

**Pengaruh Waktu Gesek Pada Pengelasan *Rotary Friction Welding*
(RFW) Pada Baja AISI 1006**

TUGAS AKHIR

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



Disusun Oleh :

Nama : Rachnaldy Putra

No. Mahasiswa : 16525059

NIRM : 2016060868

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

2020

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya yang bertanda tangan dibawah ini, Rachnaldy Putra selaku penulis Tugas Akhir yang berjudul “Pengaruh Waktu Gesek Pada Pengelasan *Rotary Friction Welding* (RFW) Pada Baja AISI 1006” menyatakan bahwa dalam penulisan ini merupakan hasil karya asli penulis. Apabila dalam Tugas Akhir ini terbukti merupakan hasil duplikasi ataupun plagiasi dari penulis lain, penulis bersedia menerima berbagai bentuk sanksi akademik dan hukum sesuai dengan peraturan yang berlaku. Demikian surat pernyataan keaslian ini yang saya buat dalam keadaan sadar, penuh pertanggungjawaban dan tanpa adanya paksaan dari berbagai pihak.

Yogyakarta, 13 Agustus 2021



Rachnaldy Putra

16525059

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

Pengaruh Waktu Gesek Pada Pengelasan *Rotary Friction Welding* (RFW) Pada Baja AISI 1006

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

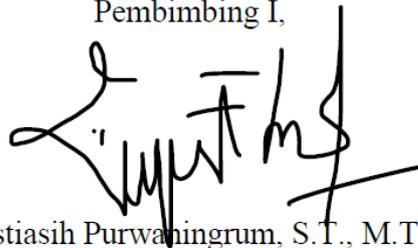
Nama : Rachnaldy Putra

No. Mahasiswa : 16525059

NIRM : 2016060868

Yogyakarta, 13 Agustus 2021

Pembimbing I,



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

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

Pengaruh Waktu Gesek Pada Pengelasan *Rotary Friction Welding* (RFW) Pada Baja AISI 1006

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Rachnaldy Putra

No. Mahasiswa : 16525059

NIRM : 2016060868

Tim Penguji

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

Ketua

Tanggal : 04 September 2021

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

Anggota I

Tanggal : 02 September 2021

Santo Ajie Dhewanto, S.T., M.M.

Anggota II

Tanggal : 27 Agustus 2021

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



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

HALAMAN PERSEMBAHAN



Segala puji kehadiran Allah SWT atas segala anugerah, cinta dan karunia-Nya yang telah memberikan segala nikmat dan menjadikanku orang yang beriman, berilmu dan berakal sehat sehingga dapat terselesainya Tugas Akhir ini. Saya berharap keberhasilan ini akan menjadi langkah awal bagi saya untuk mencapai tujuan saya di masa depan.

Disini saya mendedikasikan karya ini untuk Papa, Mama, Almh. Bunda dan Keluarga. Teruntuk Papa dan Mama terima kasih atas seluruh kasih dan sayang yang diberikan sejak lahir hingga saat ini dengan segala kelebihan dan kekurangannya tetapi selalu mencoba dalam memberikan yang terbaik untuk anak-anaknya. Dan untuk Almh. Bunda, terima kasih atas doa yang tak henti-hentinya, dan segala kebaikannya. Beserta keluarga lainnya termasuk nenek, kakek dan khususnya adik dan kakak yang selalu menjadi teman bertukar cerita sekaligus sahabat yang selalu memberikan motivasi dan semangat dalam hidup saya.

Terima kasih kepada Bapak/Ibu dosen pembimbing dan pengajar atas waktu yang diluangkan dalam memberikan ilmu, didikan, bimbingan dan pengalaman yang sangat berarti bagi saya untuk menjadi pribadi yang lebih baik serta terus memiliki semangat dalam menuntut ilmu.

Terima kasih juga kepada seluruh teman-teman seperjuangan Teknik Mesin khususnya angkatan 2016 atas segala dukungan, semangat, serta kritik dan saran yang membangun agar senantiasa tak lupa dalam mengoreksi diri.

Terima kasih yang sebesar-besarnya, akhir kata saya persembahkan Tugas Akhir ini kepada kalian dan orang-orang tersayang. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dan berguna untuk siapapun yang membacanya dan memberikan ilmu pengetahuan di masa yang akan datang.

HALAMAN MOTTO

“Keberhasilan bukanlah milik mereka orang-orang yang pintar, Keberhasilan adalah kepunyaan mereka orang-orang yang senantiasa berusaha”

– B. J Habibie

“Ubah pikiranmu dan kau dapat mengubah duniamu”

– Norman Vincent Peale

KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH

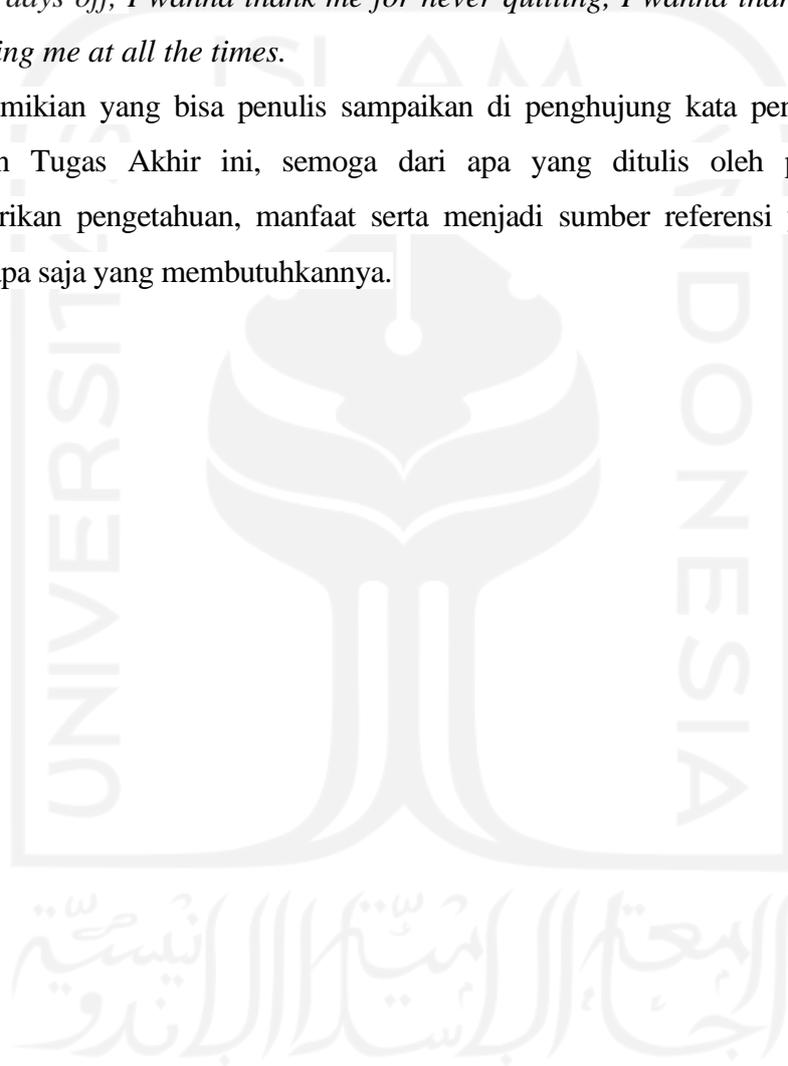
Puji syukur alhamdulillah kami panjatkan atas kehadiran Allah SWT, atas rahmat, hidayah dan karunia-Nya yang berlimpah serta tak lupa sholawat dan salam yang selalu kami curahkan kepada Nabi besar Muhammad SAW beserta keluarga dan para sahabatnya. Sehingga penulis dapat diberi nikmat kesehatan dan kesempatan dalam menyusun hingga menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan judul: **“Pengaruh Waktu Gesek Pada Pengelasan *Rotary Friction Welding (RFW)* Pada Baja AISI 1006”**. Laporan Tugas Akhir ini ditulis sebagai syarat dalam menyelesaikan pendidikan untuk memperoleh gelar sarjana teknik pada Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.

Dalam pengerjaan, penyusunan hingga selesainya Laporan Tugas Akhir ini penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada beberapa pihak yang telah berkontribusi dan terlibat dalam penyelesaian Laporan Tugas Akhir ini atas arahan, saran, motivasi dan bimbingannya. Dalam hal ini, penulis sampaikan rasa terima kasih atas bantuannya baik secara langsung maupun tidak langsung kepada:

1. Ayah, Ibu dan Keluarga tercinta yang selalu memberi doa terbaik, kasih sayang dan dukungan yang tak henti-hentinya selama menempuh pendidikan.
2. Bapak Dr. Eng. Risdiyono S.T., M.Eng. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
3. Ibu Yustiasih Purwaningrum, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan arahan, saran, motivasi serta waktu luangnya dalam membimbing penulis hingga dapat terselesainya Laporan Tugas Akhir.
4. Seluruh Dosen dan Karyawan di lingkungan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia atas bantuan dan kerjasamanya kepada penulis selama proses perkuliahan.
5. Pak Lilik selaku pembimbing dalam proses pengujian material di Laboratorium Bahan Teknik Universitas Gadjah Mada.
6. Excel Rifki Fachreza sebagai anjota dan rekan kerja yang selalu menemani dikala suka dan duka pada penelitian ini.

7. Teman-teman Angkatan 2016 beserta keluarga Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.
8. SMEW *Creative Lab* yang telah memfasilitasi ruang kerja selama proses penyusunan Laporan Tugas Akhir.
9. *Last but not least, I wanna thank me, I wanna thank me for believing in me, I wanna thank me for doing all this hard work, I wanna thank me for having no days off, I wanna thank me for never quitting, I wanna thank me for just being me at all the times.*

Demikian yang bisa penulis sampaikan di penghujung kata pengantar dalam Laporan Tugas Akhir ini, semoga dari apa yang ditulis oleh penulis dapat memberikan pengetahuan, manfaat serta menjadi sumber referensi yang berguna bagi siapa saja yang membutuhkannya.



ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi waktu gesek terhadap sifat fisik dan mekanik dari baja AISI 1006 yang dilakukan penyambungan menggunakan metode *Rotary Friction Welding (RFW)*. Parameter kecepatan putaran rotasi yang digunakan adalah 1.170 RPM dan *burn out* 3 mm + 2 mm. Dari hasil penyambungan tersebut dilakukan pengujian agar dapat menentukan parameter waktu gesek yang paling optimal. Pada pengujian tarik, variasi waktu gesek 4 menit memiliki nilai tertinggi dengan kekuatan tegangan sebesar 381 MPa dan kekuatan regangan sebesar 20 %. Pada pengujian *bending*, variasi waktu gesek 5 menit memiliki nilai tertinggi dengan kekuatan tegangan sebesar 270 MPa. Pada pengujian kekerasan *vickers*, variasi waktu gesek 5 menit memiliki nilai kekerasan pada sambungan las tertinggi dengan nilai kekerasan 175 VHN, sedangkan pada variasi waktu gesek 4 menit memiliki nilai kekerasan sebesar 153 VHN dan pada variasi waktu gesek 3 menit memiliki nilai kekerasan sebesar 141 VHN dan dalam hal ini terjadi peningkatan nilai kekerasan dengan semakin lamanya waktu gesek. Pada pengamatan struktur makro tidak terlihat adanya cacat pada sambungan ataupun perbedaan struktur yang signifikan. Pada pengamatan struktur mikro diketahui bahwa semakin lama waktu gesek yang digunakan maka semakin lebar daerah *Heat Affected Zone (HAZ)* yang terbentuk. Pada pengujian *dye penetrant* terlihat adanya cacat pada sambungan las tetapi masih tersambung dengan baik apabila dilihat dari pengamatan struktur makro. Pada pengujian korosi dari logam induk dan masing-masing variasi yang digunakan menunjukkan bahwa keduanya memiliki ketahanan korosi yang sangat baik.

Kata kunci: *rotary friction welding*, waktu gesek, *AISI 1006*.

ABSTRACT

This study aims to determine the effect of friction time variations on the physical and mechanical properties of AISI 1006 steel which is welded using the Rotary Friction Welding (RFW) method. The rotation speed parameter used is 1.170 RPM and burn out 3 mm + 2 mm. From the welding results, testing is carried out in order to determine the most optimal friction time parameter. In the tensile test, the friction time variation of 4 minutes has the highest value with a tensile strength of 381 MPa and a strain value of 20%. In the bending test, the friction time variation of 5 minutes has the highest value with a bending strength of 270 MPa. In the Vickers hardness test, the 5 minute friction time variation has the highest hardness value at the weld joint with a hardness value of 175 VHN, while the 4 minute friction time variation has a hardness value of 153 VHN and the 3 minute friction time variation has a hardness value of 141 VHN and In this case, the hardness value increases with the longer friction time. From the macrostructure observation, no defects in the welded joints or significant structural differences were seen. From the observation of the microstructure, it is known that the longer the friction time used, the wider the area of the Heat Affected Zone (HAZ) formed. In the dye penetrant test, it was seen that there were defects in the weld joint but it was still well welded when viewed from the observation of the macrostructure. In the corrosion test of the base metal and each variation used, it shows that both have excellent corrosion resistance.

Keywords: rotary friction welding, friction time, AISI 1006.

DAFTAR ISI

Pernyataan Keaslian.....	ii
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing.....	iii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji.....	iv
Halaman Persembahan.....	v
Halaman Motto.....	vi
Kata Pengantar atau Ucapan Terima Kasih.....	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 atau Perancangan.....	2
1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
Bab 2 Tinjauan Pustaka.....	4
2.1 Kajian Pustaka.....	4
2.2 Dasar Teori.....	6
2.2.1 Baja.....	6
2.2.2 Baja Paduan (<i>Alloy Steel</i>).....	6
2.2.3 Baja Karbon (<i>Carbon Steel</i>).....	7
2.3 Pengelasan.....	8
2.3.1 Las Gesek (<i>Friction Welding</i>).....	10
2.3.2 <i>Rotary Friction Welding</i>	11
2.4 Pengujian Material.....	12
2.4.1 Pengujian Tarik.....	12
2.4.2 Pengujian <i>Bending</i>	14

2.4.3	Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i>	16
2.4.4	Pengujian Metallografi.....	17
2.4.5	Pengujian <i>Dye Penetrant</i>	18
2.4.6	Pengujian Korosi.....	19
Bab 3 Metode Penelitian		21
3.1	Alur Penelitian	21
3.2	Alat dan Bahan	22
3.3	Proses Pembuatan Spesimen.....	22
3.4	Proses Penyambungan Spesimen.....	23
3.5	Proses Pengujian.....	24
3.5.1	Pengujian Komposisi Kimia	24
3.5.2	Pengujian <i>Dye Penetrant</i>	25
3.5.3	Pengujian Tarik.....	25
3.5.4	Pengujian <i>Bending</i>	28
3.5.5	Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i>	29
3.5.6	Pengamatan Struktur Makro & Mikro	30
3.5.7	Pengujian Korosi.....	31
Bab 4 Hasil dan Pembahasan		32
4.1	Hasil dan Analisis Pengujian	32
4.1.1	Hasil Penyambungan.....	32
4.1.2	Uji Komposisi Kimia	34
4.1.3	Pengujian <i>Dye Penetrant</i>	34
4.1.4	Pengujian Tarik.....	35
4.1.5	Pengujian <i>Bending</i>	38
4.1.6	Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i>	41
4.1.7	Pengamatan Struktur Makro & Mikro	43
4.1.8	Pengujian Korosi.....	44
Bab 5 Penutup		48
5.1	Kesimpulan	48
5.2	Saran atau Penelitian Selanjutnya.....	49
Daftar Pustaka		50
Lampiran.....		52

DAFTAR TABEL

Tabel 2-1	Kelebihan dan Kekurangan Metode Uji <i>Three Point Bending</i> dan <i>Four Point Bending</i>	16
Tabel 3-1	Nama Alat	22
Tabel 3-2	Nama Bahan	22
Tabel 4-1	Suhu Proses Pengelasan	33
Tabel 4-2	Hasil Pengujian Komposisi	34
Tabel 4-3	Hasil Pengamatan Struktur Makro	43
Tabel 4-4	Hasil Pengamatan Struktur Mikro	43
Tabel 4-5	Hasil Pengujian Korosi	45
Tabel 4-6	Hasil Perhitungan Laju Korosi	45
Tabel 4-7	Standar Laju Korosi	47



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1	Klasifikasi Cara Pengelasan.....	9
Gambar 2-2	Tiga Jenis Proses Pengelasan Gesek.....	10
Gambar 2-3	Skema Proses <i>Rotary Friction Welding</i>	11
Gambar 2-4	Perubahan Logam Uji Pada Mesin Uji Tarik.....	12
Gambar 2-5	Contoh Kurva Hasil Uji Tarik	13
Gambar 2-6	Kurva Empat Besaran/Parameter Yang Berbeda.....	14
Gambar 2-7	<i>Three Point Bending</i>	14
Gambar 2-8	<i>Four Point Bending</i>	15
Gambar 2-9	Tipe-Tipe Lekukan Piramid Intan.....	17
Gambar 2-10	Proses <i>Dye Penetrant</i>	19
Gambar 3-1	Alur Penelitian	21
Gambar 3-2	Proses Pemotongan Spesimen	22
Gambar 3-3	Proses dan Hasil <i>Facing</i>	23
Gambar 3-4	Proses Penyambungan	24
Gambar 3-5	Proses Pengujian Komposisi.....	24
Gambar 3-6	Proses Penyemprotan <i>Dye Penetrant</i>	25
Gambar 3-7	Mesin UTM Hidrolik	26
Gambar 3-8	Standar <i>Tensile Test</i> JIS Z2201	26
Gambar 3-9	Standar <i>Tensile Test</i> ASTM E8	27
Gambar 3-10	Hasil Pembuatan Spesimen Pengujian Tarik.....	27
Gambar 3-11	Standar Bending Test ASTM E290	28
Gambar 3-12	Proses dan Hasil Pembuatan Spesimen Uji Kekerasan	29
Gambar 3-13	Titik Penekanan Pada Pengujian Kekerasan.....	30
Gambar 3-14	Proses Pengamplasan Dengan Mesin Gripo 2M.....	30
Gambar 3-15	Mikroskop Optik.....	31
Gambar 4-1	Hasil Penyambungan Baja	32
Gambar 4-2	<i>Arbor</i> Yang Mengalami Patah	33
Gambar 4-3	Hasil Pengujian <i>Dye Penetrant</i>	35
Gambar 4-4	Hasil Pengujian Tarik	36
Gambar 4-5	Hasil Pengujian Tarik Logam Induk.....	37

Gambar 4-6	Spesimen Uji Pasca Pengujian Tarik	38
Gambar 4-7	Hasil Pengujian <i>Bending</i>	39
Gambar 4-8	Hasil Pengujian <i>Bending</i> Logam Induk	40
Gambar 4-9	Spesimen Uji Pasca Pengujian <i>Bending</i>	40
Gambar 4-10	Grafik Hasil Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i>	42
Gambar 4-11	Grafik Hasil Pengujian Korosi.....	46



DAFTAR NOTASI

RFW = Rotary Friction Welding

HAZ = Heat Affected Zone



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada abad ke-20, pengelasan gas dan pengelasan busur merupakan teknik pengelasan yang dikenal secara umum dikarenakan portabilitas dan biaya yang rendah. Belakangan, berbagai macam teknologi pengelasan muncul dalam mengatasi kekurangan pengelasan fusi tradisional yaitu kekuatan material yang berkurang, adanya distorsi, dan sisa kepadatan yang tinggi. Para peneliti telah menemukan metode pengelasan non-fusi yaitu material disambungkan melalui panas yang dihasilkan dari adanya gesekan mekanis antara dua benda kerja (Kumar Rajak et al., 2020). Dalam teknik pengelasan ini dihasilkan penggabungan sambungan pada suhu di bawah titik lebur bahan induk tanpa adanya penambahan bahan ketiga, yang digambarkan pada pengelasan *solid state* (Akca & Gürsel, 2016).

Friction welding juga dikenal sebagai proses pengelasan *solid state* yang menggabungkan material dengan bahan dasar logam atau polimerik baik *dissimilar* maupun *similar* (Kumar et al., 2018). Dua hal utama dalam *friction welding* didasarkan dari jenis gerakan yang terlibat dalam proses pengelasan yaitu gerak gesekan linier (*linear friction*) dan gerak gesekan putar (*rotary friction*). Pengelasan gesekan putar cocok dalam penyambungan bagian berbentuk melingkar seperti batang, batang bundar, tabung dan pipa. Sedangkan pengelasan gesekan linier cocok untuk geometri lainnya (Akinlabi & Mahamood, 2020).

Metode *rotary friction welding* (RFW) merupakan yang paling sederhana tetapi memiliki batasan yang melekat, yaitu tidak dapat digunakan untuk penyambungan bagian dengan penampang berjenis non-lingkar. Selama proses ini, hal terpenting adalah pemilihan parameter pengelasan gesekan. Dalam prosesnya, satu bagian diam dan bagian lainnya diputar pada kecepatan tertentu, sedangkan bagian yang diam didorong secara aksial dengan gaya tertentu hingga mulai mengalami deformasi plastis. Pada saat itu, rotasi berhenti dan bagian tersebut diberi tekanan tinggi hingga sambungannya dingin. Hal terpenting

selama proses ini adalah pemilihan parameter pengelasan gesek, parameter yang digunakan untuk memodulasi kualitas las yang dikembangkan adalah waktu, tekanan, dan rotasi (Dawood et al., 2017).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan oleh penulis, maka perlu dirumuskan permasalahan pada penelitian/perancangan ini yaitu: Bagaimana pengaruh variasi waktu gesek pengelasan baja pada metode RFW terhadap sifat fisik dan mekanik material?

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini, adapun batasan masalah agar permasalahan inti terarah dan tidak menyimpang terhadap apa yang di bahas antara lain sebagai berikut:

- a. Proses pengelasan spesimen dengan metode *rotary friction welding* dilakukan menggunakan mesin bubut yang terdapat pada Laboratorium Proses Produksi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.
- b. Material yang digunakan pada spesimen adalah baja seri AISI 1006
- c. Proses penyambungan dilakukan dengan 3 jenis variasi waktu gesek, yaitu 3 menit, 4 menit dan 5 menit.
- d. Kecepatan rotasi *spindle* mesin bubut yang dilakukan pada saat penyambungan adalah 1.170 RPM.
- e. Pengujian yang dilakukan pada spesimen sambungan adalah pengujian komposisi kimia, pengujian *dye penetrant*, pengujian tarik, pengujian *bending*, pengujian kekerasan *vickers*, pengujian metalografi struktur mikro dan pengujian korosi.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan perumusan masalah di atas, adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh sambungan material baja dengan variasi waktu gesek pada pengelasan RFW terhadap sifat fisik dan mekanik material.

1.5 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian yang ingin dicapai diharapkan memiliki manfaat dalam pengetahuan dan wawasan baik secara langsung maupun tidak langsung. Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Dapat mengetahui sifat fisik dan mekanik dari sambungan baja seri AISI 1006 pada *rotary friction welding* dengan variasi waktu gesek.
- b. Dapat mengetahui hasil sambungan las yang optimal dari hasil penelitian diantara 3 jenis variasi yang digunakan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika yang digunakan penulis agar memudahkan pemahaman maka dibuat uraian dalam tiap bab, yaitu sebagai berikut:

- a. Bab 1 – Pendahuluan

Pada bab ini akan diuraikan dan dijelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

- b. Bab 2 – Tinjauan Pustaka

Pada bab ini akan dijelaskan informasi dan teori pendukung dalam proses penyusunan yang menjadi dasar dalam penulisan penelitian.

- c. Bab 3 – Metode Penelitian

Pada bab ini akan dijelaskan alur penelitian, alat dan bahan pada penelitian serta tahapan yang dilakukan selama berjalannya penelitian.

- d. Bab 4 – Hasil dan Pembahasan

Pada bab ini akan diuraikan hasil dari penelitian yang dilakukan dan dilanjutkan dengan pembahasan dari hasil penelitian tersebut.

- e. Bab 5 – Penutup

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai kesimpulan dan saran yang didapatkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan penulis.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Dalam jurnal yang ditulis Budi Luwar Sanyoto dkk. (2012) melakukan penelitian mengenai penyambungan dua buah pipa logam baja karbon rendah dengan variasi waktu gesek 15, 20, 25, 30, 35 detik secara *rotary friction welding* menggunakan alat mesin las gesek dengan kecepatan putaran 4125 rpm dengan tekanan gesek sebesar 15 kg/cm² dan tekanan tempa sebesar 70 kg/cm². Dilakukan uji kekerasan rockwell dan uji metalografi struktur mikro dan didapatkan variasi waktu gesek 35 detik memiliki nilai kekerasan tertinggi pada bagian sambungan yaitu 47,5 HRA dan variasi waktu gesek 15 detik memiliki nilai kekerasan terendah dan diprediksi memiliki nilai kekuatan tarik yang paling rendah dikarenakan kemungkinan belum terjadinya proses penyambungan yang sempurna dan terjadi putus pada daerah sambungan. Dilakukannya pengelasan dengan variasi waktu gesek yang berbeda beda membuat daerah yang terpengaruh panas atau HAZ (*heat affected zone*) akan semakin panjang dan temperatur panas yang dihasilkan pun juga semakin tinggi dengan semakin lamanya waktu gesek dilihat dari temperatur saat pengelasan, tetapi dalam kenaikan temperature waktu gesek yang menjadi lebih tinggi juga tetap ada batasnya dikarenakan jika diteruskan dalam waktu yang lebih lama akan membuat temperatur menurun dikarenakan sumber gesekan yang semakin berkurang.

Dalam jurnal yang ditulis Jack Carol Adolf Pah dkk. (2018) melakukan penelitian mengenai penyambungan *dissimilar* baja karbon dan aluminium menggunakan *continous drive rotary friction welding* dan variasi waktu gesek yang digunakan adalah 5 detik, 7 detik, 9 detik dan 11 detik menggunakan tekanan gesek 24 Mpa, 30 Mpa dan 40 Mpa dengan menggunakan kecepatan putar 1600 rpm dengan tekanan tempa sebesar 79 Mpa dan dengan waktu tempa 60 detik menggunakan benda uji dengan diameter 15 mm. Kekuatan tarik tertinggi yang didapat dalam penelitian ini yaitu pada variasi waktu gesek 7 detik

menggunakan tekanan gesek 40 Mpa dengan nilai kekuatan tarik 186,978 Mpa. Dan pengujian kekerasan vickers yang diambil dari spesimen dengan nilai kekuatan tarik tertinggi mendapatkan nilai mencapai 167,8 VHN pada bagian sambungan baja dan 155,3 VHN pada sambungan bagian aluminium. Sedangkan nilai kekerasan terlemah yaitu variasi waktu gesek 11 detik pada tekanan gesek 40 Mpa dengan nilai mencapai 209,6 VHN pada sambungan bagian baja dan 117 VHN pada sambungan bagian aluminium. Dari hasil penelitian dikatakan bahwa semakin lama waktu gesek maka akan semakin lama proses pembangkitan panas yang membuat adanya perubahan ukuran butiran di daerah HAZ yang menyebabkan suatu lapisan *intermetallic* yang bersifat getas akan semakin tebal pada sambungan. Dimana akan berakibat pada turunnya kekuatan tarik sambungan.

Dalam jurnal yang ditulis Rahma Rei Sakura dkk. (2017) melakukan penelitian mengenai penyambungan baja dengan sudut *chamfer* 150 menggunakan *continous drive rotary friction welding* dan variasi waktu gesek yang digunakan adalah 25 detik, 35 detik, 45 detik dan 55 detik. Dan nilai kekuatan tarik tertinggi terdapat pada variasi waktu gesek 45 detik yaitu 703,835 N/mm² serta nilai kekuatan tarik terendah terdapat pada variasi waktu gesek pada 25 detik yaitu 428,671 N/mm². Dilihat dari pola patahan yang terjadi, pada variasi waktu gesek 25 dan 35 detik terjadi pada daerah sambungan las, pada variasi waktu gesek 45 detik terjadi pada logam induk dan pada variasi *friction time* 55 detik terjadi pada daerah HAZ. Untuk nilai kekerasan tertinggi terdapat pada sambungan variasi waktu gesek 55 detik yaitu 270 BHN, sedangkan nilai kekerasan terendah pada sambungan variasi waktu gesek 25 detik yaitu 250 BHN. Kesimpulan yang didapat pada penelitian ini adalah temperatur dan waktu gesek yang telah memenuhi akan membuat daerah *fully plasticized* yang lebar, dan semakin luas daerah *fully plasticized* maka sambungan yang terbentuk akan semakin baik serta nilai kekuatannya bertambah.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Baja

Baja adalah logam paduan besi yang memiliki berbagai jenis elemen dengan komposisi kandungan karbon yang sangat berpengaruh kuat terhadap sifat sifat didalamnya (Muhib Zainuri, 2008). Secara umum, klasifikasi baja dibagi berdasarkan tingkat kandungan karbon dan banyaknya paduan yang terdapat didalamnya. Salah satu unsur yang sangat penting pada kandungan baja adalah karbon, karena karbon dapat menambahkan tingkat kekuatan dan kekerasan baja.

2.2.2 Baja Paduan (*Alloy Steel*)

Baja paduan merupakan baja yang memiliki unsur lain atau lebih dengan kadar yang lebih banyak daripada kadar pada umumnya dalam baja karbon (Wahyudin, 1978). Unsur yang terdapat pada baja karbon umumnya adalah C, Mn, Si, P dan S. Untuk mendapatkan sifat yang lebih baik maka kadar unsur dalam Mn atau Si ditambahkan, begitupun unsur lainnya seperti Cr, Ni, Mo, Co, Ti, W dan sebagainya. Selain dapat memperbaiki sifat mekanisnya, juga dapat memperbaiki sifat ketahanan korosi, ketahanan suhu tinggi, ketahanan aus dan juga sifat listrik dan magnetik. Komposisi unsur paduan yang digunakan pada pembuatan baja paduan terdiri dari satu kandungan unsur ataupun lebih dengan berbagai nilai kadar yang ada di dalamnya dilihat dari keperluannya, sehingga membuat baja paduan memiliki berbagai jenis dan macamnya (Surdia Tata, 1992). Baja jenis ini diklasifikasikan berdasarkan tingkat elemen paduannya sebagai berikut:

a. Baja Paduan Rendah (*Low Alloy Steel*)

Baja paduan rendah adalah baja paduan yang memiliki elemen paduan kurang dari 2,5% wt, contohnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan sebagainya. Baja paduan rendah ini biasa digunakan dalam pembuatan perkakas potong, gergaji, cetakan penarikan, pahat kayu, mata pisau, pemotong kikir, gurdi batu.

b. Baja Paduan Menengah (*Medium Alloy Steel*)

Baja paduan menengah adalah baja paduan yang memiliki elemen paduan berkisar 2,5% - 10% wt, contohnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan sebagainya.

Baja paduan menengah ini biasa digunakan dalam pembuatan alat pengukur, cetakan penarikan, rol derat, mata gunting untuk plat tebal.

c. Baja Paduan Tinggi (*High Alloy Steel*)

Baja paduan tinggi adalah baja paduan yang memiliki elemen paduan lebih dari 10% wt, contohnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan sebagainya (Amanto, 1999). Baja paduan tinggi ini biasa digunakan dalam cetakan penarikan kawat, cetakan pengetrim, pengukur, rol derat.

2.2.3 Baja Karbon (*Carbon Steel*)

Sifat pada baja karbon ditentukan dari persentase jumlah karbon dan struktur mikronya. Dan dalam hal ini, baja karbon mengandung unsur lainnya seperti sulfur (S), fosfor (P), silikon (Si), mangan (Mn), dan lainnya yang jumlahnya terbatas. Klasifikasi pada baja berdasarkan jumlah kandungan karbonnya dibagi dalam tiga jenis yaitu sebagai berikut:

a. Baja Karbon Rendah (*Low Carbon Steel*)

Baja karbon rendah yang disebut juga *low carbon steel* memiliki kandungan karbon dalam baja kurang dari 0,3%. Baja ini bukanlah baja yang bersifat keras akibat kandungan karbon yang hanya kurang dari 0,3%C. Dikarenakan kandungan karbonnya yang rendah, baja jenis ini tidak dapat dikeraskan karena kandungan karbonnya tidak cukup untuk membentuk struktur martensit (Amanto, 1999).

b. Baja Karbon Sedang (*Medium Carbon Steel*)

Baja karbon sedang atau yang disebut juga *medium carbon steel* memiliki kandungan karbon yang berkisar antara 0,3%C – 0,6%C. Baja karbon jenis ini memungkinkan untuk dapat dikeraskan sebagian melalui adanya proses perlakuan panas (*heat treatment*). Baja dengan kandungan karbon sedang ini lebih keras dan lebih kuat jika dibandingkan dengan baja dengan kandungan karbon rendah (Amanto, 1999).

c. Baja Karbon Tinggi (*High Carbon Steel*)

Baja karbon tinggi atau yang disebut juga *high carbon steel* memiliki kandungan karbon yang berkisar antara 0,6%C – 1,5%C dengan nilai kekerasan yang tinggi tetapi memiliki keuletan yang rendah, jarak tegangan lumer terhadap

tegangan proporsionalnya hampir tidak diketahui dalam grafik tegangan regangan. Berbanding terbalik dengan baja karbon rendah, pengerasan dengan proses perlakuan panas pada baja karbon jenis ini tidak dapat memberikan hasil yang optimal karena terlalu banyaknya struktur martensit sehingga baja jenis ini bersifat getas (Amanto, 1999).

2.3 Pengelasan

Pengelasan adalah perpaduan yang terlokalisasi antara logam (*metal*) atau non logam (*non metal*) yang dihasilkan melalui material yang dipanaskan hingga mencapai suhu pengelasan (*welding temperature*) dengan atau tanpa adanya penerapan tekanan (*pressure*), atau hanya menggunakan penerapan tekanan saja dan dapat menggunakan adanya bahan pengisi maupun tidak (American Society of Mechanical Engineers, 2015).

Banyak faktor yang mempengaruhi kekuatan las, maka proses penyambungan dalam pengelasan harus sesuai dengan syarat yang memenuhi, antara lain:

- a. Bahan induk spesimen las harus dapat lebur dan cair oleh panas.
- b. Terdapat kesamaan sifat las antara bahan yang disambung, sehingga tidak meninggalkan maupun melemahkan sambungan las.
- c. Metode pada proses penyambungan harus disesuaikan dengan sifat benda padat dan tujuan dari penyambungan.

Berdasarkan metode kerjanya serta jenis pemanasannya, pengelasan diklasifikasikan menjadi tiga (Wiryosumarto, 2000). Yang dibagi dalam tiga kelas yakni sebagai berikut:

a. Pengelasan Cair

Metode ini dilakukan menggunakan sambungan yang dipanaskan hingga mencair dengan adanya panas yang bersumber dari busur listik atau semburan gas api melalui pembakaran.

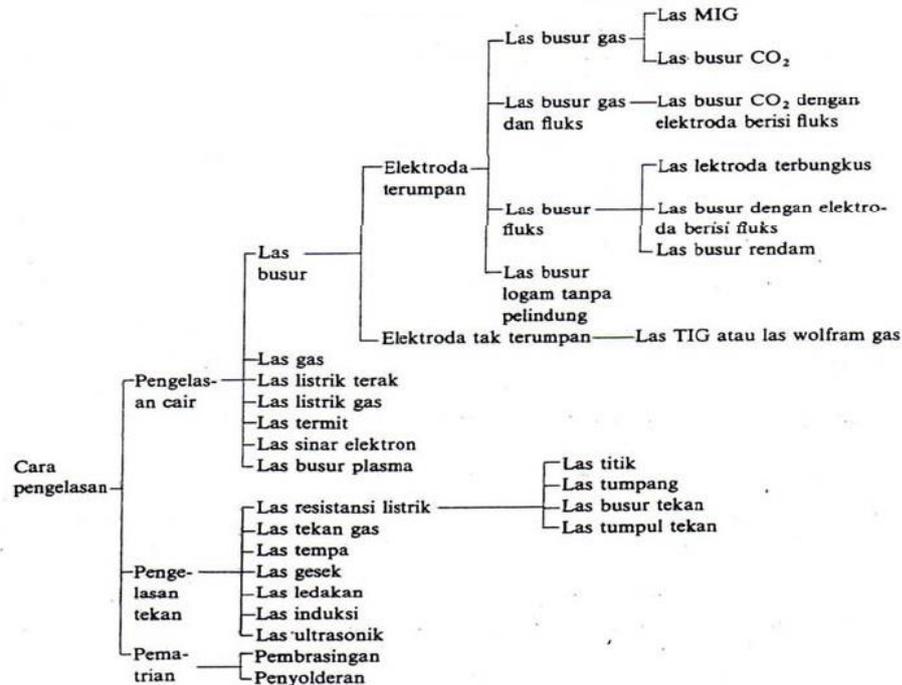
b. Pengelasan Tekan

Metode ini dilakukan menggunakan sambungan yang dipanaskan lalu diberi penekanan hingga menjadi satu bagian.

c. Pematrian

Metode ini dilakukan menggunakan sambungan yang diikat menjadi satu bagian menggunakan logam yang memiliki titik cair rendah. Melalui metode ini logam induk tidak ikut mencair.

Dalam klasifikasinya, jenis pengelasan dikelompokkan sesuai penggunaan metodenya dapat dilihat pada gambar 2-1 berikut.



Gambar 2-1 : Klasifikasi Cara Pengelasan

Sumber : (Toshie Okumura Teknologi Pengelasan Logam: 109)

Dalam proses yang terjadi terdapat beberapa kategori pengelasan berdasarkan hasil dari tiap daerah selama prosesnya, yang dibedakan secara karakteristik metalurginya (Timings, 1992). Sebagai berikut:

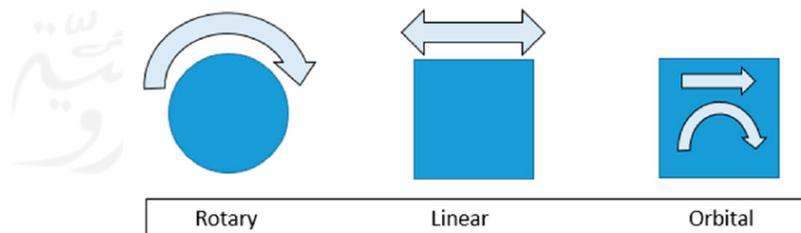
- a. *Weld Metal* (WM) atau logam las, adalah daerah yang terjadi pencairan dan kembali membeku sehingga menghasilkan dan merubah sifat mekanik beserta struktur mikronya.
- b. *Heat Affected Zone* (HAZ) atau daerah yang terpengaruh panas, adalah suatu daerah yang tidak mengalami proses pencairan dan pembekuan akan tetapi dapat mengubah struktur mikro yang diakibatkan pengaruh panas yang terjadi pada saat proses pengelasan.

- c. *Fusion Line* (FL) atau daerah fusi, adalah batas garis diantara logam yang mengalami proses pencairan dengan daerah HAZ.
- d. *Based Metal* (BM) atau logam induk, adalah logam yang dimana suhu dan panas pada saat proses pengelasan tidak membuat adanya perubahan struktur mikro dan sifat mekanik.

2.3.1 Las Gesek (*Friction Welding*)

Friction welding merupakan pengelasan yang dikategorikan dalam jenis pengelasan *solid state*, dimana proses penyambungan dilakukan dalam keadaan padat antara dua permukaan pada suhu di bawah titik lebur bahan induk tanpa adanya penambahan bahan maupun logam pengisi serta juga dapat dilakukan menggunakan atau tanpa menggunakan tekanan. *Friction welding* adalah proses penggabungan yang dihasilkan melalui panas yang berasal dari gesekan mekanis dan dikombinasikan dengan tekanan antara dua permukaan, yang salah satu diberikan rotasi dan satu bagian lagi dalam posisi diam dengan adanya penekanan. Gesekan yang terjadi dilakukan secara terus menerus hingga tercapainya temperatur pengelasan (*welding temperature*) yang dilanjutkan proses penempaan dengan pemberian gaya aksial setelah putaran diberhentikan dan terjadi penyambungan antara dua bahan induk.

Proses pengelasan gesek di klasifikasikan dalam tiga bagian berdasarkan metode pengerjaannya seperti pada gambar 2-2 yang diantaranya adalah *rotary friction welding*, *linier friction welding* dan *orbital friction welding*

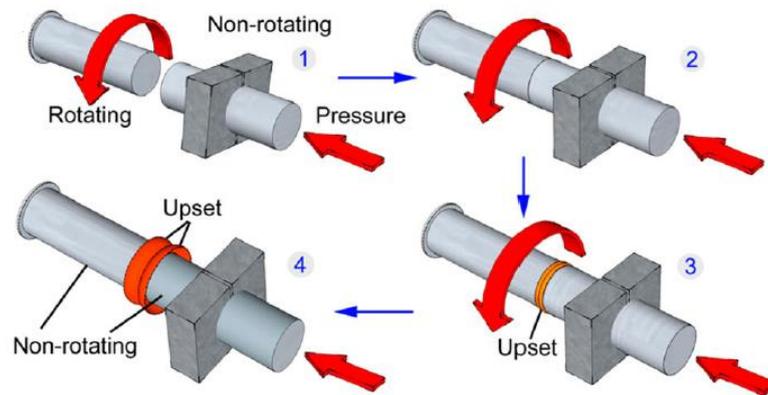


Gambar 2-2 : Tiga Jenis Proses Pengelasan Gesek

Sumber : (Rombaut,2017)

2.3.2 Rotary Friction Welding

Rotary Friction Welding adalah salah satu metode pengelasan gesek dimana proses penyambungan yang dihasilkan melalui panas yang diakibatkan gesekan yang terjadi dari putaran *spindle* yang memutar benda kerja 1 dengan kecepatan konstan yang diberi penekanan dari permukaan sambungan benda kerja 2 yang berada dalam posisi diam pada mesin las gesek seperti pada gambar 2-3, dalam proses RFW dapat juga dilakukan menggunakan mesin bubut yang pemberian tekanannya dapat dilakukan secara perlahan menggunakan *tailstock* pada mesin bubut. Umumnya pada pengelasan ini dilakukan penyambungan suatu bahan induk yang berbentuk silinder pejal.



Gambar 2-3 : Skema Proses *Rotary Friction Welding*

Sumber : (Li et al., 2016)

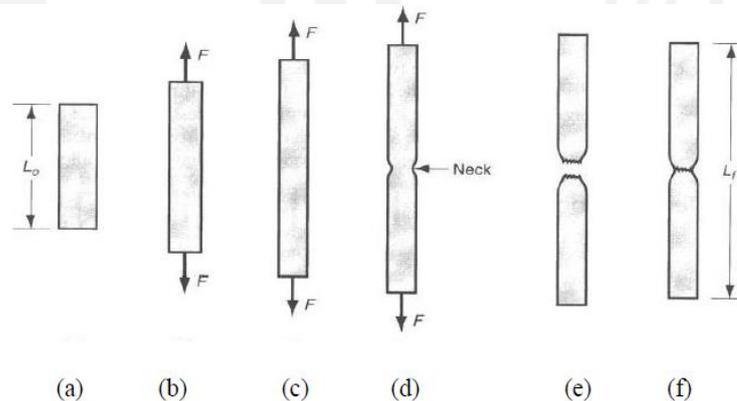
Gesekan yang terjadi antara permukaan memungkinkan kenaikan suhu yang cepat pada permukaan sambungan, menyebabkan massa mengalami deformasi plastis dan berjalan berdasarkan penerapan tekanan dan gaya sentrifugal, menciptakan flash. Dengan adanya *flash* akan menghilangkan kotoran dan oksida dari permukaan yang membuat terciptanya permukaan dengan daya rekat kimia dan fisik yang sangat baik. Kenaikan suhu pada permukaan sambungan dan penerapan tekanan menghasilkan difusi antara dua bahan dikarenakan penyatuan mereka (Alves et al., 2010).

2.4 Pengujian Material

Pengujian material adalah metode untuk mengetahui kualitas suatu material yang berfungsi mengetahui sifat sifat mekanik dalam material tersebut. Adanya pengujian material perlu dilakukan secara tepat agar dalam penggunaan dan perancangan pada bahan yang di uji dapat dimanfaatkan sesuai masing masing keperluannya. Dalam pengujian material terdapat dua jenis pengujian berdasarkan metode yang dilakukan yaitu pengujian merusak (*destructive test*), dengan memberikan pembebanan atau penekanan pada spesimen uji hingga mengalami kerusakan dan pengujian tidak merusak (*non destructive test*), yaitu dengan memberikan perlakuan tertentu tanpa merusak spesimen uji.

2.4.1 Pengujian Tarik

Pengujian tarik adalah metode yang digunakan untuk mengetahui kekuatan material dengan memberikan gaya beban yang kuat. Alat yang dipakai dalam menguji spesimen uji adalah mesin uji tarik yaitu dengan cara menarik spesimen uji hingga putus seperti skema pada gambar 2-4 berikut. Hasil dari pengujian tarik adalah berupa fenomena hubungan yang terjadi antara tegangan dan regangan selama proses pengujian tarik (Askeland, 1985).



Gambar 2-4 : Perubahan Logam Uji Pada Mesin Uji Tarik

Sumber : (ASTM)

Selain diperoleh spesimen uji yang putus pasca proses penarikan, dalam proses ini juga dihasilkan kurva uji tarik dari spesimen uji. Kurva uji tarik ini adalah gambaran dari proses pembebanan yang terjadi pada spesimen kerja dari

dimulainya awal penarikan hingga spesimen menjadi putus. Dengan persamaan tegangan dan regangan sebagai berikut:

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

Dengan:

σ : Tegangan (N/m²)

P : Beban (N)

A : Luas penampang (m²)

$$\text{Regangan: } \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \dots \dots \dots (2.2)$$

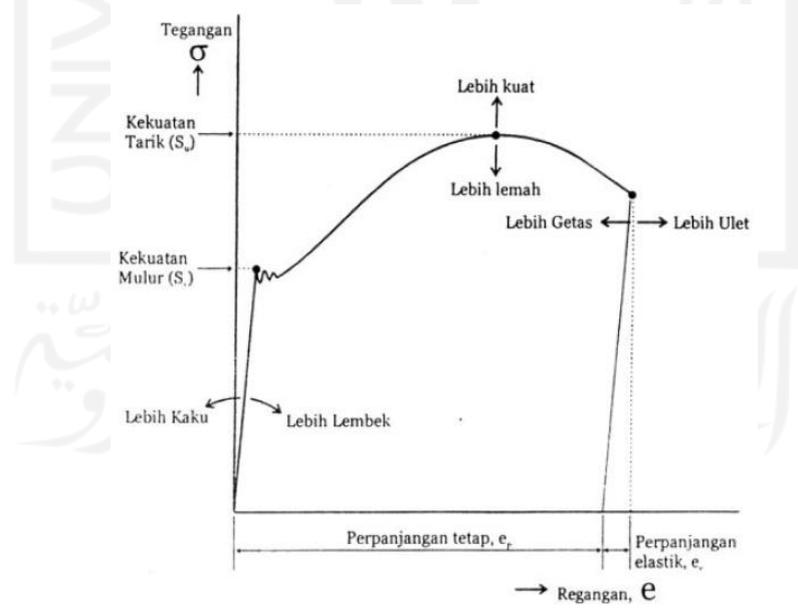
Dengan:

ε : Regangan

ΔL : Penambahan panjang

L_0 : Panjang awal

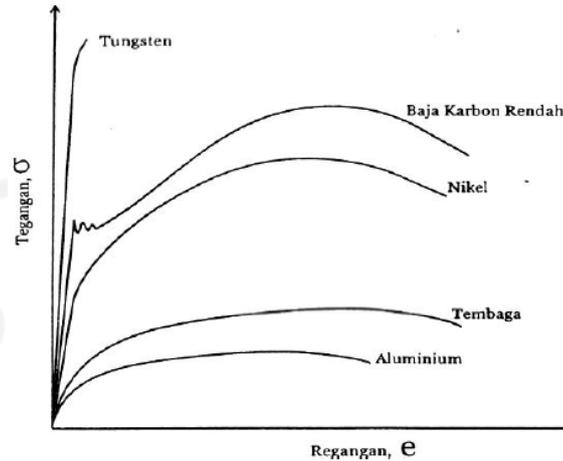
Melalui kurva uji tarik juga dapat diperoleh sifat mekanik suatu material. Beberapa sifat mekanik suatu material yakni mulai dari kekuatan tarik, keuletan dan elastisitas. Hasil dari kurva uji tarik terdapat pada gambar 2-5



Gambar 2-5 : Contoh Kurva Hasil Uji Tarik

Sumber : (Budiman, 2016)

Dari tiap logam yang dilakukan pengujian tarik dapat memperlihatkan perbedaan perilaku yang mengartikan terdapat empat parameter atau besaran yang berbeda beda. Perbedaan perilaku yang terjadi ditunjukkan pada gambar 2-6



Gambar 2-6 : Kurva Empat Besaran/Parameter Yang Berbeda

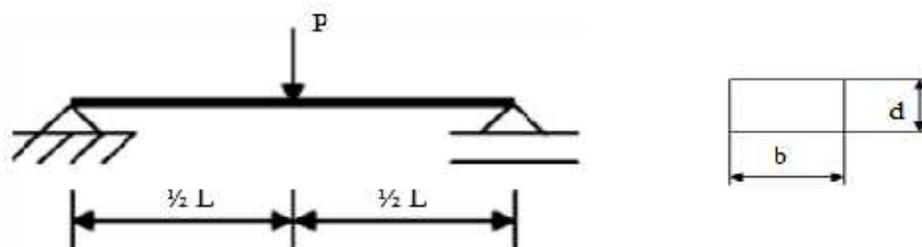
Sumber : (Budiman, 2016)

2.4.2 Pengujian *Bending*

Pengujian *bending* merupakan proses pengujian material dengan cara di tekan dan hasil yang didapat berupa data tentang nilai kekuatan lengkung (*bending*) pada material spesimen uji. Pada proses pengujian *bending* terdapat 2 jenis pengujian, yaitu *3 point bending* dan *4 point bending* sebagai berikut:

a. *Three Point Bending*

Three point bending merupakan metode pengujian *bending* dengan menggunakan 1 penekan dan 2 tumpuan.



Gambar 2-7 : *Three Point Bending*

Sumber : (Khamid, 2011)

Perhitungan yang dipakai (West Conshohocken, 1996):

$$\sigma = \frac{3PL}{2bd^2} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dengan:

σ_f : Tegangan lengkung (kgf/mm²)

P : Beban atau Gaya yang terjadi (kgf)

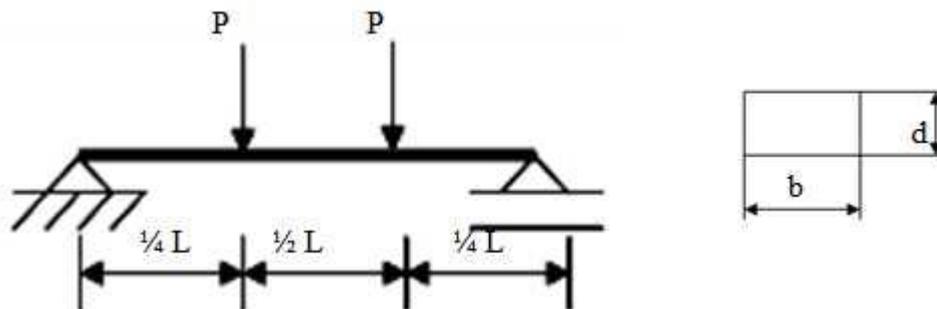
L : Jarak *point* (mm)

b : Lebar benda uji (mm)

d : Ketebalan benda uji (mm)

b. Four Point Bending

Three point bending merupakan metode pengujian *bending* dengan menggunakan 2 penekan dan 2 tumpuan.



Gambar 2-8 : *Four Point Bending*

Sumber : (Khamid, 2011)

Perhitungan yang dipakai (West Conshohocken, 1996):

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

Dengan:

σ_f : Tegangan lengkung (kgf/mm²)

P : Beban atau Gaya yang terjadi (kgf)

L : Jarak *point* (mm)

b : Lebar benda uji (mm)

d : Ketebalan benda uji (mm)

Tabel 2-1 : Kelebihan dan Kekurangan Metode Uji *Three Point Bending* dan *Four Point Bending* (Khamid, 2011)

<i>Three Point Bending</i>	<i>Four Point Bending</i>
Kelebihan	
<ul style="list-style-type: none"> • Mudah dalam persiapan spesimen dan pengujian • Dalam pembuatan <i>point</i> lebih mudah 	<ul style="list-style-type: none"> • Dalam perhitungan rumus menjadi lebih mudah • Akurat pada hasil pengujian
Kekurangan	
<ul style="list-style-type: none"> • Sulit dalam penentuan titik tengah, dikarenakan jika posisi tidak di tengah akan berubah dalam penggunaan rumus • Dapat terjadi pergeseran specimen sehingga spesimen yang diuji akan patah tidak tepat di tengah. sehingga rumus akan menggunakan kombinasi tegangan lengkung dengan tegangan geser 	<ul style="list-style-type: none"> • Sulit dalam pembuatan <i>point</i> • 2 <i>point</i> pada penekan harus berjalan bersamaan. Jika tidak maka spesimen akan menjadi pengujian dengan <i>three point bending</i>, sehingga akan berbeda dalam penggunaan rumus

2.4.3 Pengujian Kekerasan *Vickers*

Dalam pengujian kekerasan vickers, digunakan indenter berbentuk piramida. Besar sudut pada tiap permukaan piramida yang berhadapan yaitu 136° . Nilai tersebut diambil dikarenakan paling mendekati dari sebagian besar nilai perbandingan yang diinginkan, yaitu antara diameter bola penumbuk pada uji kekerasan brinell dan diameter lekukan (Dieter, 1987).

Nilai dari pengujian kekerasan vickers didefinisikan dalam beban dibagi luas pada permukaan lekukan. Dalam prakteknya, luas dihitung dari pengukuran mikroskopik panjangnya diagonal jejak. Nilai VHN dapat ditentukan melalui persamaan sebagai berikut:

$$VHN = \frac{2P \sin(\theta / 2)}{d^2} = \frac{(1.854)P}{d^2} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana:

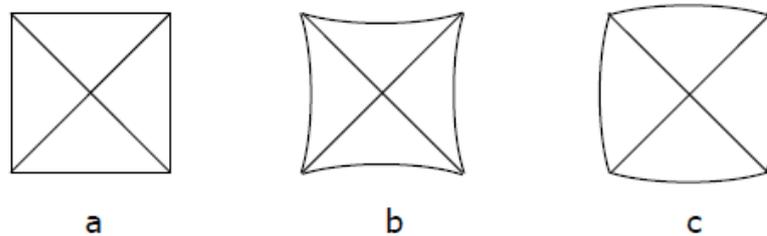
P : Beban yang digunakan (kg)

d : Panjang diagonal rata-rata (mm)

θ : Sudut pada permukaan intan yang berhadapan = 136°

VHN pada hal ini tidak tergantung pada beban dikarenakan jejak yang telah dibuat dalam penekan piramida ini sudah serupa secara geometris dan tidak

terdapat persoalan mengenai ukurannya dan terkecuali jika pada beban yang sangat ringan. Pada uji kekerasan *vickers* ini beban yang biasa digunakan yaitu berkisar antara 1 hingga 120 kg dengan melihat tingkat kekerasan pada logam yang akan diuji. Bentuk hasil pemberian beban pada spesimen uji juga menghasilkan bentuk yang berbeda beda seperti pada gambar 2-9 berikut.



Gambar 2-9 : Tipe-Tipe Lekukan Piramid Intan: (a) Lekukan Sempurna, (b) Lekukan Bantal Jarum, (c) Lekukan Tong

Sumber : (Dieter, 1987)

Lekukan sempurna yang dibuat oleh penekan piramida intan setelah adanya pengujian yaitu berbentuk persegi. Lekukan bantal jarum pada gambar b ini terjadi akibat penurunan logam pada bagian datar permukaan piramida. Keadaan tersebut terjadi pada logam setelah proses pelunakan yang mengakibatkan ukuran panjang diagonal yang berlebih. Lekukan berbentuk tong pada gambar c yaitu diakibatkan adanya penimbunan ke atas pada logam daerah permukaan penekan yang terdapat pada logam yang setelah mengalami proses pengerjaan dingin.

2.4.4 Pengujian Metallografi

Mikro struktur atau metallografi adalah suatu bentuk susunan struktur yang terbentuk pada material logam dengan ukuran yang sangat kecil dan tidak beraturan, bentuknya berbeda-beda tergantung pada unsur dan proses yang dialami pada saat pembentukannya.

Analisis metallografi dibedakan menjadi dua bagian yaitu analisis makroskopi dan analisis mikroskopi (Vander, 2003).

a. Analisis Makroskopi

Analisis ini dilakukan secara kasat mata maupun mikroskop dengan nilai perbesaran maksimal 20 x atau 20 : 1. Tujuan pada analisis ini yaitu untuk mengetahui segregasi yang ada pada unsur-unsur sulfur, fosfor serta adanya inklusi, rongga penyusutan atau rongga udara

b. Analisis Mikroskopi

Analisis ini dilakukan menggunakan mikroskop optik dengan nilai perbesaran yaitu minimal 20 x. Tujuan pada analisis ini yaitu untuk melihat fasa serta struktur yang ada pada material apakah sesuai pada spesifikasi mutu dan syarat operasional yang diinginkan. Selain itu, tujuan dari analisis ini juga dapat melihat penyebab terjadinya penyimpangan pada struktur logam ataupun jenis cacat yang ada seperti adanya inklusi, retakan hingga rongga udara (Greaves, 1998).

Dalam analisis metalografi ini juga dapat menyatakan benar atau tidaknya bentuk mikro pada struktur logam setelah melalui proses perlakuan panas seperti normalisasi, pelunakan, pendinginan cepat dll serta setelah adanya proses pengelasan maupun penempaan (Neely, 1994).

2.4.5 Pengujian *Dye Penetrant*

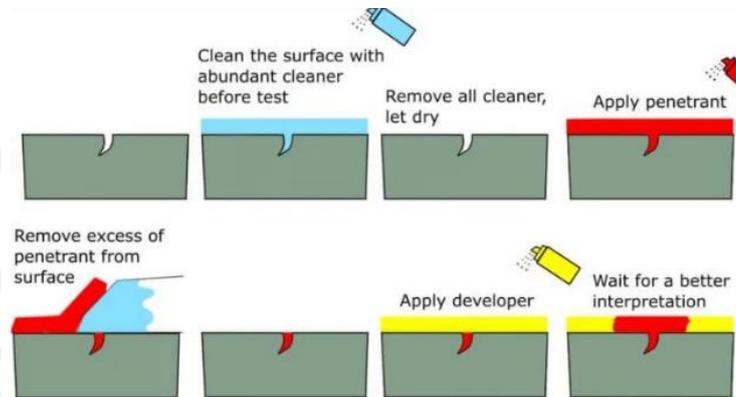
Dye Penetrant merupakan salah satu jenis non destructive test atau pengujian yang tidak merusak dan sederhana yaitu dengan penyemprotan dengan cairan penetrasi pada bagian permukaan spesimen uji agar dapat melihat adanya cacat pada bagian permukaan (G.Kedarnath, 2017). Dalam pengujian ini dapat dilakukan pada spesimen uji material logam ferro maupun non ferro, memanfaatkan daya kapilaritas menjadi prinsip pada proses penetrasi ini. Terdapat kelebihan dan kekurangan dari pengujian *dye penetrant* yaitu sebagai berikut: (T Endramawan, 2017)

Kelebihan *dye penetrant*:

- a. Mudah dalam melakukan pengaplikasian
- b. Pembiayaan yang murah
- c. Jangkauan yang luas dalam penerapannya pada spesimen

Kekurangan *dye penetrant*:

- a. Tidak dapat dilakukan pemeriksaan pada bagian dalam spesimen
- b. Tidak dapat dilakukan pada spesimen berpori



Gambar 2-10 : Proses *Dye Penetrant*

Sumber: (Achmadi, 2017)

Pada proses pengujian ini menggunakan tiga jenis cairan yaitu *penetrant*, *developer* dan *remover/cleaner* seperti pada gambar 2-10 diatas. Pertama, dengan melakukan pembersihan spesimen uji dengan air maupun *remover/cleaner*. Langkah selanjutnya dengan memberikan cairan *penetrant*, yang bertujuan agar cairan *penetrant* masuk pada bagian cacat spesimen. Lalu melakukan pembersihan spesimen uji dengan menggunakan *cleaner/remover* untuk membersihkan kembali cairan *penetrant* yang tidak masuk dalam bagian cacat material. Setelah dilakukan pembersihan yaitu dengan memberi cairan *developer* agar mengembangkan larutan *penetrant* yang sudah masuk pada bagian dalam cacat material. Dan terakhir dilakukan pengamatan pada material spesimen uji (G.Kedarnath, 2017).

2.4.6 Pengujian Korosi

Korosi adalah degradasi suatu material umumnya pada logam yang diakibatkan oleh adanya reaksi elektrokimia pada material tersebut dengan lingkungannya (Einar Bardal, 2003). Dan juga beberapa ahli mengatakan bahwa korosi adalah turunnya mutu sebuah logam yang diakibatkan oleh reaksi

elektrokimia dengan lingkungannya (Trethewey, K. R. dan J. Chamberlain, 1991).

Kecepatan rambatan ataupun kecepatan turunnya mutu sebuah logam terhadap waktu disebutkan sebagai laju korosi. Pada perhitungan nilai laju korosi menggunakan satuan yaitu mm/th dalam standar internasional dan dapat juga menggunakan *millimeter/year* (mmpy) dalam standar british (Trethewey, K. R. dan J. Chamberlain, 1991).

Laju korosi dapat dihitung menggunakan metode kehilangan berat atau *weight gain loss* (WGL) yakni dengan menghitung massa logam yang telah dilakukan pembersihan dari oksida yang dinyatakan sebagai massa awal, lalu diletakkan dalam lingkungan korosif seperti air asam dalam waktu tertentu. Setelah itu melakukan pembersihan dan menghitung kembali massa dari logam tersebut setelah terjadinya korosi yang telah terbentuk dan dinyatakan massa akhir. Dengan mengambil data lama waktu perendaman, luas daerah permukaan perendaman serta massa jenis logam uji akan menghasilkan nilai laju korosi. Persamaan nilai laju korosi dihasilkan melalui persamaan sebagai berikut :

$$Corossion\ Rate = \frac{K \times W}{A \times t \times \rho} \dots\dots\dots(2.6)$$

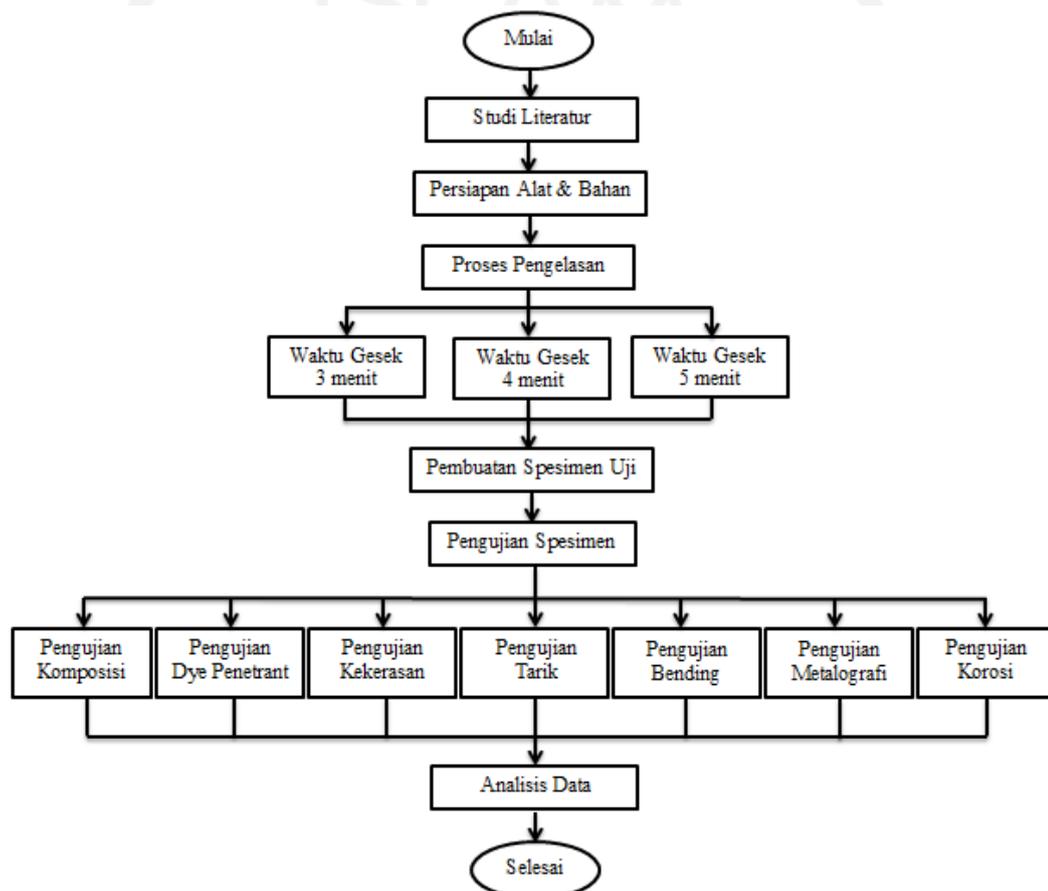
Keterangan :

- v : Laju korosi (mmpy)
- w : Kehilangan berat (g)
- ρ : Massa jenis (g/cm³)
- A : Luas sampel (cm²)
- t : Waktu (jam)
- k : Konstanta

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Dalam penelitian ini dibuat alur penelitian agar terarah dan teratata sesuai prosedur dan tujuan yang diinginkan, yaitu sebagai berikut:



Gambar 3-1 : Alur Penelitian

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini beserta fungsinya dijelaskan pada tabel 3-1 dan 3-2 sebagai berikut:

Tabel 3-1 : Nama Alat

No.	Alat	Fungsi
1	Mesin Bubut	Melakukan penyambungan logam dengan metode RFW
2	Gerinda	Melakukan pemotongan spesimen
3	Jangka Sorong	Melakukan pengukuran dalam pengerjaan tugas akhir
4	<i>Tachometer</i>	Mengukur kecepatan <i>spindle</i> mesin bubut
5	<i>Thermogun</i>	Mengukur temperatur pada saat proses pengelasan
6	Mesin Gripo 2M	Menghaluskan/mengamplas spesimen sebelum pengamatan struktur mikro
7	Mikroskop SEM	Melakukan pengamatan struktur mikro
8	Mesin UTM Hidrolik	Melakukan pengujian tarik dan <i>bending</i>
9	Laptop	Melakukan pengolahan data

Tabel 3-2 : Nama Bahan

No.	Nama Bahan
1	Baja AISI 1006
2	Resin
3	Air laut
4	Autosol
5	<i>Cleaner</i>
6	<i>Developer</i>
7	<i>Penetrant</i>
8	Cairan etsa HNO ₃ 2,5 %

3.3 Proses Pembuatan Spesimen

Spesimen yang digunakan pada penelitian ini adalah baja dengan spesifikasi tiap spesimen dengan panjang 100 mm dan diameter 16 mm. Pemotongan spesimen dilakukan menggunakan mesin gerinda potong seperti pada gambar 3-2.



Gambar 3-2 : Proses Pemotongan Spesimen

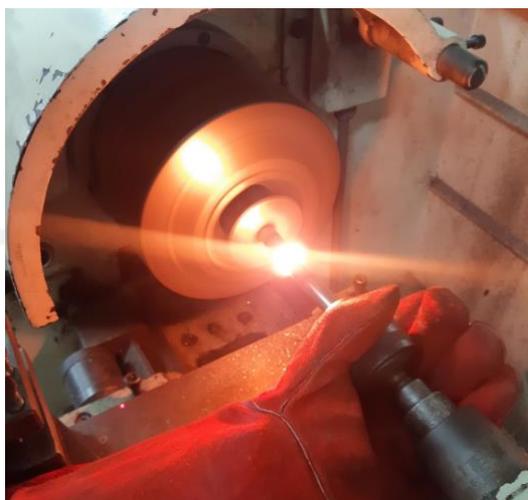
3.4 Proses Penyambungan Spesimen

Pada proses penyambungan spesimen dilakukan menggunakan metode *Rotary Friction Welding* menggunakan mesin bubut laboratorium proses produksi teknik mesin Universitas Islam Indonesia. Dari setiap spesimen yang dipotong dilakukan proses *facing* dengan tujuan untuk meratakan permukaan sambungan pada baja sebelum pengelasan agar tidak terjadi gesekan yang besar akibat permukaan yang tidak rata atau tidak beraturan. Proses dan hasil *facing* dapat dilihat pada gambar 3-3.



Gambar 3-3 : Proses dan Hasil *Facing*

Setelah proses *facing*, dilakukan penyambungan seperti pada gambar 3-4 menggunakan variasi waktu gesek. Waktu gesek yang digunakan pada penyambungan yaitu 3 menit, 4 menit dan 5 menit dengan parameter kecepatan rotasi mesin bubut 1.170 rpm dengan *burn out* 3 mm+2 mm (Haliym, 2020). Setelah spesimen tersambung dilakukan pengamatan visual dengan melihat hasil sambungan apakah sudah tersambung dengan sambungan yang *center* atau tidak. Jika hasil tidak tersambung dengan baik ataupun terjadi kegagalan maka dilakukan penyambungan ulang. Sambungan yang dibuat pada masing-masing variasi yaitu sebanyak 10 spesimen, yaitu 1 spesimen uji komposisi, 1 spesimen uji korosi 1 spesimen uji kekerasan *vickers*, 1 spesimen uji metalografi, 3 spesimen untuk uji tarik, 3 spesimen uji *bending*. Proses penyambungan spesimen dapat dilihat pada gambar 3-4.



Gambar 3-4 : Proses Penyambungan

3.5 Proses Pengujian

3.5.1 Pengujian Komposisi Kimia

Untuk mengetahui kandungan unsur pada spesimen maka dilakukan uji komposisi kimia di CV. Karya Hidup Sentosa dengan menggunakan mesin *Spectro Meter* model 3560 ARL seperti pada gambar 3-5 dengan membentuk spesimen beserta penampangnya.



Gambar 3-5 : Proses Pengujian Komposisi

Sumber : (Lab. CV. Karya Hidup Sentosa)

3.5.2 Pengujian *Dye Penetrant*

Pada spesimen uji *dye penetrant*, dilakukan pembersihan *flash* terlebih dahulu agar dapat melihat sambungan secara visual apakah sambungan sudah tersambung dengan baik sesuai yang diinginkan. Setelah dilakukan pembersihan *flash* lalu dilanjutkan dengan pemberian cairan *dye penetrant* untuk melihat adanya cacat pada bagian permukaan.

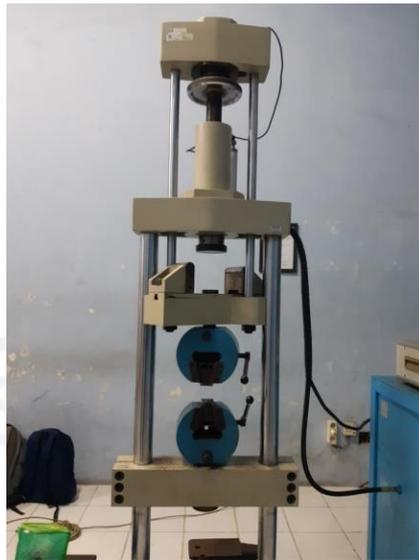
Pengujian ini dilakukan dengan penyemprotan secara bertahap mulai dari pemberian *cleaner* untuk membersihkan spesimen dari adanya kotoran yang menempel, *penetrant* untuk mendeteksi adanya cacat dengan masuk ke dalam bagian cacat spesimen, setelah itu kembali dilakukan penyemprotan *cleaner* untuk membersihkan kembali cairan *penetrant* berlebih yang masih menempel tersisa pada spesimen dan terakhir dilanjutkan dengan penyemprotan *developer* untuk mengembangkan larutan *penetrant* yang telah masuk pada bagian cacat spesimen. Proses penyemprotan *dye penetrant* dapat dilihat pada gambar 3-6.



Gambar 3-6 : Proses Penyemprotan *Dye Penetrant*

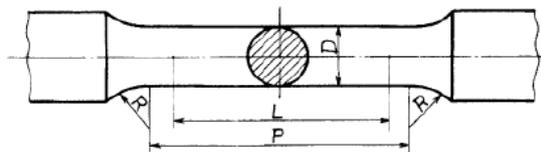
3.5.3 Pengujian Tarik

Proses pengujian tarik ini dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Teknik Mesin UGM menggunakan mesin UTM hidrolik seperti pada gambar 3-7.



Gambar 3-7 : Mesin UTM Hidrolik
 Sumber : (Lab. Bahan Teknik UGM)

Dalam membuat spesimen uji tarik sambungan baja, dilakukan dengan membubut sesuai dengan dimensi standar uji tarik JIS Z2201 seperti pada gambar 3-8 sebanyak 3 spesimen dari masing-masing variasi. Dan pada spesimen tarik logam induk dilakukan dengan membubut menggunakan dimensi standar uji tarik ASTM E8 seperti pada gambar 3-9 sebanyak 2 spesimen.

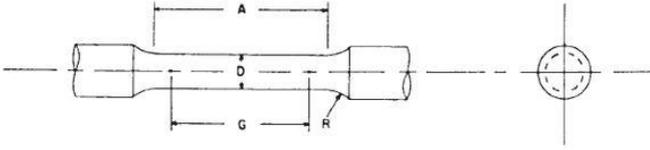


Unit : mm

Diameter <i>D</i>	Gauge length <i>L</i>	Parallel length <i>P</i>	Radius of fillet <i>R</i>
14	50	60 approx.	15 min.

Gambar 3-8 : Standar *Tensile Test* JIS Z2201

ASTM E 8 - 04



	Dimensions				
	Standard Specimen		Small-Size Specimens Proportional to Standard		
	in.	in.	in.	in.	in.
Nominal Diameter	0.500	0.350	0.250	0.160	0.113
G—Gage length	2.000 ± 0.005	1.400 ± 0.005	1.000 ± 0.005	0.640 ± 0.005	0.450 ± 0.005
D—Diameter (Note 1)	0.500 ± 0.010	0.350 ± 0.007	0.250 ± 0.005	0.160 ± 0.003	0.113 ± 0.002
R—Radius of fillet, min	3/8	1/4	3/16	5/32	3/32
A—Length of reduced section, min (Note 2)	2 1/4	1 3/4	1 1/4	3/4	5/8

Gambar 3-9 : Standar *Tensile Test* ASTM E8

Berikut adalah hasil pembuatan spesimen pengujian tarik sambungan baja dan logam induk yang sudah siap dalam pelaksanaan pengujian seperti pada gambar 3-10 berikut.



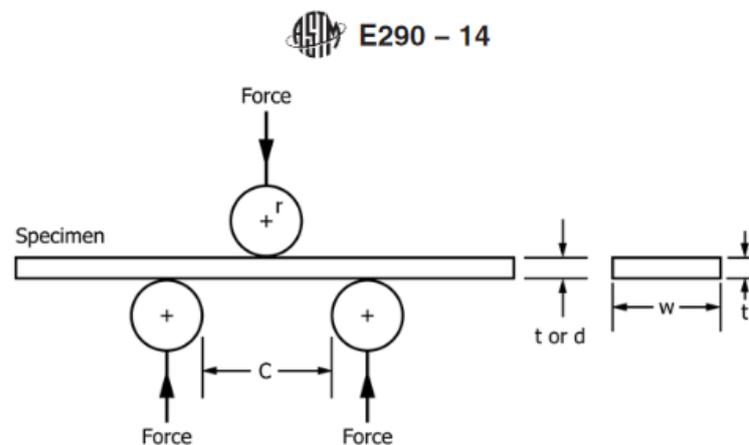
Gambar 3-10 : Hasil Pembuatan Spesimen Pengujian Tarik
(a) Spesimen Sambungan Baja, (b) Spesimen Logam Induk

Sebelum material dilakukan pengujian tarik, diameter sambungan diukur terlebih dahulu dan diberikan tanda pada titik tengah sambungan sepanjang 50 mm. Saat dimulainya pengujian, spesimen diberikan beban aksial hingga mengalami putus dan pada mesin akan menampilkan nilai P_{max} pada spesimen uji. Setelah material putus dilakukan pengukuran kembali untuk melihat perpanjangan yang terjadi dan dimasukkan ke dalam tabel hasil pengujian. Grafik tegangan–regangan juga ditampilkan ketika proses pengujian tarik dari tiap spesimen.

3.5.4 Pengujian *Bending*

Dalam pembuatan spesimen uji *bending*, dilakukan proses pembersihan terlebih dahulu dari adanya *flash* pada sambungan dengan mengecilkan diameter tengah dikarenakan diameternya tengah yang melebar saat proses penyambungan. Metode pengujian *bending* ini dilakukan dengan *three point bending* yaitu menggunakan 1 penekan dan 2 tumpuan seperti. Spesimen yang dilakukan pengujian *bending* ini yaitu sebanyak 3 spesimen.

Pengukuran jarak dari antar tumpuan pada uji *bending* ini menggunakan standar ASTM E290 seperti yang terdapat pada gambar 3-11 dengan menggunakan persamaan (2.3) sebagai berikut:



Gambar 3-11 : Standar *Bending Test* ASTM E290

$$C = 2r + 3t \pm \frac{t}{2}$$

$$C = 2 \times 10 + 3 \times 16 \pm \frac{16}{2}$$

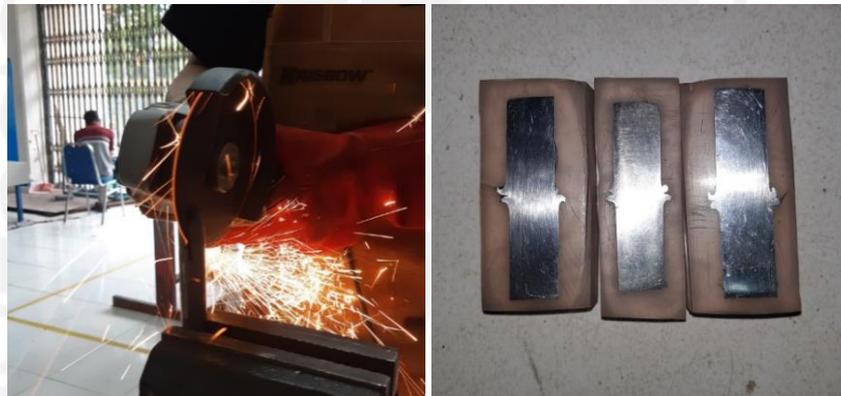
$$C = 68 \pm 8$$

$$C = 76 \text{ mm}/60\text{mm}$$

Dari hasil perhitungan yang didapat, jarak antar titik tumpuan yang digunakan pada pengujian *bending* ini adalah 76 mm dengan diameter pembebanan 20 mm.

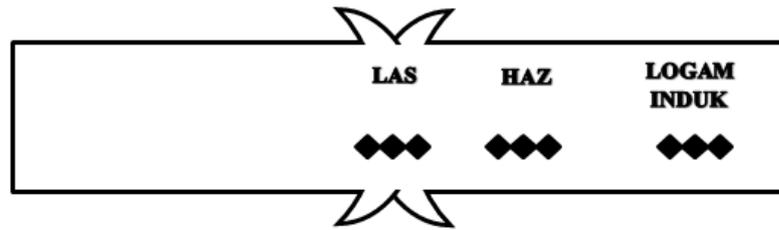
3.5.5 Pengujian Kekerasan *Vickers*

Pada proses pembuatan spesimen uji kekerasan *vickers*, dilakukan pemotongan terlebih dahulu pada spesimen uji menjadi 2 bagian secara melintang agar dapat terlihat sambungan bagian dalam pada spesimen yang setelah itu dilakukan pencetakan menggunakan resin agar spesimen uji yang telah dipotong dapat dicengkram secara sempurna hingga tidak goyang ketika diberi beban penekanan seperti pada gambar . Setelah pemberian resin, permukaan sambungan dihaluskan menggunakan amplas dengan nilai kekasaran 100, 280, 600, 800 dan 1.000 secara berurutan mulai dari yang kasar sampai yang halus. Berikut pada gambar 3-12 adalah proses dan hasil dari pembuatan spesimen pengujian kekerasan.



Gambar 3-12 : Proses dan Hasil Pembuatan Spesimen Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan *vickers* ini dilakukan menggunakan mikroskop MHV V3 Japan dengan menguji sebanyak 3 titik dari tiap daerah yaitu pada bagian daerah sambungan las, daerah HAZ dan logam induk seperti pada gambar 3-13 dengan jarak antar titik setiap daerah yaitu 0,1 mm menggunakan pembebanan sebesar 200 gf. Spesimen yang digunakan dalam uji kekerasan *vickers* ini yaitu sebanyak 1 buah dari masing-masing variasi.



Gambar 3-13 : Titik Penekanan Pada Pengujian Kekerasan

3.5.6 Pengamatan Struktur Makro & Mikro

Pada proses pembuatan spesimen uji metalografi struktur makro & mikro, dilakukan pemotongan spesimen terlebih dahulu menjadi 2 bagian secara melintang dan dilanjutkan dengan pemberian resin agar dapat mencengkram spesimen agar dapat dicengkram dengan baik dan tidak goyang. Lalu dilanjutkan dengan pengamplasan menggunakan amplas ukuran 100, 280, 600, 800 dan 1.000 menggunakan mesin Gripo 2M seperti pada gambar 3-14 secara berurutan dari mulai dari yang kasar hingga yang halus.

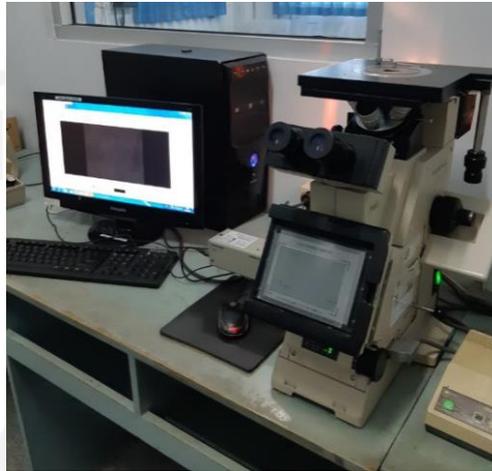


Gambar 3-14 : Proses Pengamplasan Dengan Mesin Gripo 2M

Sumber : (Lab. Bahan Teknik UGM)

Setelah spesimen halus akan dilanjutkan *polishing* menggunakan autosol agar permukaan terlihat lebih mengkilap. Dan sebelum dilakukannya pengamatan akan dilakukan proses pengetsaan terlebih dahulu menggunakan HNO_3 2,5%

yang dikhususkan untuk material logam baja, setelah itu material siap untuk digunakan dalam pengamatan menggunakan mikroskop optik pada gambar 3-15. Perbesaran yang digunakan pada mikroskop optik dalam pengamatan struktur makro adalah 20x dan mikro adalah 200x. Spesimen yang dilakukan pengamatan ini berjumlah 3 buah yang terdiri dari masing-masing 1 spesimen dari tiap variasi.



Gambar 3-15 : Mikroskop Optik

Sumber : (Lab. Bahan Teknik UGM)

3.5.7 Pengujian Korosi

Pengujian korosi dilakukan untuk mengetahui ketahanan suatu material ketika menerima reaksi elektrokimia terhadap lingkungannya. Spesimen yang digunakan pada pengujian ini yaitu 1 sambungan baja dari masing-masing spesimen dan 1 logam induk. Pada pengujian ini dilakukan selama 50 hari yang tiap 10 harinya akan ditimbang beratnya untuk mengetahui perubahan massa yang ada. Air laut digunakan pada pengujian ini adalah air laut Pantai Wediombo, Gunung Kidul, Yogyakarta. Setelah didapat perubahan berat yang terjadi maka dihitung nilai laju korosi dengan satuan *millimeter/year (mmpy)* menggunakan persamaan laju korosi.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil dan Analisis Pengujian

Dalam penelitian ini terdapat beberapa jenis pengujian spesimen yang bertujuan untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik material spesimen uji yaitu sebagai berikut:

4.1.1 Hasil Penyambungan

Pengelasan yang dilakukan pada penyambungan baja AISI 1006 dengan metode RFW ini menggunakan parameter kecepatan rotasi *spindle* 1.170 rpm dengan jarak penekanan 3mm perputaran *spindle* secara konstan lalu diberikan tekanan tempa saat *spindle* diberhentikan sepanjang 2mm. Setelah dilakukan proses penyambungan baja menggunakan metode RFW, hasil dan bentuk spesimen dapat dilihat pada gambar 4-1.



Gambar 4-1 : Hasil Penyambungan Baja

Pada saat pengukuran nilai kecepatan aktual rotasi *spindle* mesin bubut menggunakan *tachometer* adalah sebesar 1.176 rpm. Dan untuk mengetahui waktu gesek pengelasan dan perubahan suhu yang terjadi pada saat pengelasan yaitu dengan menggunakan *stopwatch* dan *thermogun*. Data dari tiap hasil pengelasan dengan masing-masing variasi waktu gesek dapat dilihat pada tabel 4-1.

Tabel 4-1 : Suhu Proses Pengelasan

Waktu Gesek 3 menit	Suhu (°C)	Waktu Gesek 4 menit	Suhu (°C)	Waktu Gesek 5 menit	Suhu (°C)
1	1.041	1	950	1	1.027
2	913	2	1.044	2	956
3	1.001	3	1.146	3	1.079
4	1.111	4	942	4	936
5	1.110	5	992	5	1.036
6	1.089	6	1.080	6	1.048
7	1.089	7	1.182	7	948
8	1.102	8	905	8	1.102
9	1.025	9	966	9	1.010
10	1.146	10	1.138	10	1.081
Rata-Rata	1.062,7		1.034,5		1.022,3

Dilihat dari tabel diatas, suhu yang terjadi pada saat pengelasan berkisar antara 60-80% dari titik leleh material yang dapat dikategorikan dalam pengelasan *solid state* dimana titik leleh baja berkisar antara $\pm 1.300-1.500^{\circ}\text{C}$ tergantung pada komposisi dalam baja tersebut.

Kegagalan pada saat proses penyambungan juga pernah terjadi ketika *arbor* pada mesin bubut tidak kuat menahan getaran saat mencengkram baja akibat gesekan yang terjadi pada permukaan baja saat menerima tekanan sehingga menyebabkan patah saat proses penyambungan berlangsung.



Gambar 4-2 : Arbor Yang Mengalami Patah

4.1.2 Uji Komposisi Kimia

Setelah dilakukan pengujian komposisi kimia, Unsur pada baja yang digunakan dalam penelitian ini dapat diketahui yaitu pada tabel 4-2 berikut.

Tabel 4-2 : Hasil Pengujian Komposisi

Unsur	(%)
C	0,0740
Si	0,1571
S	0,0094
P	0,0180
Mn	0,4507
Ni	0,0106
Cr	0,0224
Mo	0,0023
Cu	0,0118
W	0,0000
Ti	0,0005
Sn	0,0005
Al	0,0027
Pb	0,0000
Ca	0,0009
Zn	0,0000
Fe	99,24

Berdasarkan hasil pengujian komposisi kimia, diketahui jenis baja yang digunakan pada penelitian ini adalah baja AISI 1006 dimana memiliki kandungan karbon sebesar 0,0740% yang dikategorikan sebagai baja karbon rendah dilihat dari kandungan karbonnya dibawah dari 0,3%. Baja jenis ini biasanya digunakan dalam bahan kontruksi dikarenakan keuletannya yang tinggi dan proses pemesinannya yang mudah tetapi memiliki nilai kekerasan yang rendah serta tidak tahan aus.

4.1.3 Pengujian *Dye Penetrant*

Pengujian ini dilakukan dengan pembersihan *flash* terlebih dahulu agar cacat pada spesimen dapat terlihat dengan jelas. Hasil pengujian dye penetrant dapat dilihat pada gambar 4-3.



Gambar 4-3 : Hasil Pengujian *Dye Penetrant*

Dari hasil pengujian *dye penetrant* pada seluruh spesimen, dapat dilihat dalam gambar 4-3 bahwa 50% spesimen memiliki cairan berwarna merah yang menunjukkan adanya cacat porositas pada permukaan las. Hal itu terjadi dikarenakan pada *chuck* dan *arbor* mesin bubut yang berfungsi mencengkram spesimen yang berada dalam posisi diam menjadi ikut bergetar akibat gesekan yang terjadi pada saat proses penyambungan, sehingga membuat hasil spesimen pengelasan terkadang menjadi tidak *center* sehingga menimbulkan rongga dan lubang kecil pada sambungan las.

4.1.4 Pengujian Tarik

Pengujian tarik ini dilakukan dengan UTM Hidrolik. Dalam pengujian tarik ini menghasilkan grafik tegangan-regangan yang dapat dilihat pada halaman lampiran serta nilai P_{max} dan ΔL masing-masing spesimen uji. Melalui data tersebut juga dapat digunakan dalam mencari nilai tegangan tarik maksimum dan nilai regangan menggunakan persamaan (2.1) dan (2.2) sebagai berikut dengan variasi waktu gesek 5 menit sebagai contoh:

$$P_{max} = 56,94 \text{ kN} \quad D = 13,83 \quad \Delta L = 8,59 \text{ mm}$$

Nilai tegangan tarik maksimum

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

$$\sigma = \frac{56,94 \times 10^3 \text{ N}}{3,14 \times 0,25 \times 13,83^2 \text{ mm}}$$

$$\sigma = \frac{56940}{150,15}$$

$$\sigma = 379,22 \text{ Mpa}$$

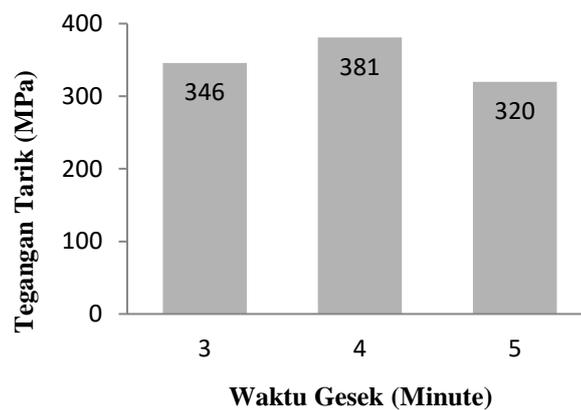
Nilai regangan

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

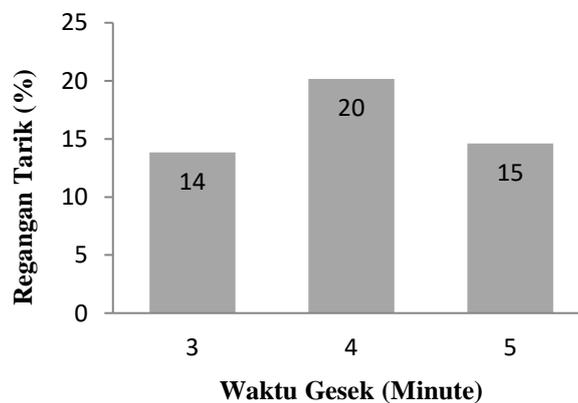
$$\varepsilon = \frac{8,59 \text{ mm}}{50 \text{ mm}} \times 100\%$$

$$\varepsilon = 17,18\%$$

Melalui perhitungan tersebut akan mendapatkan grafik perbandingan antara tegangan dan regangan tarik dari masing-masing variasi. Grafik nilai tegangan dan regangan pengujian tarik dapat dilihat pada gambar 4-4.



(a)



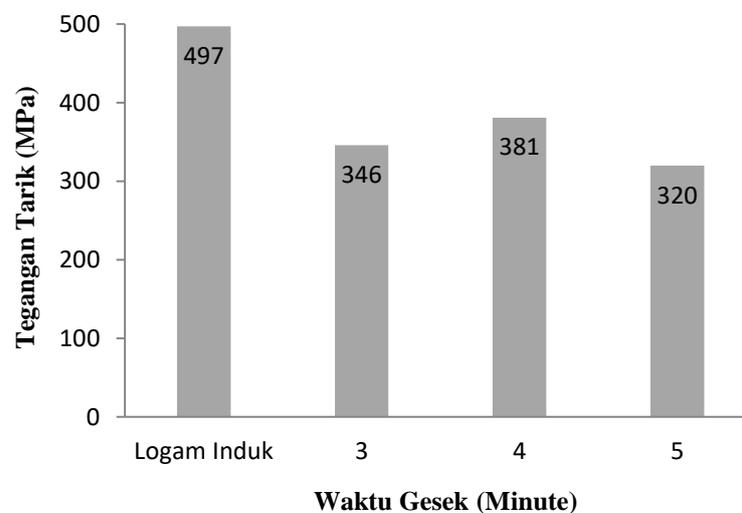
(b)

Gambar 4-4 : Hasil Pengujian Tarik:

(a) Grafik Tegangan Tarik, (b) Grafik Regangan Tarik

Dari hasil grafik perbandingan antara masing-masing variasi waktu gesek didapatkan nilai tegangan tarik tertinggi yaitu pada variasi waktu gesek 4 menit dengan nilai 381 MPa dan nilai tegangan tarik terendah yaitu pada variasi waktu gesek 5 menit dengan nilai 320 MPa. Sedangkan pada nilai regangan tarik tertinggi yaitu pada variasi waktu gesek 4 menit dengan nilai 20 % dan nilai regangan tarik terendah yaitu pada variasi waktu waktu gesek 3 menit dengan nilai 14 %.

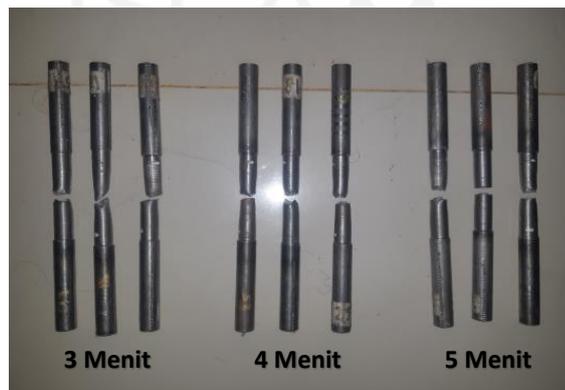
Data grafik hasil pengujian tarik diatas menunjukkan bahwa proses penyambungan RFW baja AISI 1006 dengan variasi waktu gesek 4 menit memiliki nilai kekuatan terbaik dengan nilai 381 MPa. Hal ini dapat terjadi dikarenakan pembangkitan pemanasan yang belum cukup pada variasi waktu gesek 3 menit dan rendahnya nilai tegangan tarik pada variasi waktu gesek 5 menit terjadi dikarenakan pada variasi waktu gesek 5 menit memiliki daerah HAZ yang terjadi fenomena seperti *process annealing* yang lebih lama dan lebih lebar sehingga menyebabkan pendinginan yang juga lebih lama, hal ini menyebabkan ukuran butiran ferit pada struktur mikro yang lebih seragam dan pada pearlit menjadi relatif bulat setelah mengalami rekristalisasi yang membuat nilai kekerasan akan semakin rendah dan mempengaruhi hasil pengujian tarik. Hasil pengujian tarik logam induk dan sambungan baja dapat dilihat pada gambar 4-5 sebagai perbandingan.



Gambar 4-5 : Hasil Pengujian Tarik Logam Induk

Dari hasil grafik tegangan tarik logam induk diatas yang dilakukan perbandingan dengan sambungan baja dari masing-masing variasi waktu gesek dapat dilihat bahwa logam induk memiliki nilai tegangan tarik lebih tinggi yaitu sebesar 497 MPa. Dalam hal ini terjadi penurunan kekuatan tegangan tarik sekitar $\pm 23\%$ - 36% setelah dilakukannya proses penyambungan.

Berikut pada gambar 4-6 adalah hasil spesimen uji yang putus pasca proses pengujian tarik dari masing-masing variasi.



Gambar 4-6 : Spesimen Uji Pasca Pengujian Tarik
(Waktu Gesek 3 Menit, 4 Menit dan 5 Menit)

Dari gambar spesimen pasca pengujian tarik dapat dilihat bahwa seluruh spesimen memiliki pola fraktur pada daerah sambungan, akan tetapi 8 dari 9 spesimen uji menghasilkan fraktur yang patah ulet (*ductile fracture*) dimana karakteristik patah ini umumnya terjadi pada material yang memiliki kandungan karbon rendah yang ditandai dengan adanya deformasi plastis pada daerah patahan. Hasil fraktur spesimen pasca pengujian tarik ini juga memiliki 1 spesimen pada variasi waktu gesek 5 menit yang menghasilkan fraktur yang patah getas (*brittle fracture*). Pola fraktur patah getas pada spesimen ini ditandai dengan tidak adanya atau sangat sedikitnya deformasi plastis yang terjadi.

4.1.5 Pengujian *Bending*

Pengujian tarik ini dilakukan dengan UTM Hidrolik. Dalam pengujian *bending* dilakukan penekanan secara kontinu pada spesimen uji hingga mencapai nilai P_{max} . serta menghasilkan grafik uji *bending* yang terdapat pada halaman

lampiran. Setelah didapatkan nilai P_{max} dilanjutkan dengan perhitungan tegangan *bending* dari spesimen menggunakan persamaan (2.3) sebagai berikut dengan variasi waktu gesek 5 menit sebagai contoh:

$$P_{max} = 13,74 \text{ kN} \quad D = 16,59 \quad L \text{ (jarak titik penumpu)} = 60 \text{ mm}$$

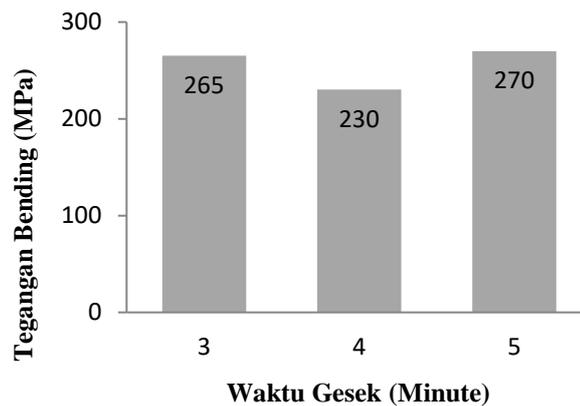
$$\sigma = \frac{3PL}{2bd^2}$$

$$\sigma = \frac{3 \times 13,74 \times 10^3 \text{ N} \times 60 \text{ mm}}{2 \times 16,59 \text{ mm} \times 16,59^2 \text{ mm}}$$

$$\sigma = \frac{2.473,2}{9,132}$$

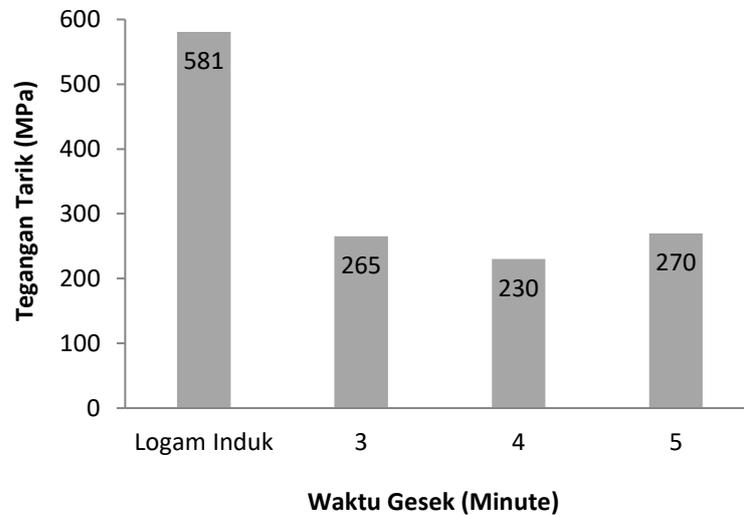
$$\sigma = 270,83 \text{ Mpa}$$

Melalui perhitungan tersebut akan mendapatkan grafik perbandingan tegangan *bending* dari masing-masing variasi yang dapat dilihat pada gambar 4-7 berikut.



Gambar 4-7 : Hasil Pengujian *Bending*

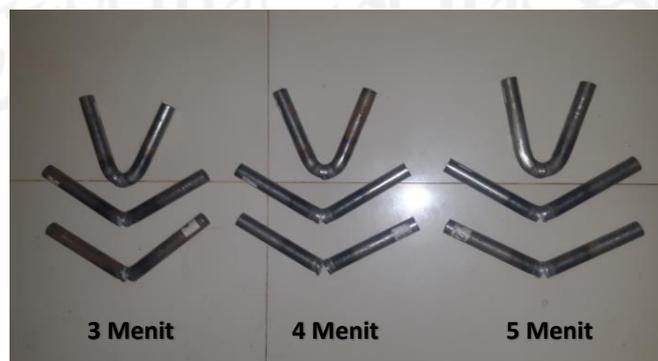
Dari hasil grafik perbandingan antara masing-masing variasi waktu gesek didapatkan nilai tegangan *bending* tertinggi yaitu pada variasi waktu gesek 5 menit dengan nilai 270 MPa dan nilai tegangan *bending* terendah yaitu pada variasi waktu gesek 4 menit dengan nilai 230 MPa. Hasil pengujian *bending* logam induk dan sambungan *similar* baja dapat dilihat pada gambar 4-8 sebagai perbandingan.



Gambar 4-8 : Hasil Pengujian *Bending* Logam Induk

Dari hasil grafik tegangan *bending* logam induk diatas yang dilakukan perbandingan dengan sambungan baja dari masing-masing variasi waktu gesek dapat dilihat bahwa logam induk memiliki nilai tegangan *bending* lebih tinggi yaitu sebesar 581 MPa. Dalam hal ini terjadi penurunan kekuatan tegangan *bending* sekitar $\pm 53\%$ - 60% setelah dilakukannya proses penyambungan.

Berikut pada gambar 4-9 adalah hasil spesimen uji yang ditekan pasca proses pengujian *bending* dari masing-masing variasi.



Gambar 4-9 : Spesimen Uji Pasca Pengujian *Bending*

Dari gambar spesimen pasca pengujian *bending* dapat dilihat bahwa dari masing-masing variasi memiliki 1 spesimen yang memiliki kekuatan bending yang sangat baik diantara 2 lainnya. Hal ini terjadi dikarenakan spesimen tersebut memiliki tingkat kelurusan sambungan yang paling *center* diantara lainnya.

4.1.6 Pengujian Kekerasan *Vickers*

Pengujian kekerasan *vickers* ini dilakukan menggunakan mesin MHV M3 Japan yang dilakukan pemberian pembebanan pada setiap daerah yang terbentuk diantaranya adalah daerah las, daerah HAZ dan daerah logam induk. Pembebanan yang diberikan pada pengujian ini adalah sebesar 200 gf dengan jarak penekanan tiap titik 0,1 mm. Hasil pengujian kekerasan *vickers* dapat dilihat pada halaman lampiran. Dalam perhitungan nilai kekerasan pada spesimen menggunakan persamaan (2.3) sebagai berikut pada daerah las variasi waktu gesek 5 menit sebagai contoh:

Nilai kekerasan

$$VHN = \frac{(1.854)P}{d^2}$$

P : Beban yang digunakan (kg)

d : Panjang diagonal rata-rata (mm)

θ : Sudut pada permukaan intan yang berhadapan = 136°

Titik 1 :

$$\frac{(1.854 \times 200)}{45,5^2} = 179,11 \text{ VHN}$$

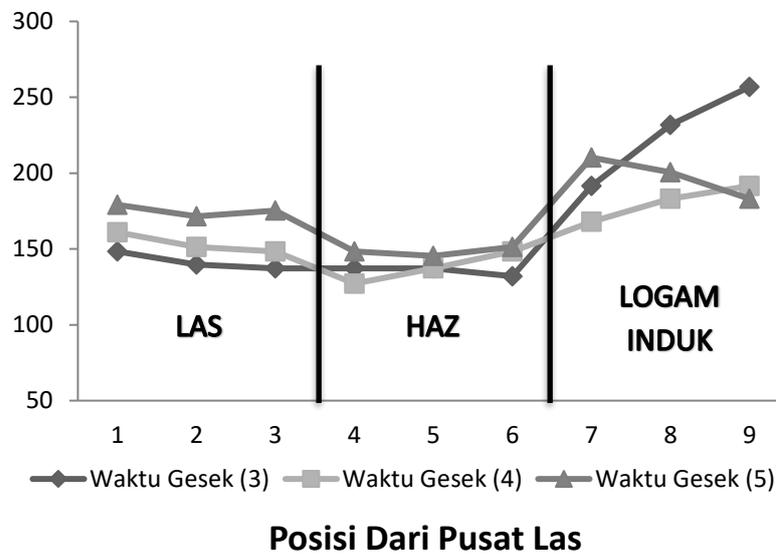
Titik 2 :

$$\frac{(1.854 \times 200)}{46,5^2} = 171,49 \text{ VHN}$$

Titik 3 :

$$\frac{(1.854 \times 200)}{46^2} = 175,24 \text{ VHN}$$

Setelah dilakukan perhitungan nilai kekerasan masing-masing titik pada daerah las, HAZ dan logam induk, maka hasil yang didapat dibuat dalam bentuk grafik perbandingan dari tiap variasi waktu gesek seperti pada gambar 4-10 berikut.



Gambar 4-10 : Grafik Hasil Pengujian Kekerasan Vickers

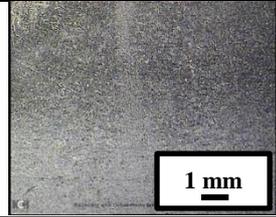
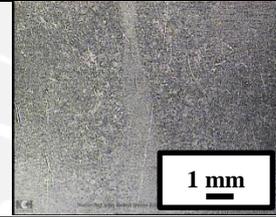
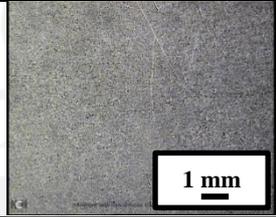
Dilihat dari grafik diatas pada daerah sambungan las dengan variasi waktu gesek 3 menit memiliki nilai kekerasan sebesar 141 VHN, pada variasi waktu gesek 4 menit memiliki nilai kekerasan sebesar 153 VHN dan pada variasi waktu gesek 5 menit memiliki nilai kekerasan sebesar 175 VHN. Pada sambungan las dengan variasi waktu gesek 5 menit memiliki nilai kekerasan tertinggi diantara variasi 3 dan 4 menit serta memiliki nilai kenaikan paling signifikan.

Pada setiap titik dapat dilihat bahwa nilai kekerasan pada sambungan las semakin meningkat seiring bertambahnya waktu gesek. Hal ini terjadi karena semakin lamanya waktu gesek maka akan semakin lama juga proses pembangkitan panas yang terjadi serta semakin banyak jumlah panas yang dibangkitkan, sehingga menyebabkan ukuran butir pada daerah sambungan las menjadi semakin bertambah dan semakin luas. Daerah batas butir yang semakin luas akan menghasilkan penumpukan dislokasi pada batas butir sehingga meningkatkan nilai kekerasan pada daerah sambungan las.

4.1.7 Pengamatan Struktur Makro & Mikro

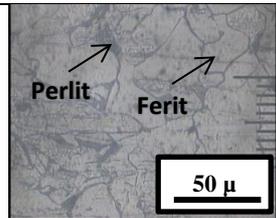
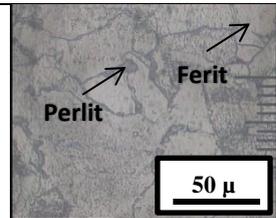
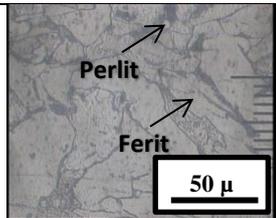
Pada pengujian metallografi makro dan mikro ini dilakukan untuk melihat perubahan struktur material yang terjadi setelah dilakukan penyambungan dengan metode RFW pada baja AISI 1006. Pengamatan ini dilakukan menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 20x untuk pengamatan makro dalam mengamati daerah sambungan las dan 200x untuk mikro dengan mengamati pada sambungan las, HAZ dan logam induk. Masing-masing variasi yang digunakan yaitu pada spesimen dengan variasi waktu gesek 3 menit, 4 menit dan 5 menit. Data dari hasil pengamatan makro dapat dilihat pada tabel 4-3 sebagai berikut.

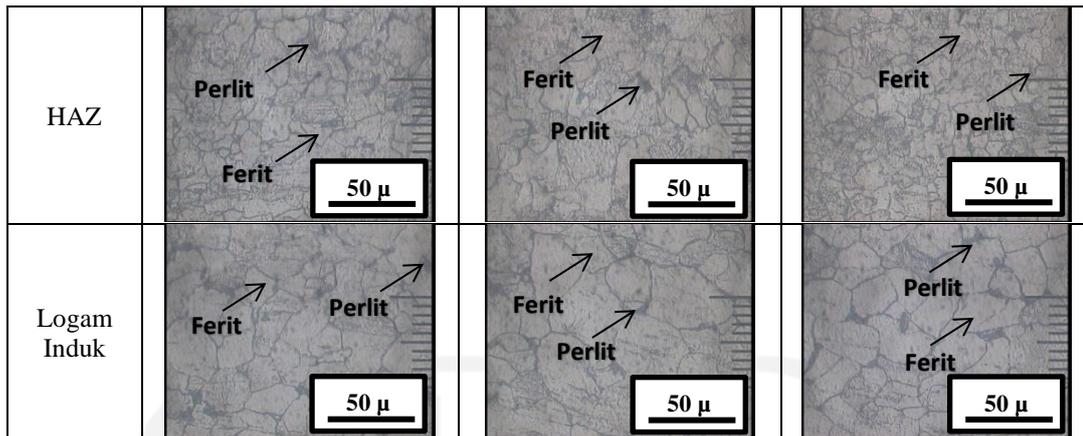
Tabel 4-3 : Hasil Pengamatan Struktur Makro

Variasi waktu gesek	Waktu Gesek (3)	Waktu Gesek (4)	Waktu Gesek (5)
Las			

Melalui data pengamatan struktur makro diatas dapat dilihat bahwa pada masing-masing variasi tidak terlihat adanya cacat dan tidak adanya perbedaan yang signifikan antara daerah sambungan las dikarenakan logam yang disambung adalah *similar* dan dilakukan tanpa adanya *filler* atau logam tambahan. Dan data dari hasil pengamatan mikro dapat dilihat pada tabel 4-4 sebagai berikut.

Tabel 4-4 : Hasil Pengamatan Struktur Mikro

Variasi waktu gesek	Waktu Gesek (3)	Waktu Gesek (4)	Waktu Gesek (5)
Las			



Melalui data pengamatan struktur mikro diatas dapat dilihat dari variasi waktu gesek 3 menit, 4 menit dan 5 menit memiliki struktur yang terdiri dari ferit dan perlit pada daerah sambungan las. Akan tetapi butiran perlit dengan variasi waktu gesek yang semakin lama akan menghasilkan butiran perlit yang lebih banyak dan memiliki warna yang lebih gelap sehingga akan meningkatkan nilai kekerasan dikarenakan sifat perlit yang keras dan kuat.

Pada daerah HAZ dari masing-masing variasi waktu gesek, pada variasi waktu gesek 5 menit memiliki kedua struktur butiran ferit dan perlit yang lebih halus dan luas jika dibandingkan variasi waktu gesek 3 dan 4 menit. Hal ini terjadi dikarenakan semakin tinggi temperatur dan semakin lama panas yang dibangkitkan maka akan memperluas ukuran butir pada daerah HAZ di sisi sambungan.

4.1.8 Pengujian Korosi

Pengujian korosi dilakukan untuk mengetahui kecepatan korosi dari material dengan cara merendam spesimen dengan air laut dalam rentan waktu 10 hari selama 5 kali dan dilakukan pengukuran berat material secara berkala tiap 10 hari nya, sehingga didapatkan data berat material baik yang mengalami penurunan maupun yang tidak. Perbandingan berat material pengujian korosi dapat dilihat pada tabel 4-5.

Tabel 4-5 : Hasil Pengujian Korosi

Variasi	Berat Awal	I	II	III	IV	V
Waktu Gesek (3)	28,33	28,28	28,24	28,19	28,15	28,12
Waktu Gesek (4)	28,50	28,46	28,41	28,37	28,32	28,28
Waktu Gesek (5)	28,12	28,08	28,03	27,97	27,93	27,89
Logam Induk	27,28	27,23	27,20	27,14	27,07	27,01

Dilihat dari hasil penimbangan tiap 10 hari, pada bagian logam induk memiliki nilai penurunan berat yang paling sedikit diantara sambungan dari masing-masing variasi. Dan dari data tersebut juga dapat digunakan dalam penghitungan laju korosi menggunakan persamaan 2-6 sebagai berikut pada daerah las variasi waktu gesek 5 pada hari ke 50 sebagai contoh:

$$W = 0,09 \text{ g} \quad A = 7,85 \text{ g/cm}^3 \quad t = 24 \times 10 = 240 \text{ jam}$$

Nilai laju korosi

$$\text{Corossion Rate} = \frac{K \times W}{A \times t \times p} = \frac{8,76 \times 10^4 \times 0,09}{7,85 \times 240 \times 34,16} = 0.0544 \text{ mmpy}$$

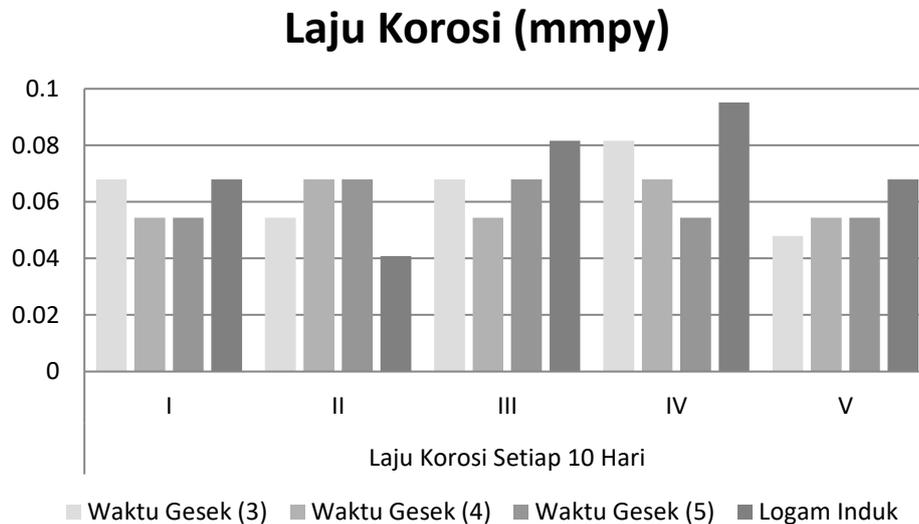
Berikut adalah hasil perhitungan laju korosi dapat dilihat pada tabel 4-6 dibawah ini.

Tabel 4-6 : Hasil Perhitungan Laju Korosi

Variasi	Laju Korosi Setiap 10 Hari				
	I	II	III	IV	V
Waktu Gesek (3)	0,068	0,0544	0,068	0,0816	0,048
Waktu Gesek (4)	0,0544	0,068	0,0544	0,068	0,0544
Waktu Gesek (5)	0,0544	0,068	0,068	0,0544	0,0544

Logam Induk	0,068	0,0408	0,0816	0,0952	0,068
-------------	-------	--------	--------	--------	-------

Melalui perhitungan tersebut akan mendapatkan grafik perbandingan laju korosi dari masing-masing variasi beserta logam induk yang dapat dilihat pada gambar 4-11 berikut.



Gambar 4-11 : Grafik Hasil Pengujian Korosi

Setelah dilakukan penghitungan laju korosi dari masing-masing variasi beserta logam induk, akan dilakukan perbandingan dengan nilai standar laju korosi material dilihat ketahanannya. Suatu material memiliki ketahanan terhadap laju korosi apabila memiliki nilai laju korosi yang lebih kecil dari 5 *mmpy*. Standar kualitas laju korosi dapat dilihat pada tabel 4-7.

Tabel 4-7 : Standar Laju Korosi (Fontana, 1986)

Laju Korosi	Standar (<i>mmpy</i>)	Variasi Hasil Spesimen				Keterangan
		Waktu Gesek (3)	Waktu Gesek (4)	Waktu Gesek (5)	Logam Induk	
Outstanding	<0,02					
Excellent	0,02-0,1	0,08-0,06	0,06-0,05	0,05-0,06	0,09-0,04	Excellent
Good	0,1-0,5					
Fair	0,5-1					
Poor	1-5					
Unacceptable	>5					

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, didapat kesimpulan sebagai berikut:

- a. Hasil pengujian tarik dari masing-masing variasi yang digunakan, variasi waktu gesek 4 menit memiliki nilai tertinggi dengan kekuatan tegangan sebesar 381 Mpa dan kekuatan regangan sebesar 20 %.
- b. Hasil pengujian *bending* dari masing-masing variasi yang digunakan, variasi waktu gesek 5 menit memiliki nilai tertinggi dengan kekuatan tegangan sebesar 270 Mpa.
- c. Hasil pengujian kekerasan dengan variasi waktu gesek 5 menit memiliki nilai kekerasan pada sambungan las tertinggi dengan nilai kekerasan 175 VHN, sedangkan pada variasi waktu gesek 4 menit memiliki nilai kekerasan sebesar 153 VHN dan pada variasi waktu gesek 3 menit memiliki nilai kekerasan sebesar 141 VHN. Dalam hal ini terjadi peningkatan nilai kekerasan dengan semakin lamanya waktu gesek.
- d. Hasil pengamatan struktur mikro dari masing-masing variasi yang digunakan, semakin lama variasi waktu gesek yang digunakan maka semakin lebar daerah HAZ yang terbentuk.
- e. Hasil pengujian korosi dari logam induk dan masing-masing variasi yang digunakan menunjukkan bahwa keduanya memiliki ketahanan korosi yang sangat baik.
- f. Variasi yang paling optimum pada metode pengelasan RFW menggunakan material baja AISI 1006 adalah variasi waktu gesek 5 menit dikarenakan memiliki nilai rata-rata kekuatan *bending* dan kekerasan yang baik dibandingkan variasi waktu gesek lainnya.

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

- a. Memodifikasi *tail stock* agar dapat mencegah getaran saat proses penyambungan sehingga hasil sambungan menjadi lebih *center*.
- b. Memastikan *arbor* yang dipakai saat proses penyambungan masih dalam keadaan baik agar kejadian patah pada *arbor* tidak terulang kembali.
- c. Menggunakan APD (Alat Pelindung Diri) & *coverall* saat melakukan penelitian khususnya saat proses penyambungan spesimen yang bermaterial baja untuk mengatasi kotoran panas dari sambungan yang terlempar selama pengelasan.



DAFTAR PUSTAKA

- Amanto, H., & Daryanto. (1999). *Ilmu Bahan, Cetakan Pertama*. Bumi Aksara.
- Askeland., D. R. (1985). *The Science and Engineering of Material*. Alternate Edition, PWS Engineering, Boston, USA.
- Bardal, E. (2003). *Corosion and Protection*. The Norwegian University of Science and Technology: Trondheim, Norway.
- Budiman, H. (2016). Analisis Pengujian Tarik (Tensile Test) Pada Baja ST37 Dengan Alat Bantu Ukur Load Cell. Fakultas Teknik Universtas Majalengka.
- Chodijah, S. (2008). Efektifitas Penggunaan Pelapisan Epoxy Dalam Ketahanan Korosi Pipa Baja ASTM A53. Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Jakarta.
- G. Kedarmath, K. P. (2017). Fatigue Surface Crack Detection by Using Flourescent Dye Penetrant Test Technique on Welded Engineering Service Components. India: International Research Journal of Engineering and Technology.
- Greaves, R. H., & Wrighton, H. (1998). *Practical Microscopical Metallography*. Chapman and Hall Ltd. New Fetter Lane, London, 11.
- Haliym, D. A. (2020). Optimasi Pengelasan Dissimilar Aluminium-Baja Dengan Metode *Rotary Friction Welding* Dengan Variasi Kecepatan Rotasi.
- Neely, J. E. (1994). *Practical Metallurgy and Materials Industry*. ByPrentice-Hall,Inc.,New Jersey.

- Pah, J. A., Irawan, Y. S., & Suprpto, W. (2008). Pengaruh Waktu dan Tekanan Gesek Terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Paduan Aluminium dan Baja Karbon Rendah Pada Pengelasan Gesek Continuous Drive. *Jurnal Rekayasa Mesin* Vol. 9. Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Rombaut, P., W. D., & K. F. (2011). *Friction Welding of Steel to Ceramic in Sustainable Construction and Design*. Ghent University, Laboratory Soete: Gent Belgium, 2011; Volume 2, No. 3.
- Sakura, R. R., Junus, S., Jatisukanto, G., & Septian, R. (2017). Pengaruh Variasi Waktu Gesek Friction Welding Pada Baja AISI 1045 Dengan Sudut Chamfer 15' Terhadap Sifat Mekaniknya. *Jurnal Elemen* Vol. 4. Universitas Jember.
- Sanyoto, B. L., Husodo, N., & Setyawati, S. B. (t.thn.). Penerapan Teknologi Las Gesek (Friction Welding) Dalam Proses Penyambungan Dua Buah Pipa Logam Baja Karbon Rendah. *Jurnal Energi dan Manufaktur* Vol. 5. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Surdia, T., & Saito, S. (1999). *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: Prantya Paramita.
- T. Endramawan, A. S. (2017). Non Destructive Test Dye Penetrant and Ultrasonic on Welding SMAW Butt Joint With Acceptance Critris ASME Standart. Indramayu: IOP Publishing.
- Timings, R. L. (1992). *Engineering Materials. Volume 2*. Penerbit Logman Group UK Limited Malaysia.
- Trethewey, K., & Chamberlain, J. (1991). *Korosi Untuk Mahasiswa dan Rekayasawan*. PT. Gramedia Pustaka Pratama, Jakarta.

Vander Voort, G. F. (1996). *Applied Metallography*. Van Nostrand Reinhold Company.

Wahyudin, K., & Hidayat, W. (1978). *Pengetahuan Logam 2*. Jakarta.

Wirjosumarto, H., & Okomura, T. (1994). *Teknologi Pengelasan Logam*. PT. Pradnya Paramitha, Jakarta.

Zainuri, A. M. (2008). *Kekuatan Bahan*. Yogyakarta : CV. Andi Offset.

Zainuri, A. M. (2008). *Mesin Pemindah Bahan*. Yogyakarta : CV. Andi Offset.



LAMPIRAN



CV. KARYA HIDUP SENTOSA

PABRIK MESIN ALAT PERTANIAN • PENGECORAN LOGAM • DEALER UTAMA DIESEL KUBOTA
Kantor Pusat : Jl. Magelang No. 144 Jogjakarta 55241 Indonesia
Telp. : (0274) 512095 (hunting), 563217, 584874, 513025, 556923
Fax. : (0274) 563523 (Umum), 554069 (Pembelian) E-mail : operator1@quick.co.id
Website : www.quick.co.id • M-Web : m.quick.co.id • Facebook : facebook.com/quicktraktor

LAPORAN HASIL ANALISA

REPORT OF ANALYSIS

Order No. : 0177789 Tanggal : 07 - 1 - 2021.
Customer : Excel Rifqi Fachreza. Kode Spl : Steel
: Mahasiswa UII. Program : FELOW1.
Analisa : Spectrometer. Alat Uji : Thermo ARL 3560 OES.
Hasil/Result :

Unsur	(%)
C	0,0740
Si	0,1571
S	0,0094
P	0,0180
Mn	0,4507
Ni	0,0106
Cr	0,0224
Mo	0,0023
Cu	0,0118
W	0,0000
Ti	0,0005
Sn	0,0005
Al	0,0027
Pb	0,0000
Ca	0,0009
Zn	0,0000
Fe	99,24

Ass. Ka. Unit Lab, Pola & Finishing UP2L

Ka. Seksi Laboratorium UP2L

Abdul Kafi

Reny Hayu W.

Catatan : - Sampel dari pemesan diuji di Laboratorium kami.

Cabang

Surabaya : Jl. Kebonrojo 6BB Telp. (031)3525687, 3525688, 3525076 Fax. (031)3540454 E-mail : sby@quick.co.id
Jakarta : Jl. Gajah Mada 154 Telp. (021) 6292044, 6293428, 6490020 Fax. (021) 6490013 E-mail : jkt@quick.co.id
Tanjungkarang : Jl. Raden Intan 159 Telp. (0721) 268498, 268495 Fax. (0721) 268498 E-mail : tkj@quick.co.id
Makasar : Jl. Kima 4 No. M4 Daya, Kec. Biringkanaya Telp. (0411) 514573, Fax. (0411) 514573 E-mail : mks@quick.co.id
Medan : Jl. Lelda Sujono Komplek Pergudangan Tembung Intan No. 13 Medan, Indonesia Telp. (061) 7384680 Fax. (061) 7384680 E-mail : mdn@quick.co.id

Cabang Pembantu

Sidrap : Jl. Poros Parepare-Sidenreng Rappang, Kel. Batu Lappa, Kec. Watang Pulu, Kab. Sidenreng Rappang, SULSEL
Telp. +62-82192906262, +62-88804250543 E-mail : sidrap@quick.co.id



LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

HASIL PENGUJIAN TARIK

No.	Spesimen	Diameter (mm)	Pmax (KN)	ΔL (mm)	Tegangan (MPa)	Regangan (%)
1	FT 3_1	14,30	58,62	7,63	365,18	16,96
2	FT 3_2	14,15	48,83	7,60	310,67	16,89
3	FT 3_3	14,31	58,19	5,57	361,99	12,38
4	FT 4_1	14,16	63,43	10,13	402,99	22,51
5	FT 4_2	13,93	54,40	7,15	357,13	15,89
6	FT 4_3	14,22	60,68	8,56	382,28	19,02
7	FT 5_1	13,83	56,94	8,59	379,23	19,09
8	FT 5_2	14,04	50,95	7,16	329,26	15,91
9	FT 5_3	13,91	38,06	3,08	250,58	6,84

Lembar asli, tidak untuk digandakan

Keterangan:

1. Pengujian dilakukan tanggal 30 Januari 2021
2. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine
3. Standar spesimen menggunakan JIS 2201





LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

HASIL PENGUJIAN BENDING

No.	Spesimen	Diameter (mm)	Pmax (KN)	Defleksi (mm)	Tegangan Bending (MPa)
1	FT 3 1	16,85	22,25	32,21	418,57
2	FT 3 2	16,77	13,81	18,49	263,53
3	FT 3 3	16,54	13,42	11,96	266,92
4	FT 4 1	17,06	21,49	34,52	389,53
5	FT 4 2	17,33	12,27	15,29	212,17
6	FT 4 3	16,63	12,68	11,25	248,13
7	FT 5 1	16,59	13,74	12,36	270,83
8	FT 5 2	16,56	13,56	11,26	268,73
9	FT 5 3	16,83	22,30	37,26	421,01

Keterangan:

1. Pengujian dilakukan tanggal 30 Januari 2021
2. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine
3. Standar spesimen menggunakan ASTM E 290



Lembar asli, tidak untuk digandakan



LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

PENGUJIAN KEKERASAN VICKERS

Variasi Perlakuan	Titik Uji	D1 (mm)	D2 (mm)	D rata-rata (mm)	Kekerasan (VHN)
FT_3 Menit Las	1	50,00	50,00	50,00	148,32
	2	51,50	51,50	51,50	139,81
	3	52,00	52,00	52,00	137,13
FT_3 Menit HAZ	1	52,00	52,00	52,00	137,13
	2	52,00	52,00	52,00	137,13
	3	53,00	53,00	53,00	132,00
FT_3 Menit Induk	1	44,00	44,00	44,00	191,53
	2	40,00	40,00	40,00	231,75
	3	38,00	38,00	38,00	256,79
FT_4 Menit Las	1	48,00	48,00	48,00	160,94
	2	49,50	49,50	49,50	151,33
	3	50,00	50,00	50,00	148,32
FT_4 Menit HAZ	1	54,00	54,00	54,00	127,16
	2	52,00	52,00	52,00	137,13
	3	50,00	50,00	50,00	148,32
FT_4 Menit Induk	1	47,00	47,00	47,00	167,86
	2	45,00	45,00	45,00	183,11
	3	44,00	44,00	44,00	191,53
FT_5 Menit Las	1	45,50	45,50	45,50	179,11
	2	46,50	46,50	46,50	171,49
	3	46,00	46,00	46,00	175,24
FT_5 Menit HAZ	1	50,00	50,00	50,00	148,32
	2	50,50	50,50	50,50	145,40
	3	49,50	49,50	49,50	151,33
FT_5 Menit Induk	1	42,00	42,00	42,00	210,20
	2	43,00	43,00	43,00	200,54
	3	45,00	45,00	45,00	183,11

Lembar asli, tidak untuk digandakan

Keterangan:

1. Pengujian dilakukan tanggal 30 Januari 2021
2. Pengujian menggunakan Hardnes Micro Vickers
3. Pembebanan menggunakan 200 gf



Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281



LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

HASIL PENGUJIAN TARIK

No.	Spesimen	Diameter (mm)	Pmax (KN)	ΔL (mm)	Tegangan (MPa)	Regangan (%)
1	Spes_1	5,86	13,56	6,72	503,03	26,88
2	Spes_2	5,90	13,42	6,42	491,11	25,68

Keterangan:

1. Pengujian dilakukan tanggal 26 Juni 2021
2. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine
3. Standar spesimen menggunakan JIS 2201

Lembar asli, tidak untuk digandakan

HASIL PENGUJIAN BENDING

No.	Spesimen	Diameter (mm)	Pmax (KN)	Defleksi (mm)	Tegangan Bending (MPa)
1	Spes_1	15,88	25,95	10,65	583,21
2	Spes_2	15,87	25,69	10,44	578,46

Keterangan:

1. Pengujian dilakukan tanggal 26 Juni 2021
2. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine
3. Standar spesimen menggunakan ASTM E 290



