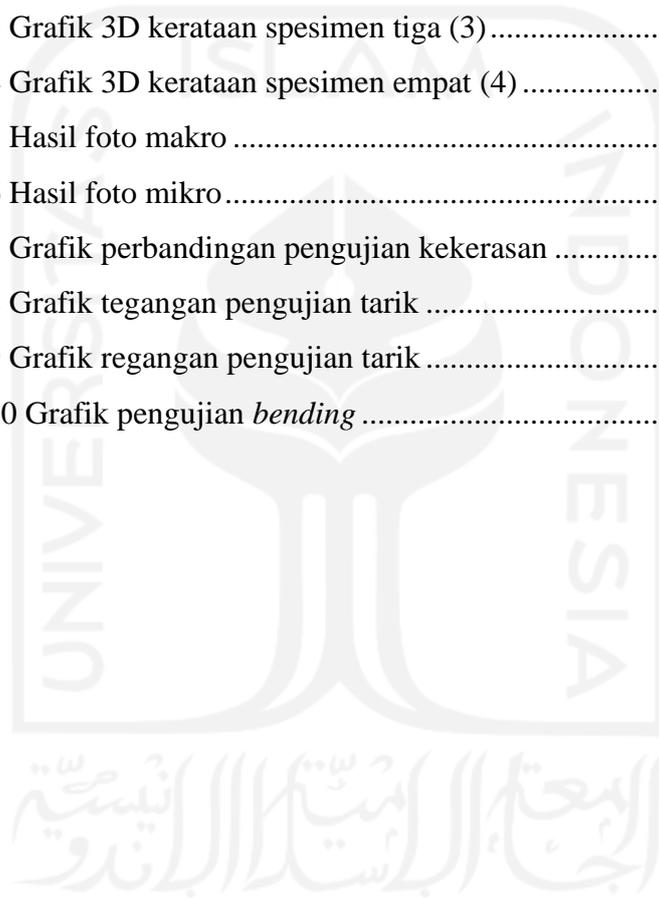
Tabel 4.1 Data komposisi kimia spesimen baja .....	39
Tabel 4.2 Data komposisi kimia daerah las .....	40
Tabel 4.3 Hasil data kehilangan berat .....	48
Tabel 4.4 Nilai laju korosi .....	49
Tabel 4.5 Standar uji korosi (Fontana, 1986) .....	50



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Prinsip GMAW (Jeffus, 2011 : 230) .....	6
Gambar 2.2 Komponen las MIG (Wirosumarto dan Okumura, 2000).....	7
Gambar 2.3 Kurva tegangan-regangan rekayasa (Dieter, 1996) .....	12
Gambar 2.4 Metode three-point bending (Syahrani, 2013).....	13
Gambar 2.5 Konstanta laju korosi berdasarkan satuannya (Bunga, 2008).....	15
Gambar 2.6 Perbandingan tingkat klasifikasi laju korosi dengan tingkat ekspresi secara metrik (Fontana, 1986) .....	15
Gambar 3.1 Diagram alur penelitian .....	18
Gambar 3.2 Alat pelindung diri .....	19
Gambar 3.3 Spesimen baja .....	20
Gambar 3.4 Penggaris besi .....	20
Gambar 3.5 Dial indikator dan <i>magnetic v-block</i> .....	21
Gambar 3.6 Spidol.....	21
Gambar 3.7 Ragum.....	22
Gambar 3.8 Gerinda tangan.....	22
Gambar 3.9 Mesin las MIG .....	23
Gambar 3.10 Kawat ER70S-6 .....	23
Gambar 3.11 Gas argon .....	24
Gambar 3.12 <i>Clamp</i> .....	24
Gambar 3.13 Thermogun.....	25
Gambar 3.14 Mesin furnace .....	25
Gambar 3.15 Ampelas .....	26
Gambar 3.16 Resin dan katalis .....	26
Gambar 3.17 Air laut .....	27
Gambar 3.18 Pemotongan spesimen 30x10 cm.....	27
Gambar 3.19 Proses pengelasan spesimen .....	28
Gambar 3.20 Pengujian kerataan.....	29
Gambar 3.21 Proses annealing .....	30
Gambar 3.22 Bentuk dan dimensi spesimen uji tarik.....	31
Gambar 3.23 Alat pengujian tarik .....	31

Gambar 3.24 Bentuk dan dimensi spesimen uji <i>bending</i> .....	32
Gambar 3.25 Alat pengujian <i>bending</i> .....	32
Gambar 3.26 <i>Micro hardness vickers</i> MHV M3, Japan.....	33
Gambar 3.27 Metallurgical microscope with inverted olympus PME3 .....	34
Gambar 3.28 Spesimen uji metallografi .....	35
Gambar 3.29 Proses pengujian korosi .....	35
Gambar 4.1 Grafik 3D kerataan spesimen satu (1) .....	37
Gambar 4.2 Grafik 3D kerataan spesimen dua (2) .....	38
Gambar 4.3 Grafik 3D kerataan spesimen tiga (3).....	38
Gambar 4.4 Grafik 3D kerataan spesimen empat (4) .....	38
Gambar 4.5 Hasil foto makro .....	41
Gambar 4.6 Hasil foto mikro .....	43
Gambar 4.7 Grafik perbandingan pengujian kekerasan .....	45
Gambar 4.8 Grafik tegangan pengujian tarik .....	46
Gambar 4.9 Grafik regangan pengujian tarik .....	47
Gambar 4.10 Grafik pengujian <i>bending</i> .....	48



## DAFTAR NOTASI

MIG = Metal Inert Gas

PWHT = Post Weld Heat Treatment

HAZ = Heat Affected Zone



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Seiring dengan berkembangnya teknologi industri khususnya di bidang konstruksi, sistem pengelasan menjadi salah satu pilihan yang banyak digunakan dalam penyambungan logam, hal ini disebabkan karena kekuatan las dapat mendekati atau bahkan melebihi kekuatan logam induknya. Hampir disetiap struktur konstruksi yang berhubungan dengan logam melibatkan unsur pengelasan.

Pengelasan adalah proses penyambungan logam atau non logam yang dilakukan dengan memanaskan material yang akan disambung hingga temperatur las yang dilakukan dengan cara menggunakan tekanan (*pressure*) dan tanpa menggunakan logam pengisi (American Welding Society, 1989), sedangkan pengelasan dapat didefinisikan suatu cara untuk menyambung benda padat dengan jalan mencairkannya melalui pemanasan (Citrakara et al., 2016).

Menurut buku Daryanto pada tahun 2013 terdapat lebih dari 50 jenis proses pengelasan yang dapat digunakan untuk menyambung berbagai logam dan panduan, salah satunya ada proses pengelasan MIG. Secara luas pengelasan MIG digunakan setiap kali dibutuhkan peleburan logam dengan kecepatan tinggi dan sedang. Gas pelindung melingkupi arc, proses pemindahan tetesan dan leburan logam dari pengaruh atmosfer. Untuk pengelasan logam menggunakan gas inert argon atau campuran argon helium (Dimu & Rerung, n.d., 2019).

Industri – industri di Indonesia menggunakan logam baik dalam bentuk jadi atau setengah jadi, contohnya seperti baja. Definisi baja menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) adalah suatu benda logam yang keras dan kuat (Departemen Pendidikan Nasional, 2005).

Proses pengelasan pada baja dapat menyebabkan logam di sekitar daerah las mengalami siklus termal cepat sehingga terjadi perubahan sifat, metalurgi yang rumit, deformasi dan tegangan – tegangan termal. Tentu perubahan yang terjadi ini dapat mengurangi kekuatan sambungan las sehingga harus menemukan cara agar kekuatan dari sambungan tidak berkurang. Dalam kejadian ini ada

beberapa cara yang dapat dilakukan untuk mengatasinya, antara lain dengan memberikan perlakuan *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) pada sambungan las (Hestiawan & Suryono, 2014).

*Post Weld Heat Treatment* (PWHT) adalah pemanasan kembali daerah las setelah pengelasan selesai dilakukan, hal ini bertujuan untuk melunakkan daerah kena pengaruh panas las, meningkatkan ketangguhan daerah las dan menghilangkan tegangan sisa pada saat pengelasan (Hestiawan & Suryono, 2014).

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka penulis mempunyai tujuan untuk meneliti pengaruh variasi *temperature Post Weld Heat Treatment* (PWHT) dengan metode *annealing* pada sambungan las MIG baja terhadap sifat fisik dan mekanik. Semoga hasil dari penelitian ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang ditulis oleh penulis, maka rumusan masalah yang diajukan pada penelitian, yaitu : Bagaimana pengaruh variasi *temperature Post Weld Heat Treatment* (PWHT) dengan metode *annealing* pada sambungan las MIG baja AISI 1000 SS terhadap sifat fisik dan mekanik dari dilakukannya uji komposisi, uji kerataan, uji tarik, uji *bending*, uji kekerasan, uji korosi, uji metallografi yaitu pengamatan struktur mikro dan struktur makro ?

## **1.3 Batasan Masalah**

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

- a. Material yang digunakan adalah baja AISI 1000 SS.
- b. Pengelasan dilakukan dengan menggunakan las MIG.
- c. *Heat treatment* yang dilakukan adalah *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) menggunakan metode *annealing* dengan variasi suhu 600°C, 800°C dan 1000°C.
- d. Pembahasan penelitian ini hanya mencakup pengaruh variasi *temperature Post Weld Heat Treatment* (PWHT) dengan metode *annealing* pada sambungan las MIG baja AISI 1000 SS terhadap sifat fisik dan mekanik dari dilakukannya uji komposisi, uji kerataan, uji tarik, uji *bending*, uji kekerasan,

uji korosi, uji metallografi yaitu pengamatan struktur mikro dan struktur makro.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disampaikan maka ditentukan tujuan penelitian yaitu untuk mengetahui pengaruh variasi *temperature Post Weld Heat Treatment* (PWHT) dengan metode *annealing* pada sambungan las MIG baja AISI 1000 SS terhadap sifat fisik dan mekanik dari dilakukannya uji komposisi, uji kerataan, uji tarik, uji *bending*, uji kekerasan, uji korosi, uji metallografi yaitu pengamatan struktur mikro dan struktur makro.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Berikut manfaat yang didapatkan dari penelitian ini, yaitu :

- a. Dapat mengetahui sifat fisik dan mekanik dari sambungan las MIG pada baja AISI 1000 SS dengan variasi *temperature annealing*.
- b. Dapat menambah pengetahuan tentang pentingnya variasi proses *temperature annealing* terhadap sambungan las MIG baja AISI 1000 SS.

#### **1.6 Sistematika Penulisan**

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

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Kajian Pustaka

Penelitian yang dilakukan oleh Suparman pada tahun 2006 bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu *annealing* pada *Post Weld Heat Treatment* pengelasan baja *Bohler Grade K-945 EMS 45* terhadap sifat fisis (foto mikro) dan mekanis (uji kekerasan dan uji tarik). Spesimen dengan cara memotong plat baja tersebut dan dibuat kampuh V untuk pengelasan, spesimen bentuk uji tarik sesuai dengan standar ASTM E8. Kemudian dilakukan proses anil dengan variasi suhu 750°C, 800°C, 850°C dan 900°C dipanaskan selama 1 jam dan didinginkan di dalam tungku. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tegang tarik *raw material* dengan *treatment* dan tanpa *treatment* mengalami penurunan. Nilai kekerasan pada *raw material* tanpa *treatment* mengalami kenaikan, sedangkan nilai kekerasan *raw material* dengan *treatment* mengalami penurunan. Untuk hasil foto makro pada spesimen *raw material* bentuk penampang patahnya berbentuk granular, sedangkan untuk spesimen dilas tanpa PWHT dan di PWHT bentuk penampang patahnya adalah berbentuk *cup cone*.

Penelitian berikutnya dilakukan oleh Agus dan Ilman pada tahun 2012 bertujuan untuk memperbaiki sifat mekanik las tak sejenis antara baja tahan karat austenitic dan baja karbon. Metode penelitian terdiri dari pengelasan logam tak sejenis antara baja tahan karat AISI304 dan baja karbon rendah dengan menggunakan teknik las MIG dengan *filler* ER308, tegangan 19 volt, arus DC 100 amper dan *heat* input 1 kJ/mm dengan kecepatan pengelasan 2 mm/s. Setelah pengelasan dilakukan PWHT dengan temperatur 550°C dan 650°C selama 3 jam. Selanjutnya dilakukan pengujian kekerasan (*microhardness*) dan uji tarik.

Penelitian berikutnya dilakukan oleh Beni dan Akhmad pada tahun 2018 bertujuan untuk mengetahui pengaruh *annealing* terhadap sifat mekanis daerah HAZ pengelasan GMAW baja SM490 *normalizing* dan tanpa *normalizing* pada bogie kereta api di PT.INKA Madiun. Metode penelitian yang digunakan adalah perlakuan panas *normalizing*, *non normalizing annealing* & *annealing* dengan

menvariasikan *temperature* pemanasan 600°C 700°C dan 800°C pada daerah HAZ. Hasil dari penelitian ini adalah diperoleh presentase *ferrite* dan *pearlite* yang berbeda pada masing-masing *temperature*, serta bentuk struktur *ferrite* dan *pearlite* yang berbeda pada masing-masing *temperature*. Hasil dari pengujian kekerasan *rockwell* pada daerah HAZ nilai kekerasan tertinggi didapat pada *non normalizing annealing* pada *temperature* 600°C, nilai kekerasan terendah didapat pada *normalizing annealing* pada *temperature* 800°C. Hasil dari pengujian *impact* pada daerah HAZ nilai *impact* tertinggi didapat pada *temperature* 700°C *normalizing annealing*, sedangkan nilai *impact* terendah pada *temperature* 600°C *non normalizing annealing*.

Penelitian yang dilakukan oleh Rizky dan Mochamad pada tahun 2019 bertujuan untuk memperbaiki masalah retak yang terjadi pada proses *assembly* maka diperlukan peningkatan nilai kekerasan dan ketangguhan dengan proses perlakuan panas (*heat treatment*) *annealing*. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon rendah SS 400. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen. Teknik analisa data dalam penelitian ini menggunakan metode analisis data kualitatif deskriptif, yaitu dengan mendeskripsikan data secara sistematis, faktual dan akurat mengenai hasil yang diperoleh selama pengujian. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui besarnya pengaruh nilai kekerasan, ketangguhan serta struktur *mettalography* baja SS 400. Adapun standar pengujian menggunakan ASTM E23, ASTM E18 dan ASTM E3. Dari hasil penelitian dapat diketahui bahwa terjadi pengaruh terhadap nilai kekerasan maupun nilai ketangguhan baja SS 400. Nilai kekerasan tertinggi terjadi pada variasi temperatur 600 °C sebesar 27,4 HRc, sedangkan nilai kekerasan terendah pada variasi temperatur 800 °C sebesar 21,3 HRc. Sedangkan nilai kekuatan impak tertinggi terjadi pada variasi temperatur 700 °C sebesar 2,88 (Joule/mm<sup>2</sup>), sedangkan untuk kekuatan impak terendah yaitu pada variasi temperatur 600°C sebesar 2,24 (Joule/mm<sup>2</sup>). Hasil foto mikro menunjukkan bahwa pada temperatur 500°C dan 600°C memiliki struktur *ferrite*, semakin tinggi temperatur pemanasan maka butiran perlit dan ferit semakin membesar dan tertata butirannya.

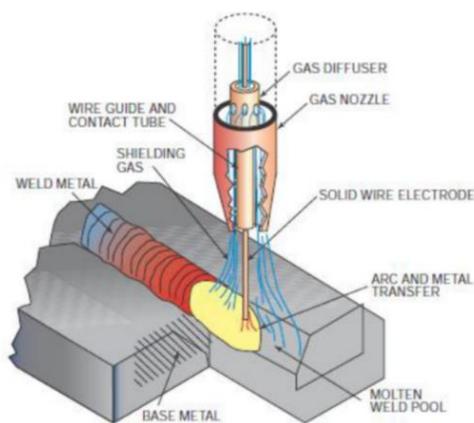
## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Pengelasan

Pengelasan atau *welding* adalah teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam tambahan dan dapat menghasilkan sambungan yang lanjut, sedangkan jika berdasarkan definisi dari *Deutsche Industrie Normen* (DIN) las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair.

#### a. Pengelasan GMAW (*Gas Metal Arc Welding*)

Pengelasan GMAW merupakan proses las listrik yang menggunakan busur listrik yang berasal dari elektroda yang dipasok terus menerus secara tetap dari suatu mekanisme ke kolam las (Widharto, S. 2007: 142). Elektroda yang berbentuk seperti gulungan kawat atau rol ini digerakan oleh motor listrik. Gas yang digunakan sebagai pelindung pada pengelasan adalah gas yang tidak mudah bereaksi baik terhadap udara luar maupun logam yang mencair seperti gas helium (He), gas argon (Ar) atau campuran dari kedua gas tersebut. Dalam pengelasan GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) selalu mengutamakan arus tetap dan kecepatan pasok kawat yang tetap, karena jika posisi obor bergerak menjauh, maka elektroda akan memanjang keluar dan *ampere* akan tinggi, sehingga panjang busur nyala akan selalu tetap (Widharto, s., 2007: 142-143).

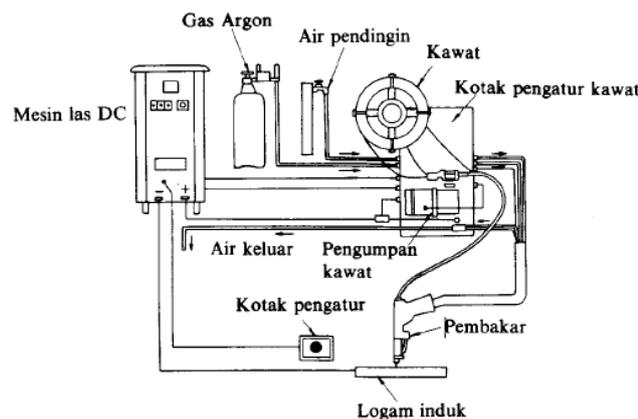


Gambar 2.1 Prinsip GMAW (Jeffus, 2011 : 230)

Pengelasan GMAW ini memiliki keuntungan dibanding pengelasan lain. Dimana keuntungan tersebut adalah mudah dipelajari, kecepatan dan kualitas, fleksibilitas, mudah dalam pengendalian dan efisien (Jeffus, 2011:231). Selain keuntungan, dalam pengelasan GMAW juga ada kekurangannya, dimana kekurangan tersebut berkaitan dengan peralatannya yang sedikit kompleks, biaya yang cukup mahal dan tingkat radiasi yang tinggi. GMAW dikenal juga dengan istilah las MIG (*Metal Inert Gas*). GMAW atau bisa disebut las MIG apabila menggunakan gas pelindung yang bersifat “inert”.

#### b. Pengelasan MIG (*Metal Inert Gas*)

Pengelasan MIG adalah proses pengelasan secara luas digunakan untuk peleburan atau penyatuan logam dengan kecepatan tinggi dan sedang. Pengelasan MIG ini menggunakan arc DC yang nyala di antara bagian yang dikerjakan dan kawat elektroda, dimana elektroda ini fungsinya secara simultan adalah sebagai pembawa tenaga dan sumber filler logam. Dalam pengelasan MIG, gas pelindung yang digunakan adalah gas argon, helium dan campuran dari keduanya.



Gambar 2.2 Komponen las MIG (Wirosumarto dan Okumura, 2000)

Dalam banyak hal penggunaan pengelasan MIG ini sangat menguntungkan. Hal ini disebabkan karena sifat – sifatnya yang baik, diantaranya :

- Karena konsentrasi busur yang tinggi, maka busurnya sangat baik dan percikannya sedikit, sehingga memudahkan operasi pengelasan.
- Karena dapat menggunakan arus yang tinggi maka kecepatannya juga sangat tinggi, sehingga efisiensinya sangat baik.

- Terak yang berbentuk cukup banyak.
- Ketangguhan dan elastisitas, kedekatan udara, ketidakefektifan terhadap retak dan sifat-sifat lainnya lebih baik dari pada yang dihasilkan dengan cara pengelasan yang lain.

Karena hal-hal di atas, maka pengelasan MIG banyak sekali digunakan dalam praktek-praktek, terutama untuk pengelasan baja-baja kualitas tinggi seperti baja tahan karat, baja kuat dan logam-logam bukan baja yang tidak dapat dilas dengan cara lain. Sifat-sifat seperti diterangkan di atas sebagian besar disebabkan oleh sifat dari busur yang dihasilkan dimana terlihat ujung elektroda yang selalu runcing. Hal ini menyebabkan butir-butir logam cair menjadi halus dan pemindahannya berlangsung dengan cepat seakan-akan seperti disemburkan (Wirjosumarto, H., dan Okumura, T., 2000: 20).

### **2.2.2 Baja**

Baja adalah salah satu logam ferro yang banyak digunakan dalam bidang teknik dan industri. Unsur kandungan dasar pada baja yaitu besi (Fe) dan karbon (C). Untuk kandungan besi (Fe) pada baja ada sekitar 97% dan kandungan karbon (C) pada baja sekitar 0,2% hingga 2,1%. Selain kedua unsur tersebut, baja mengandung unsur lain seperti silikon (Si) dengan kadar maksimal 0,6%, mangan (Mn) dengan kadar maksimal 1,65%, tembaga (Cu) dengan kadar maksimal 0,6%, sulfur (S), fosfor (P) dan lainnya dalam jumlah yang sudah dibatasi dan tentunya berbeda-beda (Wulandari, 2011). Kandungan karbon dan unsur paduan lainnya yang divariasikan berbagai jenis kualitas baja bisa didapatkan. Fungsi kandungan karbon dalam baja ini sendiri guna untuk penguatan dengan dapat mencegah dislokasi pada kisi kristal (*crystal lattice*) atom besi. Penambahan kandungan karbon ini sendiri pada baja guna meningkatkan kekerasan (*hardness*) dan kekuatan tariknya (*tensile strength*). Namun disisi lain penambahan ini dapat membuatnya menjadi getas (*brittle*) serta menurunkan keuletannya (*ductility*) (Anonim A. 2015). Baja dapat diklasifikasikan berdasarkan komposisi kimianya seperti kadar karbon dari paduan yang digunakan.

#### **a. Baja Karbon**

Baja Karbon adalah paduan antara unsur besi dan karbon. Untuk kadar karbon pada baja karbon ini adalah sekitar 0,0008 hingga 1,7% dengan sedikit diikuti

unsur-unsur tambahan lain seperti Si, Mn, P, S dan Cu. Sifat baja karbon sangat kuat tergantung pada kadar karbonnya, maka dari itu baja karbon dikelompokkan berdasarkan kadar karbonnya (Wiriyosumarto, 2000). Berdasarkan unsur kadar karbon, baja karbon diklasifikasikan menjadi tiga, diantaranya :

- Baja karbon rendah (*low carbon steel*)

Baja karbon rendah atau bisa disebut baja lunak. Baja karbon rendah mengandung karbon sekitar 0,08% hingga 0,30%. Baja karbon rendah ini merupakan baja yang paling murah untuk biaya produksi diantara baja karbon lainnya. Selain itu baja karbon rendah mempunyai kelebihan, yaitu mudah di las, keuletan dan ketangguhannya sangat tinggi, akan tetapi kekerasannya sangatlah rendah. Baja karbon rendah dapat dilas dengan semua cara pengelasan dan dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan komponen bodi mobil, struktur bangunan dan lain-lain.

- Baja karbon sedang (*medium carbon steel*)

Baja karbon sedang adalah baja yang mengandung karbon dengan presentase antara 0,30% hingga 0,60%. Kelebihan dari baja karbon sedang ini adalah memiliki kekerasan, kekuatan dan batas renggang yang lebih tinggi daripada baja karbon rendah. Akan tetapi baja karbon sedang lebih sulit dalam pengelasan. Baja karbon sedang banyak digunakan untuk rel kereta api, poros, pegas, baut dan lain-lain.

- Baja karbon tinggi (*high carbon steel*)

Baja karbon tinggi adalah baja yang mengandung kadar karbon sebesar 0,60% hingga 1,7%, jauh lebih banyak mengandung kadar karbon dan unsur lainnya daripada baja karbon rendah dan baja karbon sedang. Kelebihan baja karbon tinggi adalah memiliki ketahanan terhadap suhu panas yang tinggi, mempunyai kekerasan yang tinggi, akan tetapi untuk keuletannya lebih rendah. Baja ini sangat peka terhadap retak las karena sifatnya yang keras. Salah satu aplikasi dari baja tersebut adalah digunakan dalam pembuatan kawat baja dan kabel baja. Karena jumlah unsur karbon yang terkandung dalam baja ini, maka baja ini banyak digunakan untuk keperluan industri seperti palu, gergaji, pisau cukur, pembuatan kikir dan lainnya (ASM Handbook, 1993).

## **b. Baja Paduan**

Baja paduan dapat didefinisikan sebagai suatu baja cor yang di tambah unsur-unsur paduan (Mersilia, 2016:9). Adapun tujuan dari pemberian unsur-unsur seperti nikel, khrom, mangan, molibdeum, kromium, vanadium dan wolfram yaitu untuk memperoleh sifat tahan aus, korosi, kekerasan, keuletan dan kekuatan. Paduan dari beberapa unsur yang berbeda memberikan sifat yang khas dari baja. Berdasarkan unsur yang berbeda pada baja paduan dibagi menjadi tiga macam, yaitu :

- Baja paduan rendah (*low alloy steel*)

Baja paduan rendah merupakan baja dengan paduan elemen kurang dari 2,5%. Mempunyai kekuatan, ketangguhan dan keuletan yang lebih tinggi daipada baja karbon dengan kadar karbon yang sama.

- Baja paduan menengah (*medium alloy steel*)

Baja paduan menengah atau *Medium Alloy Steel* merupakan baja dengan paduan elemen 2,5%-10%. Beberapa unsur yang terdapat pada baja paduan menenga adalah Cr, Ni, Si, Mn, P, S dan lain-lain.

- Baja paduan tinggi (*high alloy steel*)

Baja paduan tinggi merupakan baja yang memiliki paduan unsur Cr, Mn, S, Ni, Si, dan P (Mulyanti, 1996). Baja paduan tinggi memilki kada unsur paduan lebih dari 10%.

### **2.2.3 Pengujian Material**

Pengujian material adalah untuk mengetahui sifat-sifat material berupa fisik dan mekanik. Pengujian material secara umum dibagi menjadi dua bagian, yaitu pengujian merusak (*Destructive Test*) dan pengujian tidak merusak (*Non Destructive Test*). Pengujian merusak (*Destructive Test*) adalah pengujian yang melakukan perusakan terhadap benda uji, pengujian yang dimaksud antara lain ada uji komposisi, uji tarik, uji tekan, uji kekerasan dan uji korosi. Sedangkan untuk pengujian tidak merusak (*Non Destructive Test*) adalah pengujian yang tidak perlu melakukan perusakan terhadap benda uji. Untuk pengujian yang tidak merusak diantaranya ada uji kerataan, uji mikro dan makro.

### a. Pengujian Kerataan

Uji kerataan merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui tingkat kerataan permukaan logam. Pengujian kerataan permukaan dapat menghasilkan data berupa angka. Data tersebut diperoleh dari pengukuran dengan menggunakan alat ukur kerataan permukaan, yaitu *dial indicator magnet* (Faizal dan Arya, 2014).

### b. Pengujian Tarik

Pengujian tarik merupakan pengujian yang digunakan untuk mengetahui sifat mekanis suatu logam dan paduannya. Pada pengujian tarik, beban diberikan secara kontinu dan secara perlahan beban bertambah besar. Hasil yang diperoleh dari pengujian tarik adalah kurva tegangan, regangan, parameter kekuatan dan terlihat secara fisik material mengalami perubahan bentuk atau mengalami penambahan panjang material. Berikut persamaan dan kurva tegangan-regangan dari pengujian tarik.

- Persamaan tegangan :

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

Dimana :

$\sigma$  = Tegangan nominal (kg/mm<sup>2</sup>)

P = Beban (kg)

A = Luas awal penampang (mm<sup>2</sup>)

- Persamaan regangan :

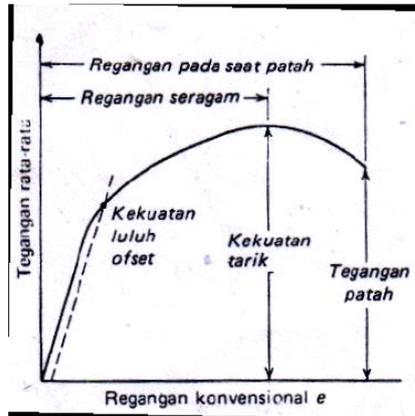
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L-L_0}{L_0} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

$\varepsilon$  = Regangan (%)

$\Delta L$  = Penambahan panjang (m)

$L_0$  = Panjang awal (m)



Gambar 2.3 Kurva tegangan-regangan rekayasa (Dieter, 1996)

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

**c. Pengujian Kekerasan**

Pengujian kekerasan adalah pengujian dengan cara memberikan beban tertentu pada benda uji dan mengukur bekas hasil penekanan yang terbentuk di atasnya (Surdia dan Saito, 2000). Salah satu pengujian standar untuk uji kekerasan adalah uji kekerasan *vickers*. Pengujian *vickers* bertujuan mendapatkan nilai kekerasan suatu material. Pada pengujian ini permukaan logam yang diuji akan ditekan dengan indentor berbentuk *pyramid* intan yang dasarnya berbentuk bujursangkar. Besaran sudut antara permukaan *pyramid* yang berhadapan adalah 136° angka kekerasan *pyramid* intan atau kekerasan *vickers* VHN. Secara matematis rumus untuk uji *vickers* ditentukan dari persamaan sebagai berikut :

$$VHN = \frac{2 \sin\left[\frac{\theta}{2}\right]P_1}{d^2} = \frac{2 \sin\left[\frac{136^\circ}{2}\right]}{d^2} = \frac{1,854.P}{d^2} \dots\dots\dots(2.3)$$

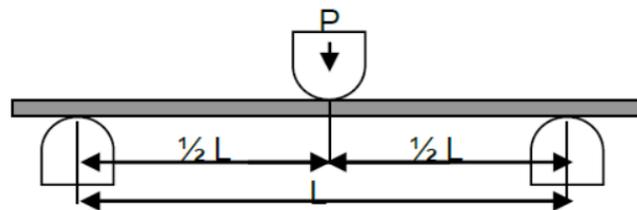
Dimana :

- P = Beban tekan diberikan (kg)
- D = panjang diagonal bekas injakan (mm)
- $\theta$  = Sudut puncak penetrator = 136°

Kelebihan dalam pengujian *vickers* adalah skala kekerasan yang kontinu dan rentang luas, dari material yang sangat lunak hingga sangat keras, karena indentor yang digunakan terbuat dari intan yang sangat keras.

#### d. Pengujian Bending

Pengujian *bending* atau pengujian tekan adalah untuk mengetahui besarnya kekuatan lentur dari benda uji tersebut. Pengujian ini dilakukan dengan cara memberikan beban secara perlahan-lahan sampai dengan benda uji mencapai keadaan titik tertentu. Dalam pengujian *bending* bagian atas benda uji akan mengalami proses penekanan dan pada bagian bawah benda uji akan mengalami patah bagian bawah, hal ini terjadi karena pada bagian bawah benda uji tidak mampu menahan tegangan tarik.



Gambar 2.4 Metode *three-point bending* (Syahrani, 2013)

Berikut rumus dari kekuatan *bending* :

$$\sigma_b = \frac{3PL}{2bd^2} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

$\sigma_b$  = tegangan bending (Mpa)

P = beban / load (N)

L = panjang span (mm)

b = lebar / width (mm)

d = tebal / depth (mm)

*Three Point Bending* merupakan metode pengujian yang dilakukan dengan memberikan dua titik tumpu, dengan satu beban pada bagian tengah panjang spesimen uji. Pembebanan pada spesimen harus berada tepat ditengah ukuran

spesimen agar hasil yang didapat merupakan hasil momen maksimum dari spesimen uji.

#### **e. Pengujian Metallografi**

Pengujian metallografi dilakukan untuk mengetahui sifat fisik suatu material. Sifat fisik tersebut terbagi atas daerah logam induk (*Base Metal*), logam las (*Nugget*) dan daerah terpengaruh panas (*Heat Affective Zone*). Uji struktur makro untuk mengetahui diameter daerah las, sedangkan uji foto mikro untuk mengetahui daerah HAZ dan logam induknya.

- **Pengujian makro**

Pengujian struktur makro merupakan pengamatan struktur dari benda uji yang dilakukan setelah diberikan perlakuan, penambahan unsur atau pengujian mekanis dengan perbesaran tertentu. Pengujian struktur makro tidak bersifat merusak spesimen. Dalam melakukan pengamatan struktur makro menggunakan kamera dengan lensa pembesar, dimana angka perbesaran struktur makro sekitar 0,5 hingga 50 kali. Pengamatan struktur makro berguna dalam melihat bahan-bahan yang memiliki butiran kristal yang kasar dan perubahan struktur yang terjadi setelah dilakukan perlakuan.

- **Pengujian mikro**

Pengujian mikro adalah gambaran dari kumpulan fasa-fasa dengan skala atau ukuran sangat kecil yang dapat diamati melalui teknik metallografi. Tujuan dari melakukan pengujian mikro untuk mengetahui perbedaan struktur mikro antara logam induk yang diberikan pada saat proses perlakuan panas (Suparjo dan Purnomo, 2012:171).

#### **f. Pengujian Korosi**

Korosi merupakan penurunan mutu logam yang diakibatkan reaksi elektrokimia dengan lingkungannya (Trethewey, 1991). Pada peristiwa korosi, logam mengalami oksidasi, sedangkan oksigen atau udara mengalami reduksi. Peristiwa korosi sendiri merupakan proses elektrokimia, yaitu proses reaksi kimia yang melibatkan adanya aliran listrik.

Metode kehilangan berat (*weight loss*) merupakan metode yang digunakan dalam mendapatkan laju korosi. Metode ini digunakan dengan menghitung

banyaknya material yang hilang atau kehilangan berat setelah dilakukan pengujian rendaman sesuai dengan standarnya.

Berikut persamaan laju korosi :

$$\text{Laju Korosi (Corrosion Rate)} = \frac{k \times w}{A \times T \times D} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

- K = konstanta ( $8.76 \times 10^4$ )
- W = massa yang hilang (g)
- A = luas penampang ( $\text{cm}^2$ )
- T = waktu pengujian (jam)
- D = massa jenis sampel uji ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

Konstanta perhitungan laju korosi berdasarkan satuannya dapat dilihat pada gambar 2.5

Satuan Laju Korosi / Corrosion Rate	Konstanta
Mils per year (mpy)	$3,45 \times 10^6$
Inches per year (ipy)	$3,45 \times 10^3$
Milimeters per year (mm/y)	$8,76 \times 10^4$
Micrometers per year ( $\mu\text{m}/\text{y}$ )	$8,76 \times 10^7$

Gambar 2.5 Konstanta laju korosi berdasarkan satuannya (Bunga, 2008) untuk perbandingan tingkat klasifikasi laju korosi dengan tingkat ekspresi secara metrik dapat dilihat pada gambar 2.6.

Relative corrosion resistance	Mpy	mm/yr	$\mu\text{m}/\text{yr}$	nm/yr	pm/s
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	20 – 50
Fair	20 – 50	0,5 – 1	500 – 1000	20 – 150	20 – 50
Poor	50 – 200	1 – 5	1000 – 5000	150 – 500	50 – 200
Unacceptable	200+	5+	5000+	500+	200+

Gambar 2.6 Perbandingan tingkat klasifikasi laju korosi dengan tingkat ekspresi secara metrik (Fontana, 1986)

### g. Pengujian Komposisi

Uji komposisi kimia adalah pengujian yang memiliki tujuan untuk mengetahui jumlah unsur apa saja yang terdapat pada suatu logam (Kusnadi S, 2013). Pengujian ini dilakukan menggunakan alat *spectrometer*, dimana dengan

menggunakan alat ini akan terlihat unsur-unsur yang terkandung pada logam tersebut, karena dengan menggunakan alat ini dapat terlihat perbedaan warna pada setiap unsurnya. (Purnawan, 2016:805).

Sifat mampu las baja ditentukan oleh komposisi kimia logam induk dan dinyatakan dengan jelas biasanya dengan *Carbon equivalent* (Cek). Menurut *International Institute of Welding* (IIW) dalam menghitung *Cek plain carbon steels* dan *carbon manganese steels* dapat ditentukan dengan persamaan (Lancaster, 1999).

$$C_{ek} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cu+Ni}{15} + \frac{Cr+Mo+V}{5} \dots\dots\dots(2.6)$$

Pada dasarnya baja dapat dikatakan mempunyai sifat mampu las yang baik jika memiliki nilai  $C_{ek} < 0,4-0,5$ .

#### **2.2.4 Post Weld Heat Treatment (PWHT)**

*Post Weld Heat Treatment* (PWHT) adalah proses pemanasan dan pendinginan pada logam untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu yang diperlukan untuk suatu konstruksi, misalnya kekuatan (*strength*), kelunakkan (*softness*), memperhalus ukuran butir. Secara definisi yang berbeda, perlakuan panas adalah suatu proses pemanasan dan pendinginan logam dalam keadaan padat untuk mengubah sifat-sifat fisis logam tersebut (Djaprie, 1989:135). Perlakuan PWHT dapat mengurangi tegangan sisa, menurunkan kekuatan, meningkatkan keuletan dan meningkatkan korosi.

##### **a. Annealing**

*Annealing* merupakan proses PWHT yang memiliki tujuan dalam memperbaiki keuletan dan menurunkan tegangan tarik. Proses *annealing* adalah dengan melakukan pemanasan material didalam *furnace* sampai dengan suhu tertentu, kemudian ditahan pada suhu tersebut sampai dengan waktu yang ditentukan dan setelah itu dilakukan pendinginan di dalam *furnace* sampai dengan temperatur ruangan. Metode pendinginan dilakukan dengan cara mematikan *furnace* (*furnace cooled*). Tujuan dalam proses *annealing* adalah meningkatkan ketangguhan, menghaluskan ukuran butiran, meningkatkan keuletan, mengurangi tegangan internal yang terjadi akibat proses pembekuan, pemotongan, penempaan

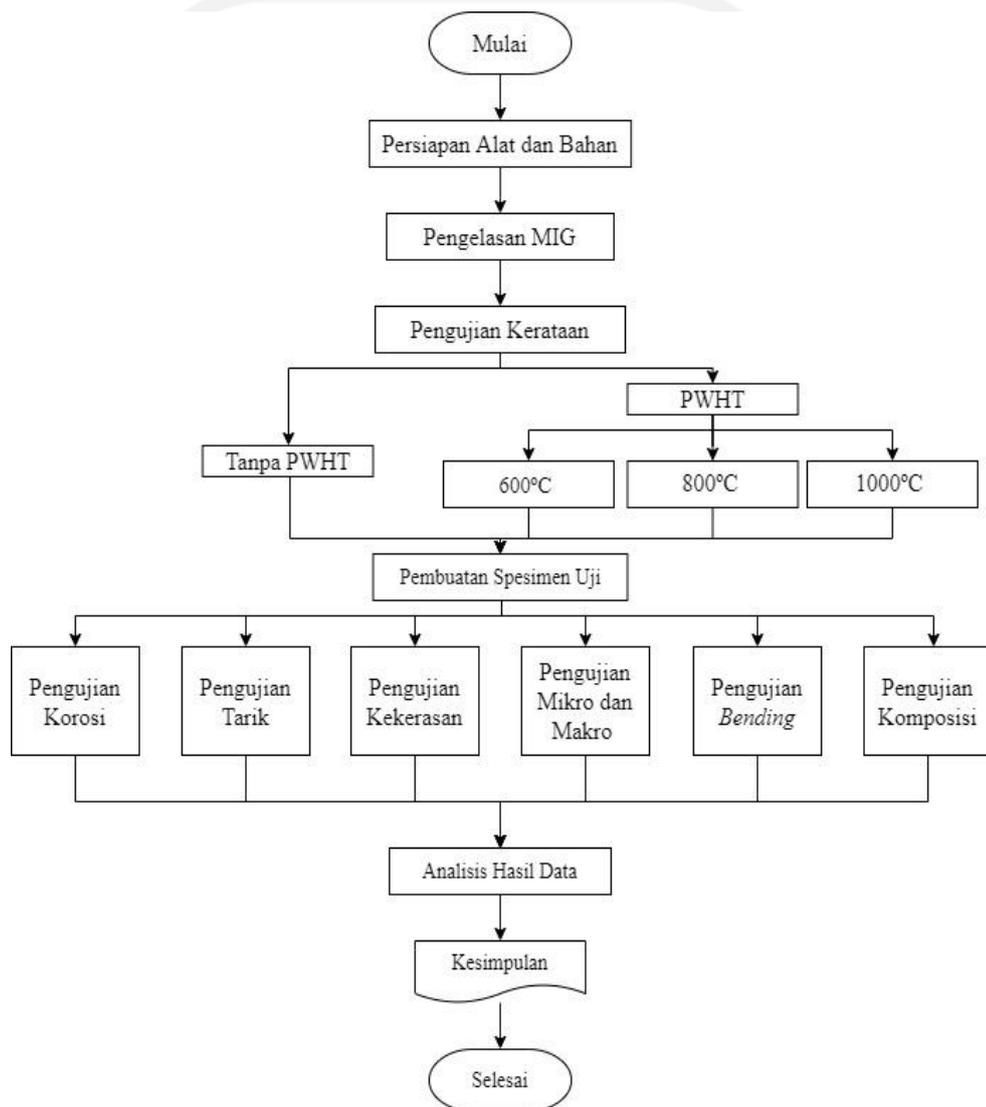
dan pengelasan dan mengurangi kandungan gas didalam logam (Van Vlack, 1984).



## BAB 3 METODE PENELITIAN

### 3.1 Alur Penelitian

Pada penelitian tugas akhir ini memiliki beberapa tahapan proses yang dilakukan. Dalam mempermudah penelitian dan penyusunan laporan yang lebih teratur, maka dibuat alur penelitian seperti gambar berikut :



Gambar 3.1 Diagram alur penelitian

### 3.2 Peralatan dan Bahan

Peralatan dan bahan yang digunakan oleh peneliti guna mendukung tercapainya tujuan dari penelitian ini, diantaranya sebagai berikut :

#### a. Alat Pelindung Diri (APD)

Alat pelindung diri (APD) salah satu alat yang sangat perlu digunakan dalam penelitian ini, karena untuk memperkecil resiko bahaya yang terjadi pada peneliti saat melakukan proses penelitian. Alat pelindung diri yang digunakan adalah sarung tangan, kaca mata, apron, penutup telinga (*earmuff*) dan helm las. Berikut gambar alat pelindung diri yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 3.2 Alat pelindung diri

#### b. Baja

Spesimen baja adalah spesimen yang digunakan dalam melakukan penelitian tentang pengelasan MIG dengan tanpa dan memberikan variasi *annealing temperature*. Baja yang digunakan berupa plat dengan ukuran 3 mm, panjang 30 cm dan lebar 10 cm. Berikut gambar plat baja yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 3.3 Spesimen baja

c. Penggaris

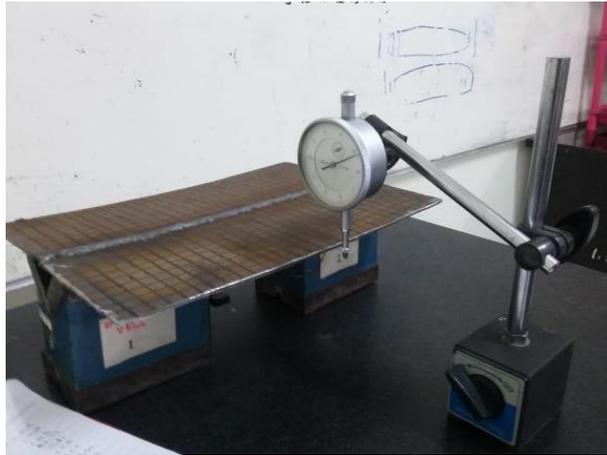
Dalam penelitian ini penggaris yang digunakan adalah penggaris besi. Penggaris ini digunakan untuk mengukur panjang dan lebar spesimen yang akan di potong. Selain mengukur panjang dan lebar dari spesimen, penggaris juga digunakan untuk mengukur jarak dari kedua spesimen yang akan di las. Berikut gambar penggaris yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 3.4 Penggaris besi

d. Dial Indikator dan *Magnetic V-Block*

Dalam penggunaan dial indikator dan *magnetic v-block* pada penelitian ini adalah untuk mengukur kerataan permukaan pada kedua spesimen baja yang sudah di las.



Gambar 3.5 Dial indikator dan *magnetic v-block*

e. Spidol

Penggunaan spidol pada penelitian ini untuk memberikan tanda terhadap spesimen yang akan digunakan sebagai spesimen dengan variasi pengujian. Berikut gambar dari spidol marker yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 3.6 Spidol

f. Ragum

Pada penelitian ini ragum digunakan sebagai penahan spesimen saat dilakukan pemotongan dengan gerinda tangan. Berikut gambar ragum yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 3.7 Ragum

g. Gerinda Tangan

Gerinda tangan digunakan untuk memotong spesimen baja. Berikut gambar gerinda tangan yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 3.8 Gerinda tangan

h. Mesin Las MIG

Dalam penelitian ini mesin las yang digunakan untuk menyambungkan kedua spesimen baja adalah las MIG. Berikut gambar las MIG yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 3.9 Mesin las MIG

i. Kawat ER70S-6

Kawat yang digunakan khusus untuk proses pengelasan untuk spesimen baja. Jenis kawat yang digunakan adalah kawat ER70S-6. Berikut gambar kawat yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 3.10 Kawat ER70S-6

j. Gas Argon

Gas argon adalah gas yang digunakan sebagai gas pelindung dalam pengelasan las MIG pada penelitian ini. Berikut gambar gas argon yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 3.11 Gas argon

k. *Clamp*

*Clamp* digunakan untuk mengunci kedua spesimen yang akan di las agar tidak terjadi perubahan posisi dan bentuk pada spesimen. Berikut gambar *clamp* yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 3.12 *Clamp*

l. *Thermogun*

Pada penelitian ini *thermogun* digunakan untuk mengetahui suhu spesimen setelah dilakukan pengelasan, karena spesimen harus berada di suhu normal atau suhu ruangan ketika ingin melepaskan *clamp*nya. Berikut gambar *thermogun* yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 3.13 *Thermogun*

m. *Furnace*

*Furnace* atau tungku pembakaran adalah sebuah perangkat yang digunakan untuk pemanasan. Dalam penelitian ini furnace digunakan untuk melakukan proses variasi temperatur *annealing*. Berikut gambar *furnace* yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 3.14 Mesin *furnace*

n. Ampelas

Ampelas digunakan untuk meratakan atau menghaluskan permukaan spesimen yang sudah di resin. Berikut gambar ampelas yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 3.15 Ampelas

o. Resin dan Katalis

Pada penelitian ini resin digunakan untuk melapisi spesimen agar dapat dilakukan pengujian metalografi di laboratorium UGM dan katalis sebagai bahan tambahan atau campuran resin untuk mempercepat reaksi pengerasan. Berikut gambar resin dan katalis yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 3.16 Resin dan katalis

p. Air Laut

Air laut digunakan untuk melakukan pengujian korosi dengan cara spesimen direndam selama 10 hari, proses ini dilakukan sampai empat kali. Berikut air laut yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 3.17 Air laut

### 3.3 Proses Persiapan Spesimen

Pada penelitian ini spesimen yang digunakan adalah plat baja dengan tebal 3 mm. Sebelum dilakukan pengelasan atau penyambungan spesimen, spesimen akan dipotong menjadi delapan bagian dengan masing-masing ukuran panjang 30 cm dan lebar 10 cm. Setelah delapan spesimen dipotong sesuai dengan ukuran yang sudah ditetapkan, maka dari masing-masing spesimen tersebut akan diratakan pada bagian sisi panjangnya dengan menggunakan gerinda tangan. Hal ini bertujuan agar memudahkan pada saat proses pengelasan dan mendapatkan hasil las yang diinginkan.



Gambar 3.18 Pematangan spesimen 30x10 cm

### 3.4 Proses Pengelasan

Dalam proses pengelasan atau penyambungan kedua spesimen dalam penelitian ini, las yang digunakan adalah las *metal inert gas* (MIG). Las MIG yang digunakan berada di laboratorium proses produksi teknik mesin Universitas Islam Indonesia. Sebelum dilakukan proses pengelasan, spesimen yang sudah dipotong dan diratakan dengan gerinda akan diletakkan di meja yang datar dengan posisi panjang dari spesimen saling berhadapan dan diberikan gap atau jarak 1 mm. Kedua spesimen tersebut akan di *clamp* atau diberikan penahan agar spesimen tidak bergerak dan tidak mengalami pelengkungan pada saat proses pengelasan. Setelah spesimen sudah ditempatkan dengan posisi yang benar, maka tahap selanjutnya melakukan pengelasan.



Gambar 3.19 Proses pengelasan spesimen

Parameter yang digunakan pada las *metal inert gas* (MIG) dalam penelitian ini, yaitu :

- Gas pelindung : gas argon
- Jenis elektroda : ER70S-6
- Diameter elektroda : 0,9 mm
- Kuat arus (I) : 90 – 100 A
- Tegangan (E) : 18 – 20 V
- Kecepatan (V) : 3 mm/s

Setelah proses pengelasan atau penyambungan, spesimen didiamkan hingga dingin atau mencapai suhu ruangan. Jika suhu spesimen sudah mencapai suhu ruangan, maka akan dilakukan pengecekan perihal sambungan las sudah bisa masuk ke proses berikutnya atau belum. Setelah sambungan las pada spesimen sudah siap, dilakukan pengujian kerataan terlebih dahulu setelah itu beberapa spesimen akan masuk ke proses *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) dengan metode *annealing*.

### 3.5 Pengujian Kerataan

Pada tahap pengujian kerataan, kedua spesimen baja yang sudah di sambungkan dengan cara di las menggunakan las MIG (*metal inert gas*) akan di uji kerataannya dengan menggunakan alat *dial indicator magnet*. Dalam pengujian ini dibutuhkan alat bantu lain seperti *magnetic v-block* dan meja datar. Pengujian ini dilakukan di laboratorium proses produksi teknik mesin Universitas Islam Indonesia.



Gambar 3.20 Pengujian kerataan

Dimana dalam melakukan semua pengujian ini dilakukan di atas meja datar. Spesimen baja yang sudah di las akan diletakan di atas *magnetic v-block*, setelah itu akan dilakukan pengukuran dengan menggunakan *dial indicator magnet*. Dalam melakukan pengukuran ini didapatkan angka, dimana angka ini akan di masukan kedalam *software matlab* dan keluar hasil grafik 3d, sehingga lengkungan kedua spesimen baja yang sudah di las dapat terlihat jelas. Setelah dilakukan pengujian kerataan, maka selanjutnya masuk ke proses *annealing*.

### 3.6 Proses *Annealing*

Dalam penelitian ini *furnace* digunakan untuk menjalankan proses *annealing*. *Furnace* yang digunakan berada di laboratorium proses produksi teknik mesin Universitas Islam Indonesia. Proses *annealing* dilakukan dengan menggunakan variasi temperatur 600°C, 800°C & 1000°C selama 1 jam.

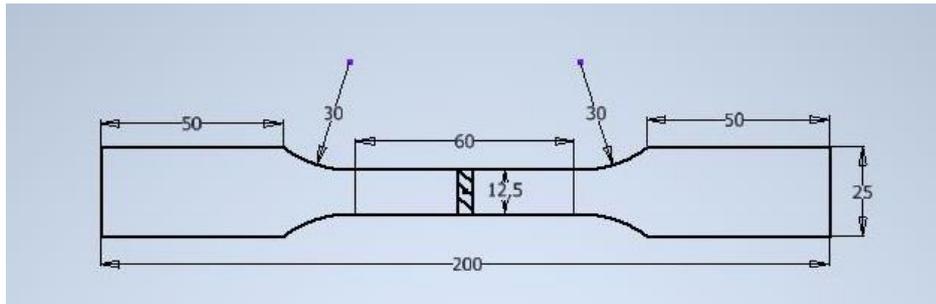


Gambar 3.21 Proses *annealing*

Jumlah sambungan spesimen ada tiga, bervariasi *temperature* satu sambungan spesimen. Setelah dilakukan proses *annealing* selama 1 jam, spesimen akan didiamkan didalam *furnace* kurang lebih selama 1 hari sampai dengan spesimen berada di suhu normal. Selanjutnya spesimen akan masuk ke tahap proses pengujian.

### 3.7 Pengujian Tarik

Spesimen yang telah di las dengan menggunakan las MIG dan tanpa PWHT atau yang sudah melewati proses variasi temperatur *annealing*, selanjutnya dilakukan pengujian tarik di laboratorium pengujian material teknik mesin UGM. Tujuan dari pengujian tarik ini untuk mengetahui tegangan dan regangan dari spesimennya. Standart pengujian yang digunakan dalam pengujian tarik adalah ASTM E-8M. Berikut gambar dari bentuk dan dimensi spesimen uji tarik yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 3.22 Bentuk dan dimensi spesimen uji tarik

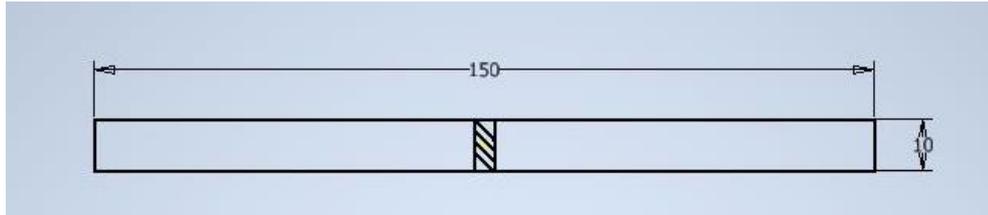
Mesin pengujian tarik yang digunakan adalah *Univesal Testing Machine*. Cara pengujiannya adalah dengan menempatkan atau menjepit kedua bagian sisi dari spesimen, setelah itu penjepit dari mesin tersebut akan menarik spesimen secara perlahan hingga spesimen uji merenggang atau putus. Angka dari pengujian akan tertera pada layar monitor mesin dan angka yang sudah didapat dari pengujian tersebut akan dimasukkan kedalam rumus untuk mengetahui hasil akhir dari pengujian tarik spesimen.



Gambar 3.23 Alat pengujian tarik

### 3.8 Pengujian *Bending*

Dalam penelitian ini pengujian bending menggunakan mesin yang sama seperti pengujian tarik yaitu *Universal Testing Machine*. Standart pengujian yang digunakan dalam pengujian *bending* adalah JIS 2201. Berikut gambar dari bentuk dan dimensi spesimen uji tarik yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 3.24 Bentuk dan dimensi spesimen uji *bending*

Metode yang digunakan pada pengujian bending adalah *Three Point Bending*, dimana pengujian ini menggunakan 3 titik yang terdiri dari 2 titik tumpu dan 1 titik pembebanan yang terletak tepat di atas sambungan las spesimen uji.



Gambar 3.25 Alat pengujian *bending*

### 3.9 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan suatu spesimen uji yang sudah melewati proses pengelasan dan variasi temperatur *annealing*. Alat yang digunakan untuk pengujian kekerasan ini adalah *micro hardness vickers* MHV M3 Japan. Pengujian dilakukan di laboratorium pengujian material teknik mesin UGM.



Gambar 3.26 *Micro hardness vickers MHV M3*, Japan

Metode pengujian kekerasan yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kekerasan mikro *vickers*, yang mana metode pengujian ini menggunakan indenter berbentuk piramida intan terbalik. Indentor tersebut ditekan terhadap spesimen uji dengan beban sebesar 200 gf, sehingga menghasilkan tanda yang dapat diukur oleh lensa *microscop optic*. Pengujian kekerasan ini dilakukan sebanyak 9 titik disetiap spesimen, yang diantaranya terbagi menjadi 3 titik pada daerah las, 3 titik pada daerah HAZ (*Heat Affect Zone*) dan 3 titik pada daerah *base metal*.

### **3.10 Pengujian Metallografi**

Pengujian metallografi terbagi menjadi dua, yaitu pengujian mikro dan pengujian makro. Pengujian ini untuk mengetahui sifat dan struktur dari spesimen uji. Penelitian uji metallografi dilakukan di laboratorium pengujian material teknik mesin UGM. Alat pengujian metallografi yang digunakan adalah *metallurgical microscope with inverted olympus PME3*, Japan. Dalam penelitian ini pengujian mikro menggunakan mikroskop dengan perbesaran 200x, sedangkan pengujian makro menggunakan perbesaran 10x.



Gambar 3.27 *Metallurgical microscope with inverted olympus PME3*

Sebelum melakukan pengujian mikro dan makro, spesimen yang akan diuji harus dipersiapkan terlebih dahulu. Persiapan awal adalah spesimen yang sudah di las dan tanpa PWHT atau yang sudah melewati proses variasi temperatur *annealing* dipotong dengan ukuran 50 mm x 10 mm, setelah itu dilakukan *mounting* atau pelapisan spesimen uji dengan resin agar memudahkan proses pengujian metallografi. Tahap selanjutnya adalah spesimen yang sudah diresin akan dilakukan pengampelasan dengan dimulai dari kekasaran ampelas 100, 280, 600, 800 hingga 1000 secara berurutan. proses pengamplasan menggunakan mesin gripo 2M. lalu tahap berikutnya adalah pemolesan spesimen dengan menggunakan autosol. Hal ini bertujuan untuk mengkilapkan spesimen uji tersebut. Memasuki tahap terakhir sebelum spesimen dilakukan pengujian adalah pengetsaan, yang mana tahap pengetsaan bertujuan untuk mengetahui garis-garis struktur logam dengan cara memberikan cairan etsa HNO<sub>3</sub> (asam nitrat) dengan konsentrasi 2,5%.



Gambar 3.28 Spesimen uji metallografi

Setelah spesimen uji siap, maka pengujian mikro dan pengujian makro akan dilakukan.

### 3.11 Pengujian Korosi

Pengujian Korosi dalam penelitian ini untuk mengetahui ketahanan material terhadap reaksi air laut. Pengujian ini menggunakan spesimen baja, yang mana baja akan direndam air laut selama 40 hari. Setiap 10 hari spesimen uji akan ditimbang untuk mengetahui perubahan berat yang terjadi.



Gambar 3.29 Proses pengujian korosi

Air laut yang digunakan untuk pengujian korosi ini sebagian didapatkan dari toko ikan air laut yang berada di jalan gejayan dan sebagian didapatkan dari pantai Sadranan, Gunung Kidul, Yogyakarta.

### 3.12 Pengujian Komposisi

Pengujian komposisi pada spesimen baja dilakukan di CV. Karya Hidup Sentosa, sedangkan pengujian komposisi pada daerah pengelasan dilakukan di PT. Itokoh Ceperindo. Pengujian komposisi menggunakan alat *Spectrometer* model 3560 ARL *Optical Emission*. Spesimen yang di uji pada daerah

pengelasan memiliki luas penampang 60 mm x 50 mm, sedangkan pada logam induk atau spesimen baja memiliki luas penampang 70 mm x 45 mm.



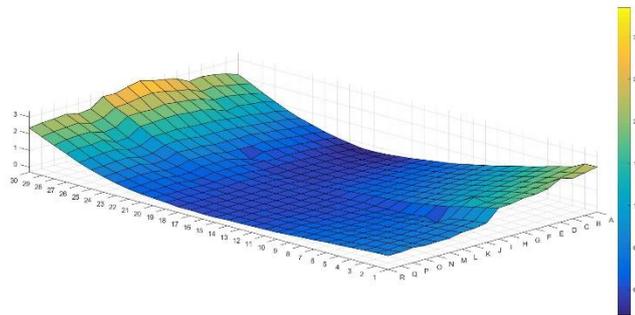
## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

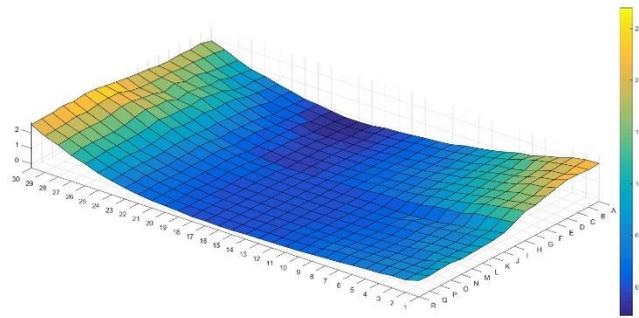
Setelah dilakukan beberapa jenis penelitian dan pengujian untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik dari spesimen uji, maka didapatkan hasil data yang disertai dengan analisa dari penelitian dan pengujian yang sudah dilakukan.

#### 4.1 Analisis dan Pembahasan Hasil Pengujian Kerataan

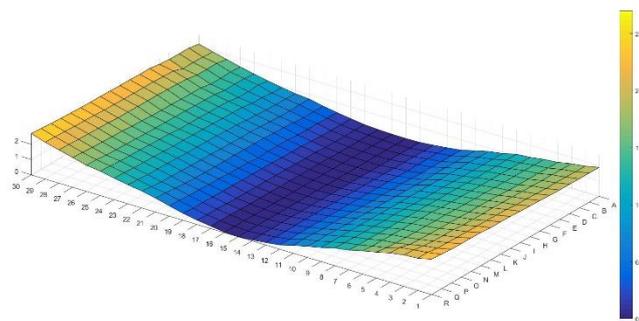
Dalam pengujian kerataan, spesimen yang sudah dilas akan diberi titik agar mempermudah dalam pengukurannya. Jumlah dari titik pada spesimen yang akan di ukur ada 540 titik, jarak antar titik adalah 1 cm. Alat ukur yang digunakan pada pengujian ini adalah *dial indicator magnet*. Dari pengujian ini di dapatkan data berupa angka, yang mana semua data angka yang didapatkan akan dimasukkan ke dalam *software matlab*. Angka yang sudah dimasukkan ke dalam *software matlab* akan membentuk hasil grafik 3D, sehingga dari hasil ini dapat dilihat kelengkungan yang terjadi pada spesimen tersebut yang sudah di las. Berikut grafik 3D keempat spesimen yang sudah di las dapat dilihat pada gambar 4.1, 4.2, 4.3 dan 4.4.



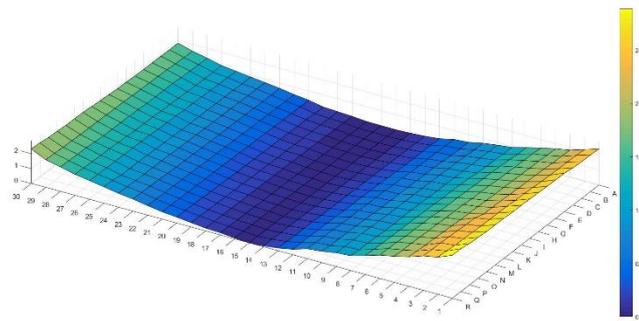
Gambar 4.1 Grafik 3D kerataan spesimen satu (1)



Gambar 4.2 Grafik 3D kerataan spesimen dua (2)



Gambar 4.3 Grafik 3D kerataan spesimen tiga (3)



Gambar 4.4 Grafik 3D kerataan spesimen empat (4)

Dari grafik 3D kerataan di atas dapat dilihat kelengkungan pada spesimen diakibatkan panas yang diberikan dari proses pengelasan. Jika dilihat dari hasil grafik 3D kerataan, spesimen satu (1) dan dua (2) kelengkungan tidak sama dengan spesimen tiga (3) dan empat (4), hal ini diakibatkan pada waktu melepas keempat *clamp* tidak dilepas secara bersama, hal tersebut dilakukan pada saat suhu spesimen belum sesuai dengan suhu ruangan.

## 4.2 Uji Komposisi Kimia

Berdasarkan uji komposisi kimia yang dilakukan di laboratorium UP2L Quick dengan menggunakan alat uji thermo ARL 3560 OES, baja yang digunakan dalam penelitian ini mengandung komposisi bahan yang dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data komposisi kimia spesimen baja

Unsur	(%)
C	0,0695
Si	0,4970
Mn	1,0629
Cu	0,0100
S	0,0071
Ni	0,0114
Cr	0,0249
Mo	0,0045
P	0,0152
W	0,0000
Ti	0,0009
Al	0,0114
Pb	0,0000
Ca	0,0002
Zn	0,0000
Fe	98,27
Sn	0,0005

Setelah didapatkan hasil komposisi bahan, maka akan dilakukan identifikasi mengenai nomor seri dari baja yang digunakan pada penelitian ini. Dari kandungan komposisi yang didapatkan, maka hasil no serinya adalah baja AISI 1000 SS . Spesimen baja secara umumnya memiliki kemampuan las yang baik jika nilai  $C_{ek} < 0,4 - 0,5$ . Berikut perhitungan untuk mengetahui nilai  $C_{ek}$  pada baja yang digunakan pada penelitian ini.

$$C_{ek} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cu + Ni}{15} + \frac{Cr + Mo + V}{5}$$
$$C_{ek} = 0,0695 + \frac{1,0629}{6} + \frac{0,0100 + 0,0114}{15} + \frac{0,0249 + 0,0045 + 0}{5}$$
$$C_{ek} = 0,0695 + 0,17715 + 0,00143 + 0,00588$$
$$C_{ek} = 0,25396$$

Dari hasil perhitungan yang didapatkan bahwa nilai  $C_{ek} < 0,4 - 0,5$ . Dapat ditarik kesimpulan bahwa material baja yang digunakan pada penelitian ini termasuk kategori yang mampus di las.

Setelah dilakukan pengujian komposisi pada spesimen baja. Pengujian komposisi juga dilakukan pada bagian daerah las sambungan antara kedua baja, dimana pengujian ini dilakukan di PT. Itokoh Ceperindo. Berikut unsur komposisi kimia yang terdapat pada daerah las dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data komposisi kimia daerah las

Unsur	(%)
C	0,0641
Si	0,7701
Mn	1,3474
Cu	0,1915
S	0,0197
Ni	0,0093
Cr	0,0220
Mo	-0,0006
P	0,0157
W	0,0001
Ti	0,0013
Al	0,0000
Pb	0,0001
Ca	0,0001
Zn	0,0005
Fe	97,5055
Nb	0,0009
V	-0,0002
Sb	0,0039
D	0,0006
Mg	0,0001
N	0,0406
Co	0,0040

Jika dilihat dari kedua tabel tersebut adanya perbedaan didalam jumlah unsur Mn, Cu dan Si, hal ini disebabkan karena adanya *filler* yang digunakan pada waktu proses pengelasan.

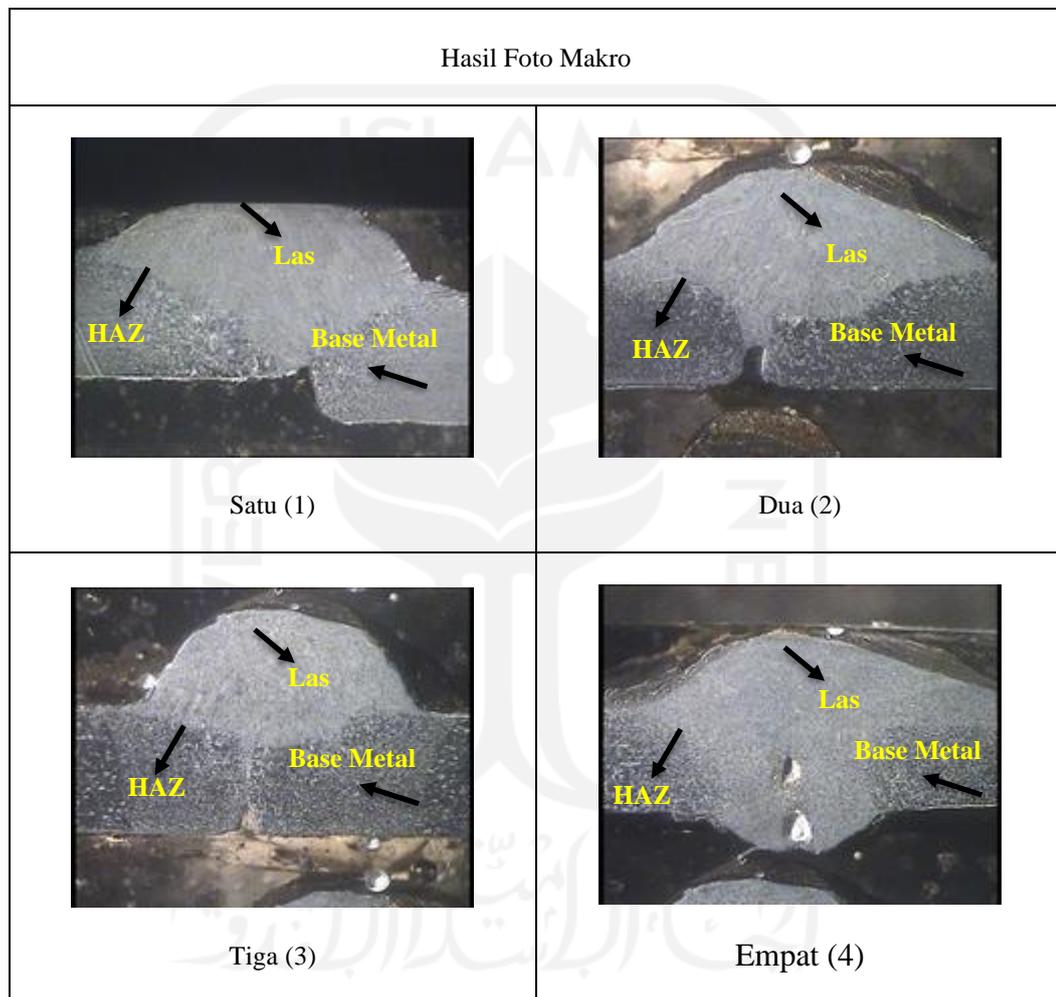
### 4.3 Analisis dan Pembahasan Hasil Pengujian Metallografi

Dalam analisis dan pembahasan hasil pengujian metallografi terbagi menjadi dua, yaitu ada pengamatan struktur makro pada spesimen 1, 2, 3, 4 dan pengamatan struktur mikro pada spesimen tanpa PWHT, PWHT 600°C, 800°C dan 1000°C. Berikut analisis dan pembahasan hasil pengamatan struktur makro dan mikro.

#### a. Pengamatan Struktur Makro

Pada pengamatan struktur makro dilakukan menggunakan alat *metallurgical microscope with inverted olympus* dengan perbesaran 10x.

Pengamatan struktur makro dilakukan untuk mengetahui ada atau tidaknya cacat daerah pengelasan, selain untuk mengetahui ada kecacatan pada daerah pengelasan, pengamatan struktur makro dapat menunjukkan kondisi bentuk sambungan las dan dapat menunjukkan perbedaan daerah *weld metal* (logam las), HAZ dan *base metal* (logam induk). Hasil pengamatan struktur makro dapat dilihat pada gambar 4.5.



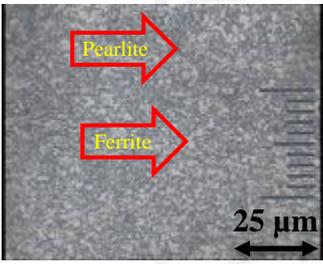
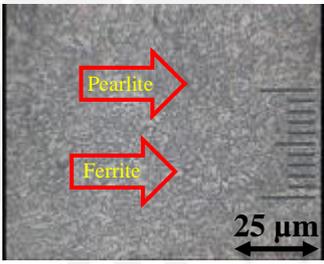
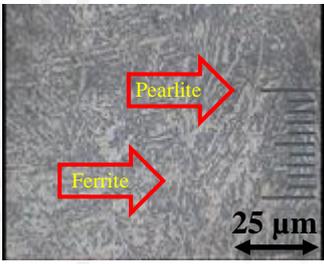
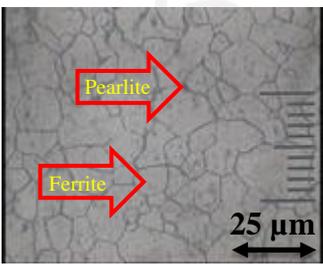
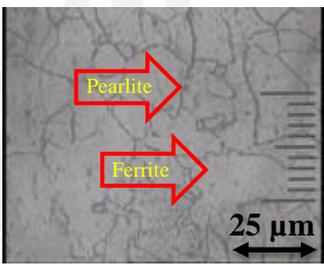
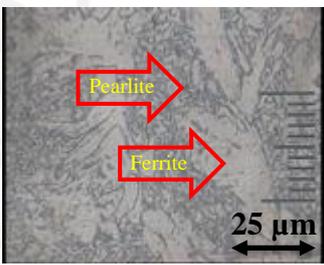
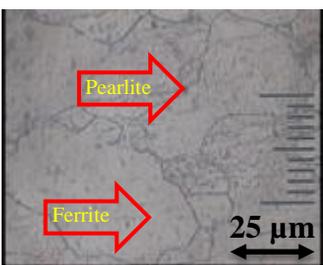
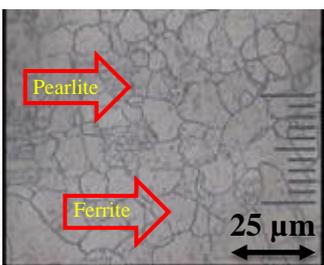
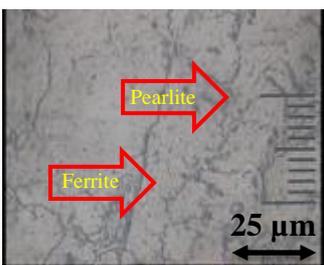
Gambar 4.5 Hasil foto makro

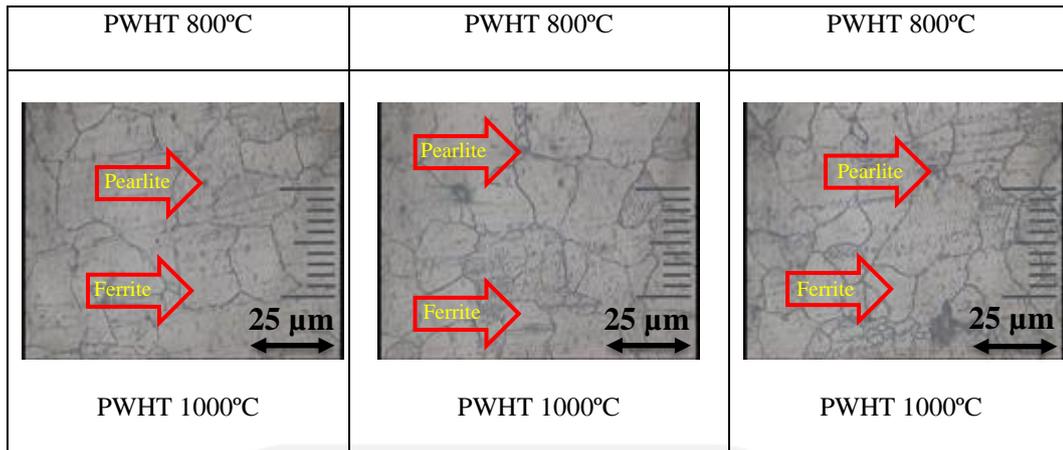
Dari hasil pengamatan struktur makro dapat dilihat terdapat kecacatan pada spesimen satu (1), dimana posisi spesimen tidak sejajar sehingga logam las mengisi penuh hanya di sebagian spesimen, hal ini terjadi karena pada saat proses pengelasan *clamp* yang digunakan untuk menahan spesimen tidak berada di posisi yang benar. Sedangkan pada spesimen dua (2) dan tiga (3) logam las tidak

sepenuhnya mengisi di antara kedua spesimen, karena pada saat pengelasan yang terlalu cepat. Dimana hal ini dapat mengakibatkan kekuatan sambungan menjadi lemah.

**b. Pengamatan Struktur Mikro**

Pada pengamatan struktur mikro dilakukan menggunakan alat *metallurgical microscope with inverted olympus* dengan perbesaran 200x. Dalam pengamatan struktur mikro ada tiga daerah yang diamati, yaitu daerah HAZ, logam induk dan las. Hasil pengamatan struktur mikro dapat dilihat pada gambar 4.6.

Base Metal	Daerah HAZ (Heat Affected Zone)	Daerah Las
 <p data-bbox="395 1216 555 1249">Tanpa PWHT</p>	 <p data-bbox="751 1216 911 1249">Tanpa PWHT</p>	 <p data-bbox="1117 1216 1276 1249">Tanpa PWHT</p>
 <p data-bbox="395 1597 555 1630">PWHT 600°C</p>	 <p data-bbox="751 1597 911 1630">PWHT 600°C</p>	 <p data-bbox="1117 1597 1276 1630">PWHT 600°C</p>
		



Gambar 4.6 Hasil foto mikro

Dari hasil foto struktur mikro pada daerah HAZ dan logam induk tanpa perlakuan PWHT. Struktur mikro didominasi fasa *pearlite* yang berwarna hitam, Sedangkan fasa yang tidak dominan pada daerah ini adalah fasa *ferrite* yang berwarna putih. dengan banyaknya struktur *pearlite* ini maka daerah tersebut akan mempunyai kekerasan yang tinggi.

Hasil foto struktur mikro pada daerah HAZ dan logam induk dari spesimen dengan perlakuan *annealing* 600°C, 800°C dan 1000°C. Pada dasarnya hasil foto struktur mikro pada daerah HAZ dan logam induk dengan perlakuan *treatment* ini sama, dimana struktur mikro di dominasi oleh fasa *ferrite* yang berwarna putih, Sedangkan fasa yang tidak dominan pada daerah ini adalah fasa *pearlite* yang berwarna hitam. dengan banyaknya fasa *ferrite* ini maka daerah tersebut akan mempunyai kekerasan yang rendah.

Dari hasil pengamatan struktur mikro pada daerah las terlihat jelas perbedaannya. Dimana struktur mikro pada daerah las tanpa PWHT didominasi oleh fasa *pearlite* yang berwarna hitam, sedangkan fasa yang tidak dominan yaitu fasa *ferrite* yang berwarna putih, sedangkan jika dilihat pada daerah las dengan variasi *temperature annealing* 600°C, 800°C dan 1000°C struktur mikro di dominasi oleh fasa *ferrite* yang berwarna putih, Sedangkan fasa yang tidak dominan pada daerah ini adalah fasa *pearlite* yang berwarna hitam. hal ini disebabkan karena semakin tinggi *temperature* atau ketika pemanasan mencapai *temperature* tinggi atau kritis dan pendinginan yang lambat, akan menyebabkan

fasa yang tadinya *pearlite* berubah menjadi *ferrite*. Akibatnya tingkat kekerasan dari sambungan las menurun dan keuletannya meningkat.

#### 4.4 Analisis dan Pembahasan Hasil Pengujian Kekerasan

Dalam penelitian uji kekerasan metode yang digunakan adalah metode kekerasan mikro *vickers*. Pengujian ini menggunakan mesin *micro hardness vickers* MHV M3 Japan. Pengujian kekerasan dilakukan di tiga daerah, dimana daerah itu ada logam induk, HAZ dan las. Setiap daerah dilakukan tiga titik pengujian dengan diberikan beban 200 gf dan jarak antar titik 0,1 mm. Sehingga didapatkan hasil berupa tabel angka yang dapat dilihat pada lampiran.

Berikut salah satu perhitungan dalam penelitian pengujian kekerasan untuk mendapatkan nilai kekerasan (HVN) menggunakan persamaan berikut.

- Nilai kekerasan variasi PWHT 800°C pada daerah HAZ

Pada titik uji 1 kekerasan

$$\frac{(1854 \times 200)}{62^2} = 96,46 \text{ HVN}$$

Pada titik uji 2 kekerasan

$$\frac{(1854 \times 200)}{65^2} = 87,76 \text{ HVN}$$

Pada titik uji 3 kekerasan

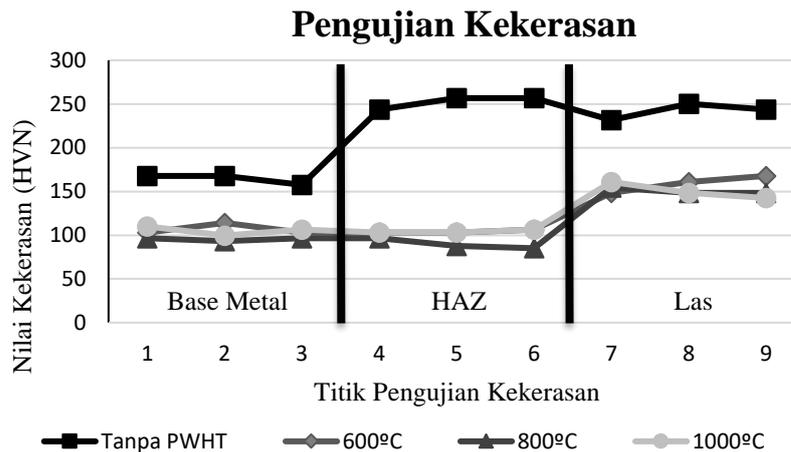
$$\frac{(1854 \times 200)}{66^2} = 85,12 \text{ HVN}$$

Setelah nilai kekerasan di tiga titik uji pada daerah HAZ didapatkan, maka selanjutnya menghitung rata-rata nilai kekerasan dari tiga titik pada daerah HAZ.

- Rata-rata nilai kekerasan variasi 800°C pada daerah HAZ

$$\frac{96,46 + 87,76 + 85,12}{3} = 89,78 \text{ HVN}$$

Dari hasil yang telah didapat mengenai nilai kekerasan di ketiga titik pada setiap daerah dengan tanpa PWHT dan variasi temperatur PWHT, maka dibuatlah grafik perbandingan nilai kekerasan spesimen tanpa PWHT dan variasi temperatur PWHT 600°C, 800°C dan 1000°C. Berikut grafik perbandingan nilai kekerasan dapat dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Grafik perbandingan pengujian kekerasan

Dari hasil grafik pada pengujian kekerasan dapat dilihat pada spesimen tanpa PWHT di semua daerah lebih tinggi dari spesimen yang sudah melalui proses PWHT. Hal ini disebabkan karena spesimen yang melalui proses PWHT memiliki struktur mikro yang dimana fasa *ferrite* lebih mendominasi dari fasa *pearlite*.

Pada daerah las di titik 9 variasi *temperature* 600°C memiliki nilai kekerasan sebesar 167,86 HVN, variasi *temperature* 800°C memiliki nilai kekerasan sebesar 148,32 HVN, variasi *temperature* 1000°C memiliki nilai kekerasan sebesar 142,56 HVN. Pada daerah las khususnya di titik 9 spesimen dengan variasi *temperature* 600°C memiliki nilai kekerasan tertinggi, sedangkan nilai kekerasan terendah pada spesimen dengan variasi *temperature* 1000°C, hal ini berhubungan dengan struktur mikro pada daerah las dimana semakin tinggi *temperature annealing*, fasa *ferrite* akan lebih dominan dari fasa *pearlite* sehingga tingkat kekerasan akan menurun.

#### 4.5 Analisis dan Pembahasan Hasil Pengujian Tarik

Pada penelitian ini pengujian tarik yang dilakukan pada spesimen uji menggunakan standar ASTM E-8. Proses pengujian tarik menggunakan *universal testing machine* yang dihubungkan langsung dengan *plotter*, sehingga diperoleh hasil berupa grafik dan tabel angka. Hasil data pengujian yang didapat berdasarkan tanpa PWHT dan tiga variasi temperatur *annealing*, yaitu *annealing* 600°C, *annealing* 800°C dan *annealing* 1000°C.

Berikut salah satu perhitungan dalam penelitian pengujian tarik ini dengan menggunakan persamaan nilai tegangan dan nilai regangan.

- Variasi PWHT 800°C (A)

Diketahui bahwa tebal : 2,88 mm, lebar : 11,97 mm dan  $P$  : 9,30 KN

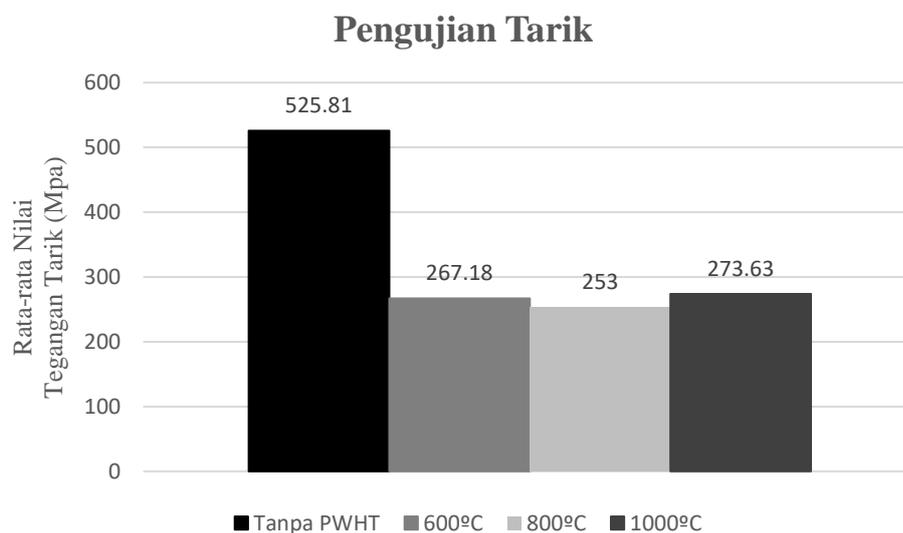
Persamaan nilai tegangan :

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{9,30 \times 10^3}{2,88 \times 11,97} = 269,77 \text{ Mpa}$$

Persamaan nilai regangan :

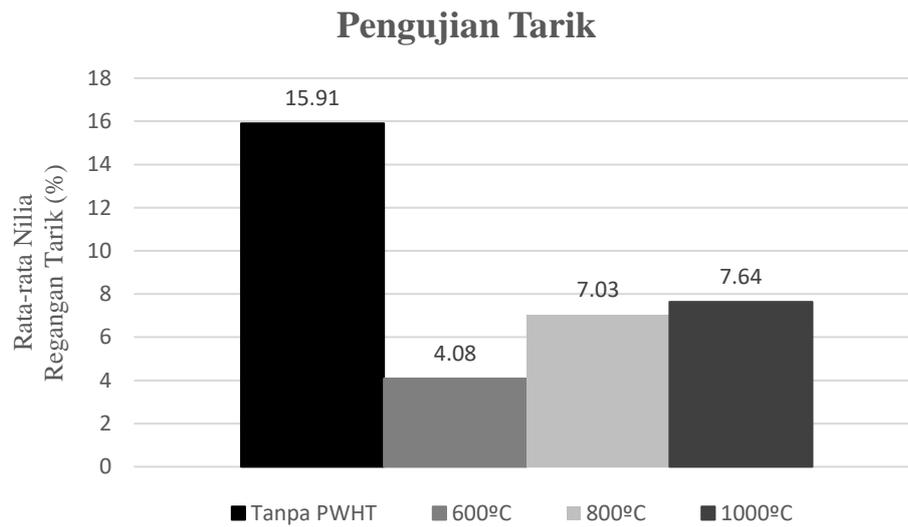
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{4,52}{50} \times 100\% = 9,04 \%$$

Dari hasil yang telah didapat mengenai nilai tegangan dan regangan pada pengujian tarik ini, maka dibuatlah grafik perbandingan tegangan dan regangan dari tanpa PWHT dan setiap variasi temperatur *annealing*. Grafik perbandingan tegangan uji tarik dapat dilihat pada gambar 4.8 dan grafik perbandingan regangan uji tarik dapat dilihat pada gambar 4.9



Gambar 4.8 Grafik tegangan pengujian tarik

Dari hasil grafik perbandingan rata-rata tegangan antara keempat spesimen yang sudah dilas tanpa PWHT dan dengan variasi *temperature annealing* didapatkan bahwa tegangan tarik tertinggi adalah tanpa PWHT sebesar 525,81 Mpa dan mengalami penurunan setelah di *annealing*. dimana penurunan tersebut terjadi di variasi 600°C dengan nilai sebesar 267,18 Mpa.



Gambar 4.9 Grafik regangan penguujian tarik

Pada hasil grafik perbandingan rata-rata regangan antara keempat spesimen yang sudah dilas tanpa PWHT dan dengan variasi *temperature annealing* didapatkan bahwa regangan tarik tertinggi adalah tanpa PWHT sebesar 15,91% dan mengalami penurunan setelah di *annealing*. dimana penurunan tersebut terjadi di variasi 600°C dengan nilai regangan sebesar 4,08%.

#### 4.6 Analisis dan Pembahasan Hasil Penguujian *Bending*

Dalam penelitian ini penguujian *bending* menggunakan metode *three point bending* dengan *universal testing machine* yang dilakukan di laboratorium penguujian material teknik mesin UGM. Spesimen uji yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada standar JIS 2201. Hasil data penguujian yang didapat berdasarkan tanpa PWHT dan tiga variasi temperatur PWHT, yaitu 600°C, 800°C dan 1000°C.

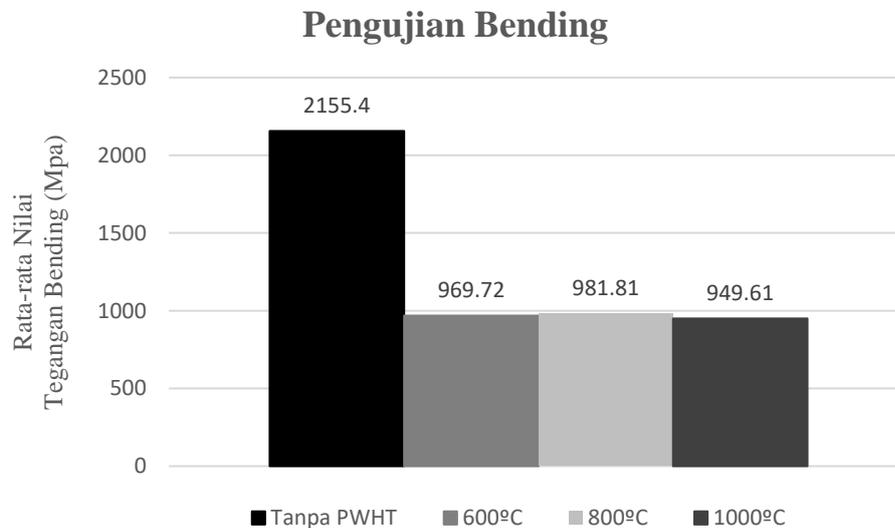
Berikut salah satu hasil perhitungan dalam penelitian penguujian *bending* ini dengan menggunakan persamaan nilai tegangan.

- Variasi PWHT 800°C (A)

Diketahui bahwa  $P : 0,86$ , tebal ( $d$ ) : 2,96 mm dan lebar ( $b$ ) : 11,17 mm

$$\sigma_b = \frac{3 \times P \times L}{2 \times b \times d^2} = \frac{3 \times 0,86 \times 10^3 \times 75}{2 \times 11,17 \times 2,96^2} = \frac{193.500}{195,73} = 988,59 \text{ MPa}$$

Dari hasil nilai tegangan yang didapatkan pada pengujian *bending* yang berupa tabel angka dapat dilihat pada lampiran, maka dibuatlah grafik perbandingan tegangan dari tanpa PWHT dan ketiga variasi temperatur *annealing*. Grafik perbandingan tegangan uji *bending* dapat dilihat pada gambar 4.10.



Gambar 4.10 Grafik pengujian *bending*

Berdasarkan hasil perbandingan rata-rata tegangan *bending*, didapatkan bahwa tanpa PWHT dengan nilai rata-rata tegangan 2155,4 Mpa merupakan tegangan *bending* tertinggi dan mengalami penurunan di variasi *annealing* 600°C sebesar 969,72 Mpa.

Jika dibandingkan dari ketiga spesimen dengan variasi *temperature annealing*, nilai tegangan tertinggi adalah variasi *annealing* 800°C sebesar 981,81 Mpa. Sedangkan tegangan *bending* paling rendah adalah variasi *annealing* 1000°C sebesar 949,61 Mpa.

#### 4.7 Analisis dan Pembahasan Hasil Pengujian Korosi

Pada penelitian uji korosi ini dilakukan dengan air laut dan menggunakan metode mengukur berat material setiap 10 hari sebanyak 4 kali. Berikut hasil berat material yang mengalami penurunan dan tetap dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil data kehilangan berat

Variasi	No	Berat Awal	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 3	Tahap 4
Tanpa	1	7,44	7,40	7,38	7,32	7,30

PWHT	2	8,78	8,73	8,68	8,64	8,60
PWHT 600°C	1	8,82	8,81	8,78	8,78	8,77
	2	7,40	7,39	7,38	7,38	7,37
PWHT 800°C	1	8,68	8,67	8,64	8,64	8,63
	2	7,30	7,29	7,29	7,28	7,28
PWHT 1000°C	1	7,54	7,54	7,52	7,52	7,51
	2	9,34	9,32	9,32	9,31	9,30

Dari hasil data kehilangan berat pada spesimen uji baja, maka selanjutnya dapat diketahui nilai laju korosi pada spesimen uji baja dengan menghitung menggunakan rumus yang sudah ditentukan. Berikut salah satu contoh perhitungan spesimen uji nomor 1 dengan variasi PWHT 600 pada tahap 1 (10 hari).

Diketahui :

W = 0,01 gram

D = 7,8 g/cm<sup>4</sup>

T = 24 x 10 = 240 jam

A = 840 mm

$$\text{Laju Korosi (mmpy)} = \frac{k \times w}{D \times A \times T} = \frac{8,76 \times 10^4 \times 0,01}{7,8 \times 840 \times 240} = 0,0006$$

Satuan dari pengukuran laju korosi adalah mmpy (*milimeter per year*). Nilai laju dari setiap material yang sudah didapatkan dengan menggunakan persamaan tersebut dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Nilai laju korosi

Variasi	1	2	3	4
Tanpa PWHT	0,002	0,001	0,003	0,002
	0,002	0,003	0,002	0,002
PWHT 600°C	0,0006	0,002	0	0,0006
	0,0006	0,0006	0	0,0006
PWHT 800°C	0,0006	0,002	0	0,0006
	0,0006	0	0,0006	0
PWHT 1000°C	0	0,001	0	0,0006
	0,001	0	0,0006	0,0006

Dari hasil perhitungan laju korosi yang didapat akan dimasukkan kedalam tabel standar pengujian korosi yang dapat dilihat pada tabel 4.5, sehingga dapat diketahui bahwa material yang digunakan memiliki ketahanan korosi ditingkat mana.

Tabel 4.5 Standar uji korosi (Fontana, 1986)

Laju Korosi	Standar (mm/yr)	Hasil (mm/yr)				Keterangan
		Tanpa PWHT	PWHT 600°C	PWHT 800°C	PWHT 1000°C	
Outstanding	<0,02	0,001–0,003	0,0006–0,002	0,0006–0,002	0,0006–0,001	Outstanding
Excellent	0,02–0,1					
Good	0,1–0,5					
Fair	0,5–1					
Poor	1–5					
Unacceptable	>5					

Jika dilihat dari standar uji korosi, spesimen yang digunakan berada ditingkat *outstanding* atau memiliki ketahanan korosi yang baik.



## BAB 5

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka ditarik beberapa kesimpulan yaitu :

1. Dari hasil uji kerataan spesimen satu (1) dan dua (2) kelengkungan tidak sama dengan spesimen tiga (3) dan empat (4), hal ini diakibatkan pada waktu melepas keempat *clamp* tidak dilepas secara bersama, hal tersebut dilakukan pada saat suhu spesimen belum sesuai dengan suhu ruangan.
2. Dari hasil uji komposisi didapatkan seri baja atau jenis baja yang digunakan, yaitu baja AISI 1000 SS dan dari hasil perhitungan nilai  $C_{ek}$  didapatkan bahwa nilai  $C_{ek}$  adalah 0,25396 yang artinya nilai  $C_{ek} < 0,4 - 0,5$ , dimana hal ini menunjukkan bahwa baja yang digunakan termasuk kategori yang mampus di las.
3. Dari hasil pengamatan struktur makro di daerah las terdapat kecacatan pada spesimen satu (1), dua (2) dan tiga (3). Dimana hal ini dapat mengakibatkan kekuatan sambungan menjadi lemah.
4. Dari hasil pengamatan struktur mikro, dapat dilihat perbedaan struktur *pearlite* dan *ferrite* disetiap daerah, Semakin tinggi variasi *temperature annealing*, maka struktur *ferrite* lebih dominan dari struktur *pearlite*.
5. Dari hasil nilai kekerasan, nilai tegangan *bending* dan nilai tegangan dan regangan tarik didapatkan bahwa spesimen tanpa PWHT memiliki nilai tertinggi dan terjadinya penurunan pada spesimen dengan variasi *temperature annealing*.
6. Dari hasil uji korosi, spesimen yang digunakan pada penelitian ini memiliki ketahanan korosi yang sangat baik.

## 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, adapun saran dari penulis untuk penelitian selanjutnya yaitu :

1. Dalam proses pengelasan sebaiknya benar-benar di perhatikan dari kondisi mesin las dan cara pengelasnya, karena hal ini dapat mempengaruhi bagus atau tidaknya hasil las.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menambahkan variasi pengujian yaitu uji *impact*.



## DAFTAR PUSTAKA

- Citrakara, U. S., Yoto, & Widiyanti. (2016). Perbedaan Kekuatan Tarik dan Jenis Patahan Sambungan Las GMAW Baja Karbon Rendah (ST 37) Akibat Proses *Normalizing*.
- Dimu, R. J., & Rerung, O. D. (n.d.). Analisa Pengaruh Variasi Arus Listrik Terhadap Kekerasan Material Baja Karbon Rendah Pada Daerah Lasan Tig Dan Mig. 8.
- Hestiawan, H., & Suryono, A. F. (2014). Pengaruh *Preheat* Dan *Post Welding Heat Treatment* Terhadap Sifat Mekanik Sambungan Las SMAW Pada Baja Amutit K-460. 5, 5.
- Rahardjo dan Darmansyah— Pengaruh *Annealing* Terhadap Las MIG Dengan Gas PEL.pdf. (n.d.).
- Sulistyo dan Irfa'i. (2019). Pengaruh *Temperature Annealing* Terhadap Kekuatan Mekanis Pada Daerah HAZ Pengelasan GMAW Semi Otomatis Baja SS 400 Pada Bogie Kereta Api.
- Prabawanto & Rasyid. (2018). Pengaruh *Annealing* Terhadap Sifat Mekanis Daerah HAZ Pengelasan GMAW Baja SM490 *Normalizing* dan Tanpa *Normalizing* Pada Bogie Kereta Api Di PT.INKA Madiun.
- Duniawan & Ilman— Pengaruh PWHT Terhadap Sifat Mekanik Sambungan Las Tak Sejenis *Austenitic Stainless Steel* Dan Baja Karbon.
- Julian & Budiarto. (2019). Analisa Perbandingan Kekuatan Tarik Pada Sambungan Las Baja SS400 Pengelasan MAG Dengan Variasi Arus Pengelasan Dan Media Pendingin Sebagai Material Lambung Kapal.
- Kukuh. (2019)— Analisa Pengaruh Laju Korosi Plat Baja ST 40 Dan *Stainless Steel* 304 Terhadap Larutan Asam Sulfat.





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



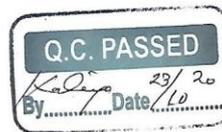
COMPANY : PT. ITOKOH CEPERINDO  
 SAMPLE NAME : SAMPLE BAJA  
 CUSTOMER : Sdr. Yogi  
 FURNACE : YJ2349b01/108  
 OPERATOR : FUTRA  
 DATE / TIME : 23-OCT-2020 09:26:12  
 TASK : Conc\_Fei METHOD : FEGLFE

	Fe	S	Al	C	Ni	Nb	Si
1	97.4655	0.0198	-0.0007	0.0696	0.0090	0.0010	0.7893
2	97.3456	0.0201	0.0007	0.0646	0.0095	0.0007	0.7508
AVG	97.5055	0.0197	-0.0000	0.0641	0.0093	0.0009	0.7701
SD	0.05667	0.00061	0.00101	0.00075	0.00037	0.00017	0.02723
SD%	0.06	3.09	3009.37	1.16	4.00	19.90	3.54

	Cr	V	Mn	Mo	W	P	Cu
1	0.0222	-0.0002	1.3752	-0.0008	0.0001	0.0158	0.1923
2	0.0218	-0.0002	1.3195	-0.0004	0.0001	0.0161	0.1908
AVG	0.0220	-0.0002	1.3474	-0.0006	0.0001	0.0157	0.1915
SD	0.00025	0.00002	0.03931	0.00026	0.00003	0.00059	0.00104
SD%	1.12	10.32	2.92	42.57	23.81	3.78	0.54

	Ti	N	B	Pb	Sb	Ca	Mg
1	0.0013	0.0367	0.0006	0.0001	0.0033	0.0000	0.0001
2	0.0013	0.0444	0.0006	0.0001	0.0045	0.0001	0.0001
AVG	0.0013	0.0406	0.0006	0.0001	0.0039	0.0001	0.0001
SD	0.00000	0.00547	0.00002	0.00000	0.00084	0.00008	0.00000
SD%	0.21	13.48	3.89	0.00	21.72	102.45	0.00

	Mn	Co
1	0.0005	0.0040
2	0.0005	0.0040
AVG	0.0005	0.0040
SD	0.00003	0.00003
SD%	5.42	0.68



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



**LABORATORIUM BAHAN TEKNIK**  
**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI**  
**UNIVERSITAS GADJAH MADA**

**HASIL PENGUJIAN KEKERASAN**

No	Spesimen		Diagonal rata-rata( $\mu\text{m}$ )			Kekerasan (HVN)			Kekerasan rata-rata (HVN)
	Variasi	Daerah	Uji 1	Uji 2	Uji 3	Uji 1	Uji 2	Uji 3	
1	Tanpa Treatment	Base Metal	47	47	48.5	167.86	167.86	157.64	164.45
2		HAZ	39	38	38	243.79	256.79	256.79	252.45
3		Las	40	38.5	39	231.75	250.16	243.79	241.90
4	Ph 300° 30 menit	Base Metal	43	44.5	45	200.54	187.25	183.11	190.30
5		HAZ	41	40	41	220.58	231.75	220.58	224.31
6		Las	38	40	38	256.79	231.75	256.79	248.44
7	Ph 300° 30 menit & pw 600° 1 jam	Base Metal	43	42	45	200.54	210.20	183.11	197.95
8		HAZ	42	42	43	210.20	210.20	200.54	206.98
9		Las	39	40	38	243.79	231.75	256.79	244.11
10	Pw 600° 1 jam	Base Metal	60	57	60	103.00	114.13	103.00	106.71
11		HAZ	60	60	59	103.00	103.00	106.52	104.17
12		Las	50	48	47	148.32	160.94	167.86	159.04
13	Pw 800° 1 jam	Base Metal	62	63	62	96.46	93.42	96.46	95.45
14		HAZ	62	65	66	96.46	87.76	85.12	89.78
15		Las	49	50	50	154.44	148.32	148.32	150.36
16	Pw 1000° 1 jam	Base Metal	58	61	59	110.23	99.65	106.52	105.47
17		HAZ	60	60	59	103.00	103.00	106.52	104.17
18		Las	48	50	51	160.94	148.32	142.56	150.61

Lembar asli, tidak untuk digandakan

**Keterangan**

1. Pengujian dilakukan tanggal 5 September 2020
2. Pengujian menggunakan alat Hardness Micro Vickers
3. Jarak antar titik uji 0,1 mm





**LABORATORIUM BAHAN TEKNIK**  
**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI**  
**UNIVERSITAS GADJAH MADA**

**HASIL PENGUJIAN TARIK**

No.	Spesimen	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (KN)	$\Delta L$ (mm)	Tegangan (MPa)	Regangan (%)
1	1a	3.03	11.58	20.09	12.76	572.57	25.52
2	1b	2.95	12.44	17.58	3.15	479.05	6.30
3	2a	3.01	12.39	9.88	2.39	264.92	4.78
4	2b	2.97	11.50	7.38	1.35	216.07	2.70
5	3a	2.96	11.17	10.82	0.29	327.25	0.58
6	3b	2.92	10.99	13.64	1.46	425.04	2.92
7	4a	2.93	12.00	10.78	3.60	306.60	7.20
8	4b	3.03	12.10	8.35	0.48	227.75	0.96
9	5a	2.88	11.97	9.30	4.52	269.77	9.04
10	5b	2.89	11.85	8.09	2.51	236.23	5.02
11	6a	3.16	12.60	11.10	4.19	278.78	8.38
12	6b	3.43	11.75	10.82	3.45	268.47	6.90

Lembar asli, tidak untuk digandakan

*Keterangan:*

1. Pengujian dilakukan tanggal 5 September 2020
2. Pengujian menggunakan Universal Testin
3. Standar spesimen menggunakan ASTM-E8





**LABORATORIUM BAHAN TEKNIK**  
**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI**  
**UNIVERSITAS GADJAH MADA**

**HASIL PENGUJIAN BENDING**

No.	Spesimen	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Pmax (KN)	Tegangan Bending (MPa)
1	1a	3.00	12.72	2.16	2122.64
2	1b	3.03	12.04	2.15	2188.16
3	2a	3.08	12.79	1.24	1149.75
4	2b	3.84	10.88	1.07	750.32
5	3a	2.94	10.60	1.81	2222.44
6	3b	3.38	11.07	1.83	1627.88
7	4a	3.26	10.07	0.81	851.48
8	4b	2.96	11.92	1.01	1087.96
9	5a	2.96	11.17	0.86	988.59
10	5b	2.95	11.80	0.89	975.03
11	6a	3.09	10.35	0.96	1092.86
12	6b	3.25	12.02	0.91	806.35

Lembar asli, tidak untuk digandakan

*Keterangan:*

1. Pengujian dilakukan tanggal 5 September 2020
2. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine
3. Standar spesimen menggunakan JIS 2201

