

**Optimasi Pengelasan *Dissimilar* Aluminium-Baja Dengan Metode  
*Rotary Friction Welding* dengan Variasi Kecepatan Rotasi**

**TUGAS AKHIR**

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



**Disusun Oleh :**

**Nama : Dyan Ahmad Haliym Moek'arriharsjah**

**No. Mahasiswa : 16525089**

**NIRM : 2016080682**

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

**2020**

## PERNYATAAN KEASLIAN

Demi Allah saya akui karya ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali nukilan dan ringkasan yang setiap satunya telah saya jelaskan sumbernya jika dikemudian hari ternyata pengakuan saya ini tidak benar dan melanggar peraturan yang dalam karya tulis dan hak kekayaan intelektual maka saya bersedia ijazah yang telah saya terima untuk ditarik kembali oleh Universitas Islam Indonesia.

Demikian surat pernyataan ini dibuat, semoga dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Yogyakarta, 30 Desember 2020



Dyan Ahmad Haliym M

16525089

## LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

### Optimasi Pengelasan *Dissimilar* Aluminium-Baja Dengan Metode *Rotary Friction Welding* dengan Variasi Kecepatan Rotasi

#### TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

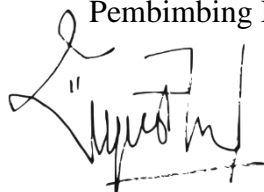
Nama : Dyan Ahmad Haliym Moek'arriharsjah

No. Mahasiswa : 16525089

NIRM : 2016080682

Yogyakarta, 20 Desember 2020

Pembimbing I,



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

## LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

### Optimasi Pengelasan *Dissimilar* Aluminium-Baja Dengan Metode *Rotary Friction Welding* dengan Variasi Kecepatan Rotasi

#### TUGAS AKHIR

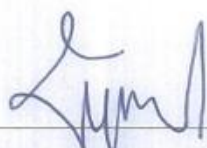
#### Disusun Oleh :

Nama : Dyan Ahmad Haliym Moek'arriharsjah  
No. Mahasiswa : 16525089  
NIRM : 2016080682

#### Tim Penguji

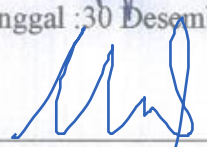
Yustiasih Purwaningrum, S.T., M.T.

Ketua

  
Tanggal : 30 Desember 2020

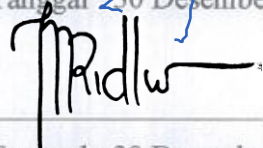
Muhammad Khafidh, S.T, M.T., Ph.D.

Anggota I

  
Tanggal : 30 Desember 2020

Muhammad Ridlwan, ST, M.T

Anggota II

  
Tanggal : 30 Desember 2020

#### Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



  
Eng. Risdianto, S.T., M.Eng.

## HALAMAN PERSEMBAHAN

### بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Puji Syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayat-Nya sehingga penulis diberikan kesehatan selalu dan juga terimakasih kepada orang-orang yang selalu mendukung saya, sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan lancar

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

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

Terimakasih kepada opa dan oma tersayang Prof. Ir. H. Alamsjah dan Hj. Agustina yang selalu mendoakan kesuksesan dan keberhasilan saya selama kuliah.

Terimakasih kepada kedua orang tua saya Bapak Ir. Moekti Wibowo dan Ibu Harpanita Alamsyah, S.E. yang selalu memberi dukungan dan doa kepada saya, karena sesungguhnya ridho Allah SWT tergantung dari ridho orang tua kita. 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 kakak saya Dian Rahmaningsih, S.Si., karena selalu menyemangati dan membantu saya selama proses penelitian Tugas Akhir ini.

Terimakasih juga kepada teman-teman seperjuangan saya di Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.

Terimakasih yang sebesar-besarnya untuk kalian semua. Akhir kata saya persembahkan Tugas Akhir saya ini untuk kalian orang yang saya sayangi. Semoga Tugas Akhir saya ini dapat berguna dan bermanfaat untuk generasi penerus kelak. Aamiin.

## HALAMAN MOTTO

“TAHAPAN PERTAMA DALAM MENCARI ILMU ADALAH MENDENGARKAN, KEMUDIAN DIAM DAN MENYIMAK DENGAN PENUH PERHATIAN, LALU MENJAGA DAN MENGAMALKANNYA KEMUDIAN MENYEBARKANNYA”

**Sufyan bin Uyainah**

“BARANG SIAPA YANG MENAPAKI SUATU JALAN DALAM RANGKA MENUNTUT ILMU, MAKA ALLAH AKAN MEMUDAHKAN BAGINYA JALAN MENUJU SURGA” HR

**Ibnu Majah dan Abu Dawud**

البعثة الإسلامية الأندلسية

## KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim.

Syukur alhamdulillah penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyusun Tugas Akhir yang berjudul: **“Optimasi Pengelasan *Dissimilar* Aluminium-Baja Dengan Metode *Rotary Friction Welding* dengan Variasi Kecepatan Rotasi”**. 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 penyusunan Tugas Akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada beberapa pihak yang terlibat, memberi arahan, saran dan motivasi. Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada:

1. Ayah dan Ibu yang senantiasa memberi dukungan baik moril maupun materil sehingga Tugas Akhir dapat terealisasi dan terselesaikan dengan baik.
2. Bapak Dr. Eng. Risdiyono, S.T., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
3. Ibu Yustiasih Purwaningrum, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing tugas akhir, yang telah memberi arahan, saran dan motivasi hingga terselesaikannya Tugas Akhir.
4. Seluruh Dosen dan Karyawan di lingkungan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia. Terimakasih telah membantu penulis selama kuliah dan penyelesaian Tugas Akhir ini.
5. Pak Lilik selaku pembimbing ketika melakukan pengujian material di Laboratorium Pengujian Material Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada.
6. Renovian Dwi Saputra sebagai teman kerja dalam penelitian ini.
7. Teman-teman seperjuangan Angkatan 2016 Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.

Akhir kata, penulis meminta maaf apabila di dalam Tugas Akhir ini terdapat kesalahan dan kekeliruan, serta penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Penulis berharap supaya Allah selalu memberikan rahmat-Nya dan senantiasa meridhoi ilmu yang kita dapatkan serta semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

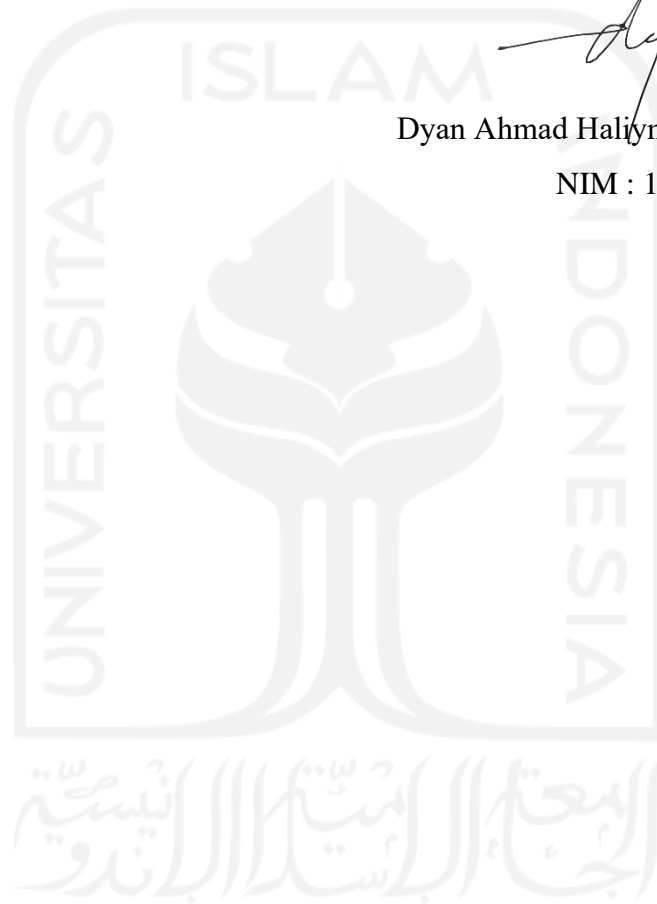
Terima kasih.

Yogyakarta, 20 Desember 2020



Dyan Ahmad Haliym Moek'arriharsjah

NIM : 16525089





## ABSTRAK

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi kecepatan dalam penyambungan material dissimilar dari pengelasan *rotary friction welding* terhadap sifat fisik dan mekanik material. Penelitian ini menggunakan aluminium dan baja dengan metode rotary friction welding. Hasil pengujian komposisi untuk aluminium yang digunakan adalah jenis T-6061 dan baja adalah jenis AISI 1012. Untuk pengamatan makro terlihat bahwa sambungan baja-aluminium dapat tersambung dengan baik. Dan di pengamatan mikro dapat dilihat perbedaan variasi kecepatan mempengaruhi terbentuknya zona *heat affected zone* pada sambungan. Variasi 1800 rpm memiliki zona heat affected zone yang lebar dibanding variasi lainnya. Untuk hasil uji tarik didapatkan variasi kecepatan 1170 rpm memiliki kekuatan tarik tertinggi sebesar 93,27 MPa dan nilai regangan 6,73%. Akan tetapi pada variasi 1800 rpm memiliki nilai regangan tertinggi yaitu sebesar 8,4% dengan kekuatan tarik sebesar 79,37 MPa. Untuk hasil uji *bending* didapatkan nilai kekuatan tertinggi pada variasi kecepatan 1170 rpm yaitu sebesar 23,91 MPa. Untuk pengujian kekerasan setiap spesimen uji mengalami peningkatan kekerasan pada bagian sambungan, dan didapatkan nilai kekerasan tertinggi terdapat pada variasi 1800 rpm yaitu sebesar 231,75 HVN pada bagian sambungan. Untuk pengujian dye penetrant didapatkan bahwa material mengalami cacat, tetapi jika dilihat dari pengamatan mikro dan makro material sambungan tersambung dengan baik. Untuk pengujian korosi, material sambungan memiliki ketahanan korosi yang bagus.

**kata kunci : rotary friction welding, dissimilar, kecepatan**

## **ABSTRACT**

*The purpose of this study was to determine the effect of speed variations in the welding of dissimilar materials from rotary friction welding on the physical and mechanical properties of the material. This study uses aluminum and steel with the rotary friction welding method. The results of the composition test for aluminum used are T-6061 type and steel is AISI 1012 type. For macro observation, it can be seen that the steel-aluminum joints can be connected properly. And from micro observation, it can be seen that the difference in speed variation affects the formation of the heat affected zone on the joint. The 1800 rpm variation has a wider heat affected zone than the other variations. For the results of the tensile test, it was found that the speed variation of 1170 rpm had the highest tensile strength of 93.27 MPa and a strain value of 6.73%. However, the 1800 rpm variation has the highest tensile value of 8.4% with a tensile strength of 79.37 MPa. For the compressive test results obtained the highest strength value at the speed variation of 1170 rpm which is 23.91 MPa. For hardness testing, each test specimen experienced an increase in the hardness of the joint, and the highest hardness value was found in the 1800 rpm variation, which was 231.75 HVN at the joint. For the dye penetrant test, it was found that the material had defects, but when viewed from micro and macro observations the connection material was well connected. For corrosion testing, the joint material has good corrosion resistance.*

**key words: rotary friction welding, dissimilar, speed**

## DAFTAR ISI

Halaman Judul .....	i
PERNYATAAN KEASLIAN .....	ii
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing .....	iii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji .....	iv
Halaman Persembahan .....	v
Halaman Motto .....	vi
Kata Pengantar.....	vii
Abstrak .....	ix
<i>Abstract</i> .....	x
Daftar Isi .....	xi
Daftar Tabel.....	xiv
Daftar Gambar .....	xv
Daftar Notasi.....	xvii
Bab 1 Pendahuluan .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	2
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
2.3 Pengelasan <i>Dissimilar</i> .....	7
2.3.1 <i>Rotary Friction Welding</i> .....	7
2.4 Baja .....	8
2.4.1 Baja Karbon.....	8
2.4.2 Baja paduan .....	10
2.4.3 Aluminium.....	10
2.5 Pengujian Material .....	12

2.5.1	Pengujian Tarik .....	12
2.5.2	Pengujian <i>Bending</i> .....	14
2.5.3	Pengujian Kekerasan Vickers <i>Microhardness</i> .....	15
2.5.4	Pengujian Korosi .....	16
2.5.5	Pengujian Dye Penetrant .....	16
2.6	Pengamatan Struktur Makro dan Mikro .....	17
2.6.1	Pengamatan struktur makro .....	18
2.6.2	Pengamatan struktur mikro .....	18
Bab 3	Metode Penelitian .....	19
3.1	Alur Penelitian .....	19
3.2	Peralatan dan Bahan .....	20
3.3	Proses Pembuatan Spesimen .....	20
3.3.1	Pemotongan Spesimen .....	20
3.3.2	Proses Penyambungan .....	21
3.4	Proses Pengujian .....	22
3.4.1	Pengujian Komposisi Kimia .....	22
3.4.2	Pengujian Tarik .....	23
3.4.3	Pengujian <i>Bending</i> .....	24
3.4.4	Pengujian Kekerasan Vickers <i>Microhardness</i> .....	25
3.4.5	Pengujian korosi .....	26
3.4.6	Pengamatan Struktur Mikro dan Makro .....	27
Bab 4	Hasil dan Pembahasan .....	29
4.1	Hasil dan Analisis Pengujian .....	29
4.1.1	Hasil Pengelasan .....	29
4.1.2	Uji Komposisi Kimia .....	30
4.1.3	Pengujian <i>Dye Penetrant</i> .....	32
4.1.4	Pengamatan Struktur Makro dan Mikro .....	32
4.1.5	Uji Tarik .....	35
4.1.6	Uji <i>Bending</i> .....	38
4.1.7	Uji Kekerasan Vickers <i>Microhardness</i> .....	40
4.1.8	Uji Korosi .....	42
Bab 5	Penutup .....	45

5.1	Kesimpulan .....	45
5.2	Saran .....	46
	Daftar Pustaka .....	47
	LAMPIRAN .....	49



## DAFTAR TABEL

Tabel 2- 1 : Proses penyambungan Pengelasan RFW .....	9
Tabel 2- 2 : Sifat Mekanik Aluminium .....	11
Tabel 3- 1 : Nama Alat.....	20
Tabel 3- 2 : Nama Bahan .....	20
Tabel 4- 1 : Suhu Saat Penyambungan.....	29
Tabel 4- 2 : Hasil Uji Komposisi Aluminium .....	30
Tabel 4- 3 : Hasil Uji Komposisi Baja .....	31
Tabel 4- 4 : Hasil Pengamatan Struktur Mikro.....	33
Tabel 4- 5 : Standar Deviasi Uji Tarik .....	37
Tabel 4- 6 : Standar Deviasi Uji <i>Bending</i> .....	40
Tabel 4- 7 : Hasil Pengujian Korosi .....	43
Tabel 4- 8 : Hasil Perhitungan Laju Korosi.....	43
Tabel 4- 9 : Standar laju korosi material (Fontana,1986).....	44

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2- 1 : Daerah Zona Pengelasan .....	6
Gambar 2- 2 : Proses penyambungan Pengelasan RFW .....	8
Gambar 2- 3 : Kurva Tegangan-Regangan.....	13
Gambar 2- 4 : Proses Penambahan Panjang Material.....	14
Gambar 2- 5 : Metode Pengujian Bending .....	14
Gambar 2- 6 : Alat uji Vickers <i>Microhardness</i> .....	16
Gambar 2- 7 : Proses Dye Penetrant.....	17
Gambar 2- 8 : Mikroskop Optik .....	18
Gambar 3- 1 : Alur Proses Pelaksanaan Penelitian.....	19
Gambar 3- 2 : Gerinda Potong.....	21
Gambar 3- 3 : Hasil Proses <i>Facing</i> .....	21
Gambar 3- 4 : Proses Penyambungan Material .....	22
Gambar 3- 5 : ARL Optical Emission .....	23
Gambar 3- 6 : Geometri Standar JIS Z2201 .....	23
Gambar 3- 7 : Alat Uji Tarik dan Uji Bending.....	24
Gambar 3- 8 : Metode Three Point Bending .....	25
Gambar 3- 9 : Standart ASTM E290 .....	25
Gambar 3- 10 : Mikroskop MHV M3 <i>Japan</i> .....	26
Gambar 3- 11 : Daerah Penekanan Uji Kekerasan .....	26
Gambar 3- 12 : Mesin Grippo 2M.....	27
Gambar 3- 13 : Proses Autosol.....	28
Gambar 3- 14 : Mikroskop Optik .....	28
Gambar 4- 1 : Hasil Pegelasan A Variasi 900 rpm, B. Variasi 1170 rpm, C. Variasi 1800 rpm.....	29
Gambar 4- 2 : Hasil Pengujian Dye Penetrant (A) 900 rpm, (B) 1170 rpm, (C) 1800 rpm.....	32
Gambar 4- 3 : Struktur Makro Variasi A) 900 rpm, B) 1170 rpm, C) 1800 rpm	33
Gambar 4- 4 : Hasil Pengujian Tarik.....	36
Gambar 4- 5 : Hasil Pengujian Tarik Material <i>Similar</i> dan <i>Dissimilar</i> .....	37
Gambar 4- 6 : Grafik Pengujian <i>Bending</i> .....	38

Gambar 4- 7 : Hasil Pengujian *Bending* Material *Similar*..... 39  
Gambar 4- 8 : Hasi Pembebanan Pada Daerah Las ..... 40  
Gambar 4- 9 : Perbandingan Hasil pengujian Kekerasan.....41





## DAFTAR NOTASI

RFW = Rotary Friction Welding

HAZ = Heat Affected Zone



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri pada saat ini terus berkembang dan penghematan terhadap sumber daya alam terus dilakukan, terutama didalam industri manufaktur. Setiap aspek di industri dituntut untuk terus membuat produk yang tidak menggunakan sumber daya alam secara berlebihan tanpa mengurangi sifat fisik dan mekanik dari produk. Aluminium dinilai cukup efisien untuk mengganti material lainnya dikarenakan kemampuan daur ulang dan kekuatannya yang cukup baik. Material baja tahan karat tidak dapat sepenuhnya diganti dengan aluminium karena kekuatan dan kemampuan pengelasan yang dimilikinya (Shubhavardhan et al. 2012).

Banyak metode yang dilakukan untuk menyambungkan dua jenis material yang berbeda untuk membuat produk menjadi lebih ringan tetapi kuat. Salah satu jenis metode pengelasan *dissimilar* adalah *friction stir welding* (FSW), *linear friction welding* (LFW) dan *rotary friction welding* (RFW) (Vairis et al. 2018). Pengelasan dengan metode RFW cocok digunakan untuk penyambungan material *dissimilar* dikarenakan material yang berbeda jenis memiliki titik leleh yang berbeda-beda. Panas yang terbentuk dari pengelasan RFW berada rata-rata sebesar 60-80% dari titik leleh(Chainarong 2017). Pada metode pengelasan RFW ini tidak dibutuhkannya *filler* karena hanya menggunakan panas yang berasal dari gesekan dua material. Metode pengelasan RFW adalah dengan cara satu material di letakkan di *spindle* putar dan material satunya diletakkan di *spindle* yang diam. Kemudian material digesekkan hingga mencapai titik leleh yang kemudian ditekan (Basheer et al. 2008). Hasil dari perlakuan ini menyebabkan struktur mikro dari material akan menyatu sehingga membuat ikatan baru antar partikel.

Pengelasan RFW ini memiliki tiga parameter yang digunakan untuk mendapatkan hasil pengelasan yang baik, diantaranya adalah suhu, waktu dan tekanan (Khalfallah et al. 2019). Jika salah satunya tidak diatur dengan baik, maka

hasil las yang didapat tidak kuat dan struktur mikro dari dua jenis material yang berbeda tidak akan tersambung.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka penulis ingin meneliti pengaruh kecepatan terhadap kekuatan sambungan, sifat fisik dan mekanik dari material dari pengelasan RFW. Semoga hasil dari penelitian ini dapat bermanfaat bagi bagi pembaca.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Dari latar belakang yang ditulis oleh penulis, maka penulis merumuskan masalah pada tugas akhir ini: Bagaimana pengaruh variasi kecepatan putar saat penyambungan material *dissimilar* dengan metode RFW terhadap sifat fisik dan mekanik material?

## **1.3 Batasan Masalah**

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

1. Proses pengelasan dilakukan dengan menggunakan mesin bubut Laboratorium Teknik Mesin.
2. Material yang digunakan adalah aluminium dan baja.
3. Proses dilakukan dengan tiga jenis variasi kecepatan putar *spindle* yang berbeda, yaitu 900 RPM, 1170 RPM dan 1800 RPM.
4. Parameter pengelasan yang digunakan adalah dengan *burn out* 3mm+2mm, diameter spesimen uji 16 mm, tekanan di abaikan dan dengan waktu 60 s.
5. Pengujian yang dilakukan hanya pengujian tarik, pengujian *bending*, pengujian kekerasan mikro *vickers*, pengujian korosi, uji komposisi dan pengamatan struktur mikro dan makro.

## **1.4 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disampaikan maka ditentukan tujuan penelitian yaitu untuk mengetahui pengaruh variasi kecepatan dalam penyambungan material *dissimilar* dari pengelasan RFW terhadap sifat fisik dan mekanik dari material.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat dari penelitian ini antara lain :

1. Hasil penelitian dapat menambah pengetahuan terhadap metode proses pengelasan RFW dari dua material yang berbeda terutama aluminium-baja.
2. Hasil penelitian dapat digunakan untuk mengetahui kecepatan optimal untuk pengelasan RFW untuk material *dissimilar*.
3. Hasil penelitian dapat digunakan untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik dari sambungan las.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan Tugas akhir ini diuraikan dalam lima bab yang berurutan untuk mempermudah pembahasannya. Bab I berisi latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan. Bab II berisi kajian pustaka dan teori-teori yang melandasi dari penelitian. Bab III berisi alur penelitian, alat dan bahan serta metode pengerjaan penelitian. Bab IV membahas mengenai hasil-hasil yang sudah diperoleh dari penelitian dan pembahasan dari hasil-hasil tersebut. Sedangkan kesimpulan dari hasil penelitian serta saran untuk penelitian dijelaskan di Bab V.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Kajian Pustaka

Pada jurnal yang ditulis oleh Shubhavardhan et.al, 2012 meneliti tentang proses penyambungan material *dissimilar* tidak dilakukan dengan cara konvensional. Pada material di jurnal ini menggunakan AA6082 *Aluminium Alloy* dengan AISI 304 *Stainless Steel*. Pengelasan konvensional dinilai kurang efisien dikarenakan panas yang dihasilkan terlalu banyak dan dapat menurunkan kekuatan sambungan. Pada penelitian ini menggunakan metode RFW karena panas yang dihasilkan berasal dari dua permukaan logam yang saling bergesekan kemudian ditekan. Berbagai paduan besi dan *non-ferro* memiliki sifat termal dan mekanis yang berbeda dapat dengan mudah bergabung dengan metode pengelasan gesekan. Pengujian yang dilakukan didalam jurnal ini antara lain uji tarik, uji *bending*, uji kekerasan *vickers*, struktur mikro dan struktur makro. Dan hasil yang didapat dari penelitian ini bahwa perbedaan waktu gesekan dan tekanan yang lakukan mempengaruhi hasil pengujian. Kekuatan sambungan akan meningkat sesuai penambahan waktu gesekan dan tekanan dan akan menurun jika sudah mencapai titik maksimum. Jika terlalu lama, akan menciptakan sambungan intermetalik yang berlebih sehingga kekuatan menurun.

Pada jurnal yang ditulis oleh (Basher et.al. 2008) meneliti tentang penyambungan keramik (*Alumina*) dan logam (*Aluminium*). Penelitian ini dilakukan karena keramik memiliki beberapa sifat yang menarik dibandingkan dengan logam. Terutama dalam aplikasi suhu tinggi dan keausan, berdasarkan sifat fisik, kekerasan, termal dan kimianya. Di sisi lain logam lebih ulet dan tangguh bila dibandingkan dengan bahan keramik. Parameter kecepatan putar 1250 rpm, 1800 rpm, 2500 rpm, tekanan gesek 14 MPa dan waktu gesekan sekitar 30 detik. Pengujian kekerasan mikro, *scanning electron microscopy* (SEM) dan *optical microscopy* digunakan untuk melihat struktur kekuatan sambungan las. Hasil yang didapat, material dapat tersambung dengan baik. Efek *Heat Affected Zone* (HAZ) dari material meningkat sejalan dengan kecepatan putaran. Pada uji kekerasan

mikro, struktur material alumina tidak dapat dideskripsikan. Hal ini mungkin disebabkan oleh porositas alumina dan kecepatan rotasi 2500 rpm memberikan nilai kekerasan maksimum dibagian sambungan las.

Pada jurnal yang ditulis oleh (Rao ,2019) meneliti tentang sambungan *dissimilar* antara AISI 304 dan aluminium 2219. Parameter pengujian ini adalah variasi kecepatan 1000 rpm, 1500 rpm dan 2000 rpm. Variasi tekanan gesek 116 MPa dan 154 MPa. Variasi tekanan teMPa 193 MPa dan 231 MPa. Variasi *burn out* 5 mm dan 6 mm. Pada variasi 1500 rpm dan 2000 rpm, dengan tekanan gesek 116 MPa, tekanan tempa 193 MPa, *burn out* 5 mm dan 6 mm mendapatkan hasil kekuatan yang baik. Kekuatan tarik paling tinggi dipenelitian ini adalah 216 MPa. Kesimpulan dari penelitian ini adalah semakin besar tekanan tempa maka kekerasan akan meningkat. Sehingga akan membuat material menjadi semakin getas dan menimbulkan keretakan dibagian sambungan las.

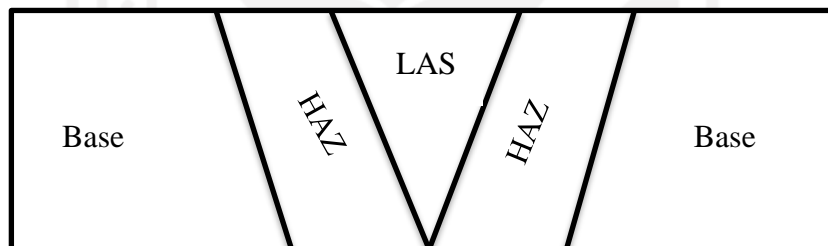
Pada jurnal yang ditulis oleh (Rao et.al, 2017) menjelaskan tentang variasi kecepatan RFW yaitu 1600 rpm, 2000 rpm dan 2700 rpm. Pada penelitian ini variasi material yang digunakan adalah *mild steel-mild steel*, *mild steel-Al*, *Cu-Brass* dan *Al-Al*. Proses penyambungan material dilakukan menggunakan mesin bubut konvensional yang dimodifikasi dengan mengganti *arbor* dengan *chuck*. Hasil yang didapat dari penelitian ini adalah ketika kecepatan meningkat, maka nilai kekerasan akan meningkat. Nilai kekerasan tertinggi pada sambungan didapatkan pada kecepatan 2700 rpm dan yang terkecil pada 1600 rpm.

Pada jurnal yang ditulis oleh (Seshagirirao et.al, 2015) melakukan penelitian menggunakan material *mild steel* (MS) dengan diameter 10 mm dan aluminium (Al) dengan diameter 12 mm. Variasi kecepatan 558 rpm, 896 rpm, 1372 rpm dan 2095 rpm. Spesimen yang dibuat pada penelitian ini adalah MS-MS, Al-Al dan MS-Al dengan diameter 10 mm dan 12 mm. Pada saat pengelasan didapatkan suhu yang bervariasi ketika proses pengelasan. Hasil yang didapat adalah kecepatan 2095 merupakan kecepatan optimal untuk sambungan MS-MS. Sedangkan kecepatan 1372 rpm dan 2095 rpm untuk sambungan Al-Al mendapatkan hasil yang bagus. Hasil pengujian tarik sambungan *similar* untuk aluminium sebesar 206.45 N di 2095 rpm. Hasil pengujian untuk *mild steel* sebesar

482.13 N di 2095 N. Sedangkan untuk material *dissimilar* hasil pengujian tarik didapatkan sebesar 116.16 N di kecepatan 2095 rpm dan 1372 N.

## 2.2 Dasar Teori

Pengelasan adalah proses penyambungan dua material yang berbeda menjadi satu. Sehingga terbentuk suatu sambungan melalui ikatan kimia yang dihasilkan dari pemakaian panas dan atau tekanan. Pengelasan ini memiliki kelebihan yaitu menghasilkan sambungan yang kuat, aplikasi yang banyak, tersedia dalam bentuk las manual atau otomatis, portabel dan murah. Kekurangan dari pengelasan ini adalah pembongkaran sambungan sama dengan merusak karena sambungan las mengakibatkan struktur mikro material tersambung. Panas las harus diatur, karena jika tidak diatur, panas las yang berlebih akan membuat material mengalami distorsi. Pengelasan manual dibutuhkan juru las yang sudah ahli dibidangnya dan beberapa pengelasan memiliki biaya yang mahal seperti LASER dan plasma.



Gambar 2- 1 : Daerah Zona Pengelasan

Pada hasil pengelasan terdapat beberapa daerah yang terbentuk, diantaranya adalah daerah logam induk, daerah HAZ, dan daerah pengelasan seperti yang ditunjukkan pada gambar 2-1. Daerah las adalah daerah yang mengalami perubahan struktur mikro akibat perlakuan panas yang melebihi titik kritis dan penambahan *filler*. Daerah HAZ adalah daerah yang terpengaruh panas pengelasan dan mengalami perubahan struktur mikro. Daerah logam induk adalah daerah yang terpengaruh panas pengelasan, akan tetapi panas yang ada tidak cukup tinggi untuk mengubah struktur mikro.

Klasifikasi pengelasan diantaranya ada gas, busur, sinar energi tinggi, resistansi dan *solid state*. Pengelasan *solid state* terdapat pengelasan friksi dan

pengelasan dingin. Pengelasan friksi adalah proses penyambungan logam dengan menggunakan panas yang terbentuk dari gesekan dari dua permukaan logam yang membuat sambungan struktur mikro. Kelebihan dari pengelasan friksi ini adalah tidak dibutuhkannya *filler* pada proses penyambungan, tidak ada percikan api, memiliki sifat mekanis yang baik dan dapat digunakan untuk penyambungan material *dissimilar*. Kekurangan dari pengelasan ini adalah tidak bisa digunakan pada material *high strength*, daya tekan yang kuat dan alat tidak portabel.

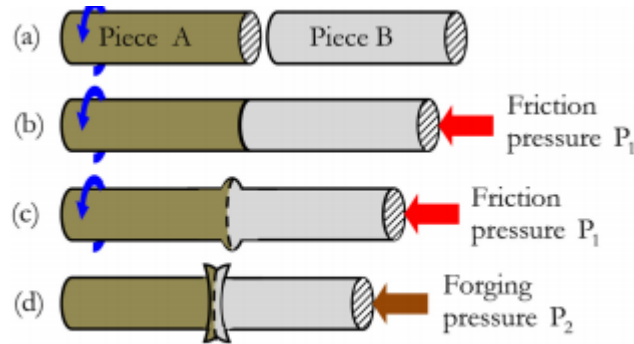
## **2.3 Pengelasan *Dissimilar***

Pengelasan *dissimilar* adalah proses pengelasan dengan menyambungkan dua logam dasar berbeda jenis. Seperti pada penyambungan antara baja dan aluminium. Pada pengelesan ini aluminium dinilai cukup efisien untuk mengganti material lainnya dikarenakan kemampuan daur ulang dan kekuatan aluminium yang cukup baik. Dan untuk material baja tahan karat tidak dapat sepenuhnya diganti dengan aluminium karena kekuatan dan kemampuan pengelasan yang dimilikinya. Pengelasan ini digunakan untuk menyambungkan kelebihan dari masing-masing logam dasar dan untuk mengurangi biaya. (Shubhavardhan et.al, 2012)

### **2.3.1 Rotary Friction Welding**

Proses pengelasan RFW ini adalah dengan menggunakan panas yang dihasilkan dari material yang salah saling bergesekan. Salah satu material diletakkan pada *spindle* putar dan material satunya diam, kemudian digesekkan dan ditekan, yang akan menimbulkan panas. Proses ini menyebabkan struktur mikro material tersambung sehingga muncul ikatan baru seperti yang terlihat pada gambar 2-2 berikut:





**Gambar 2- 2 : Proses penyambungan Pengelasan RFW**

Sumber : Shubhavardhan et.al, 2012

Temperatur yang dihasilkan pada gesekan akan menimbulkan panas yang berada 60-80% dari titik leleh material. Pengelasan ini sangat cocok untuk pengelasan *dissimilar* dikarenakan panas yang dihasilkan hanya berasal dari gesekan dua material. Pengelasan ini juga tidak membutuhkan *filler*. (Shubhavardhan et.al, 2012)

## 2.4 Baja

Baja karbon terbentuk akibat campuran antara Fe dan C dan sedikit unsur lain seperti Si, Mn, P, S dan Cu yang banyak digunakan manusia. Pengaplikasian baja juga banyak digunakan sehingga memiliki bentuk dan jenis yang beragam. Klasifikasi baja karbon menurut komposisi kimianya terbagi menjadi 2 kelompok umum yaitu, baja karbon dan baja paduan. (Suarsana, 2017)

### 2.4.1 Baja Karbon

Baja karbon adalah tidak hanya mengandung Fe dan C. Pembuatannya mengandung unsur lain yang dikecilkan seperti Mn, Si, S, P, O<sub>2</sub>, Ni dan lainnya. Unsur tersebut berasal dari sisa pembuatan baja, unsur Mn kurang dari 0.8% dan Si kurang dari 0.5% disebut sebagai baja karbon. Unsur mangan dan silikon digunakan dalam proses pembuatan baja sebagai *deoxider*. *Deoxider* sendiri adalah proses untuk memperbaiki unsur pengotoran. (Suarsana, 2017). Klasifikasi baja dapat dilihat dari tabel 2-1 berikut :

**Tabel 2- 1 : Proses penyambungan Pengelasan RFW**

Sumber : Suarsana, 2017

Jenis	%C	$\sigma_y$ MPa	$\sigma_u$ MPa	Perpanjangan % EL	Kekerasan Brinell HB	Penggunaan
Baja karbon rendah	0,08	18-28	32-36	30-40	95-100	Plat tipis
	0,08-0,12	20-29	36-42	30-40	80-120	Batang, kawat
	0,12,020	22-30	38-48	24-36	100-130	Konstruksi umum
	0,20-0,30	24-36	44-55	22-32	112-145	Konstruksi umum
Baja karbon sedang dan tinggi	0,30-0,40	30-40	50-60	17-30	140-170	Alat-alat mesin
	0,40-0,50	34-46	58-70	14-26	160-200	Perkakas
	0,50-0,80	36-47	65-100	11-20	180-235	Rel, Pegas dan kawat piano

**A. Baja Karbon Rendah**

Baja karbon rendah memiliki kandungan karbon dibawah 0.2%. Baja karbon rendah biasanya digunakan untuk konstruksi umum seperti rangka bangunan, baja tulangan, beton, rangka kendaraan. Kekuatan baja jenis ini relatif rendah tetapi keuletannya tinggi, mudah dibentuk dan dilakukan proses permesinan. Baja karbon rendah tidak dapat dikeraskan (Suarsana, 2017).

**B. Baja Karbon Sedang**

Baja karbon sedang memiliki kandungan karbon kisaran 0.25-0.55%. Baja karbon sedang sifatnya lebih kuat, keras dan dapat dikeraskan. Pengaplikasian baja karbon sedang biasanya digunakan untuk material yang memerlukan kekuatan dan ketangguhan yang tinggi seperti untuk poros, roda gigi dan konstruksi mesin (Suarsana, 2017).

**C. Baja Karbon Tinggi**

Baja karbon tinggi memiliki kandungan karbon diatas 0.55%. Baja karbon tinggi memiliki sifat lebih kuat dan keras, sedangkan keuletan dan ketangguhannya rendah. Pengaplikasian baja karbon tinggi biasanya digunakan untuk peralatan yang membutuhkan ketahanan aus, seperti mata bor dan palu (Suarsana, 2017). Baja karbon tinggi memiliki sifat sulit dibengkokkan, dilas dan dipotong.

## 2.4.2 Baja paduan

Baja paduan adalah jenis baja yang untuk mendapatkan sifat yang diinginkan dilakukan dengan cara menambahkan unsur tertentu. Seperti penambahan unsur Cr untuk meningkatkan ketahanan korosi dan karat, penambahan unsur Ni untuk meningkatkan ketahanan panas dan lainnya. Baja paduan terbagi menjadi 2 kelompok, yaitu *low alloy steel* dan *high alloy steel*.

### A. *Low alloy steel*

*Low alloy steel* memiliki kadar unsur paduan yang rendah yaitu kurang dari 2.5%. Sifat dari *low alloy steel* adalah memiliki kekuatan dan ketangguhan yang tinggi. *Low alloy steel* biasanya memiliki sifat tahan korosi dan dapat dikeraskan. Pengaplikasiannya biasanya untuk konstruksi mesin (Suarsana, 2017).

### B. *High alloy steel*

*High alloy steel* memiliki kadar unsur paduan yang tinggi yaitu diatas 10%. Sifat dari baja jenis ini adalah tahan karat untuk jenis *stainless steel*, baja perkakas untuk jenis *high speed steel* dan baja tahan panas untuk jenis *heat resisting steel* (Suarsana, 2017).

## 2.4.3 Aluminium

Aluminium adalah salah satu jenis logam yang banyak digunakan di dunia. Penggunaan aluminium didunia berada pada urutan kedua setelah besi dan baja. Sumber utama aluminium berasal dari biji bauksit yang dimurnikan. (Surdia dan Saito, 1992).

Aluminium memiliki kelebihan sehingga banyak digunakan seperti :

1. Penghantar listrik dan panas yang baik.
2. Mudah difabrikasi.
3. Ringan.
4. Tahan korosi dan tidak beracun.
5. Kekuatannya rendah, akan tetapi dapat ditingkatkan dengan penambahan unsur paduan

## 6. Dapat di daur ulang.

Pengaplikasian aluminium banyak digunakan sebagai peralatan dapur, bahan konstruksi dan untuk pembuatan elektronik. aluminium dapat didaur ulang dari bahan bekas menjadi bahan baru. Proses daur ulang aluminium cukup hanya dilakukan peleburan. Saat proses peleburan, berat aluminium tidak berkurang secara signifikan sehingga dapat menghemat biaya produksi. Hal ini yang menjadi kelebihan aluminium sebagai logam paduan karena dapat mengurangi polusi dan pencemaran lingkungan.

**Tabel 2- 2 : Sifat Mekanik Aluminium**

Sumber : Suardia dan Saito, 1992

Sifat-sifat	Kemurnial Al (%)			
	99,996		>99,0	
	Di anil	75% dirol dingin	Di anil	H18
Kekuatan tarik (kg/mm <sup>2</sup> )	4,9	11,6	9,3	16,9
Kekuatan mulur (0,2)(kg/mm <sup>2</sup> )	1,3	11	3,5	14,8
Perpanjangan	48,8	5,5	35	5
Kekerasan Brinell	17	27	23	44

### A. Aluminium Murni

Aluminium murni terdiri dari 99% unsur Al. Aluminium jenis ini memiliki kekuatan tarik sebesar 90 MPa (Surdia dan Saito, 1992). Menyebabkan aluminium murni menjadi tidak cukup efisien untuk digunakan. Maka dari itu, aluminium murni ini sering dipadukan dengan unsur lain untuk meningkatkan sifat fisik dan mekanik yang dimilikinya.

### B. Aluminium Paduan

Aluminium paduan dibuat dengan menambahkan unsur tertentu untuk mendapatkan sifat material yang diinginkan, seperti silikon, magnesium, tembaga, seng, mangan, dan juga lithium. Penambahan unsur tersebut dapat meningkatkan kekuatan tarik dan kekerasan aluminium tergantung unsur paduan yang digunakan (Surdia dan Saito, 1992). Berikut adalah jenis paduan yang digunakan untuk meningkatkan sifat-sifat yang dimiliki aluminium:

1. Tembaga untuk meningkatkan kekuatan dan kekerasan dari aluminium.

2. Magnesium untuk meningkatkan kekerasan dan ketahanan korosi dari aluminium.
3. Mangan untuk meningkatkan kekuatan aluminium.
4. Silikon untuk meningkatkan kemampuan cor dari aluminium.
5. Seng untuk meningkatkan kekuatan dan kekerasan dari aluminium.
6. Titanium untuk meningkatkan kekuatan dan elastisitas.

## 2.5 Pengujian Material

Pengujian material adalah metode untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik dari material. Pengujian material terbagi menjadi pengujian yang merusak (*destructive test*) dan pengujian yang tidak merusak (*non-destructive*). Untuk pengujian yang merusak adalah pengujian yang membuat spesimen uji menjadi rusak sehingga tidak dapat dipakai kembali. Contoh pengujian merusak adalah uji tarik, uji *bending*, uji lelah, uji kekerasan, uji dampak dan uji korosi. Untuk pengujian yang tidak merusak diantaranya ada uji *dye penetrant*, uji ultrasonik, pengamatan mikro dan pengamatan makro.

### 2.5.1 Pengujian Tarik

Pengujian tarik digunakan untuk mengetahui sifat mekanik dan sifat fisik dari material terutama untuk mengetahui kekuatan tarik dan keuletan dari material (Dieter, 1987). Pada pengujian tarik, material uji diberikan gaya aksial secara kontinu dan akan diamati penambahan panjang yang terbentuk. Hasil pengujian tarik didapat grafik tegangan-regangan seperti pada gambar 2-3. Persamaan tegangan sebagai berikut:

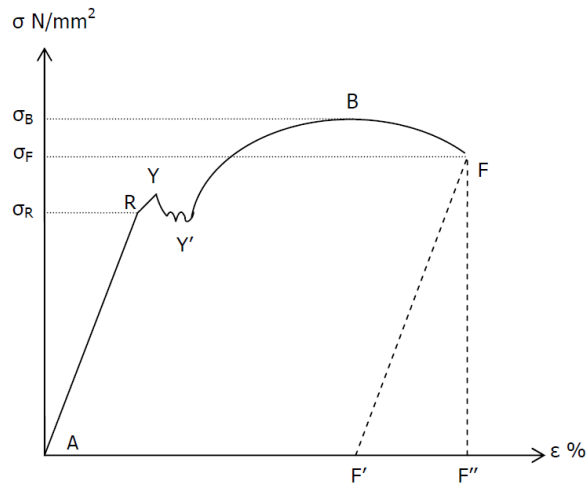
$$\sigma = P/A \quad (2.1)$$

Dimana:

$\sigma$  : Tegangan (N/m<sup>2</sup>)

P : Beban (N)

A : Luas penampang (m<sup>2</sup>)



**Gambar 2- 3 : Kurva Tegangan-Regangan**

Sumber : Suardia dan Saito, 1992

Dimana :

1. Y disebut titik luluh (yield point)
2. Y' disebut titik luluh bawah
3. Pada daerah YY' disebut daerah luluh
4. Titik B adalah tegangan tarik maksimum
5. Setelah titik B , beban mulai turun hingga patah pada titik F (Failure)
6. Titik R batas daerah elastis
7. Daerah A-R disebut daerah elastis

Regangan adalah. penambahan panjang material sebelum mengalami putus. Proses penambahan panjang material ketika diberi beban seperti yang terlihat pada gambar 2-4. Persamaan regangan sebagai berikut:

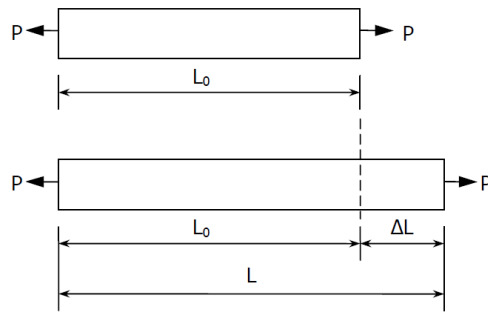
$$\varepsilon = \Delta L / L_0 = (L - L_0) / L_0 \quad (2.2)$$

Dimana:

$\varepsilon$  : Regangan

$\Delta L$  : Penambahan panjang

$L_0$  : Panjang awal



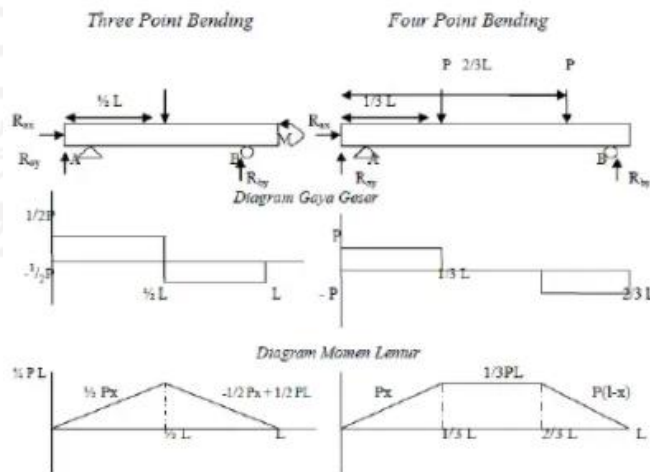
**Gambar 2- 4 : Proses Penambahan Panjang Material**

sumber : (Surdia dan Saito, 1992)

### 2.5.2 Pengujian *Bending*

Pengujian *bending* dilakukan untuk mengetahui kemampuan material saat menerima beban *bending*. Hasil yang didapat adalah besarnya nilai kekuatan lengkung dari spesimen. Pada pengujian *bending*, spesimen uji akan diberikan penekanan secara kontinu sampai spesimen mencapai titik lelah. (Nurharuddin, 2015).

Salah satu metode pengujian *bending* adalah *three point bending* dan *four point bending* seperti yang terlihat pada gambar 2-5 .



**Gambar 2- 5 : Metode Pengujian Bending**

Sumber : Nurharuddin, 2015

Persamaan tegangan bending dapat dihitung sebagai berikut :

$$s = (3 \times P \times L) / (2 \times b \times d^2) \quad (2.3)$$

Dimana :

$s$  = Tegangan normal (Mpa)

$P$  = Beban (N)

$L$  = Panjang(mm)

$b$  = Lebar (mm)

$d$  = Tebal (mm)

Persamaan perhitungan jarak antar titik tumpu sebagai berikut :

$$c = 2r + 3t \pm \frac{t}{2} \quad (2.4)$$

Dimana:

$c$  = jarak antara 2 titik tumpu

$r$  = jari-jari pembebanan

$t$  = tebal spesimen

$d$  = diameter spesimen

### 2.5.3 Pengujian Kekerasan Vickers *Microhardness*

Pengujian vickers ini menggunakan indenter berbentuk intan berupa piramida bujur sangkar dengan sudut  $136^\circ$ . Kemudian indenter akan ditekan pada permukaan spesimen uji dan setelah itu akan diukur diagonal yang terbentuk dari penekanan (Kumayasari dan Sultoni, 2017). Pengujian vickers *microhardness* dilakukan menggunakan alat khusus pengujian kekerasan mikro seperti pada gambar 2-6. Angka kekerasan vickers dapat dihitung dengan rumus :

$$HV = \{2F(\alpha/2)\} / d^2 = 1.854F / d^2 \quad (2.5)$$

Dimana :

$F$  = gaya tekan (Kg)

$d$  = diagonal tekan rata-rata (mm)

$\alpha$  = sudut puncak ( $136^\circ$ )





**Gambar 2- 6 : Alat uji Vickers *Microhardness***  
 Sumber : Kumayasari dan Sultoni, 2017

## 2.5.4 Pengujian Korosi

Korosi adalah sebuah reaksi kimia dari logam dengan lingkungan (Scully, 1975). Atau bisa disebut korosi adalah kerusakan logam yang disebabkan dari reaksi kimia atau elektrokimia dengan lingkungan (Schweitzer, 1987). Klasifikasi korosi terbagi menjadi dua, yaitu korosi logam dan non logam.

Laju korosi adalah keadaan dimana logam mengalami pengurangan berat persatuan luas dengan satuan mmpy (*millimeter per year*) (Munasir, 2009). nilai laju korosi dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$\text{corrosion rate (mmpy)} = (k \times w) / (D \times A \times T) \quad (2.6)$$

Dimana :

K = konstanta ( $8.76 \times 10^4$ )

W = massa yang hilang (g)

D = massa jenis sampe uji ( $\text{g/cm}^3$ )

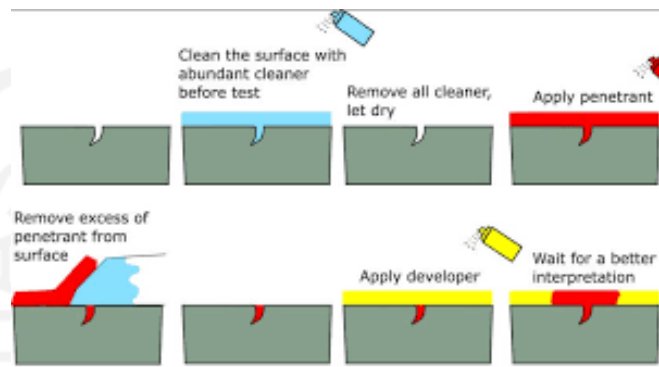
A = luas penampang ( $\text{cm}^2$ )

T = waktu pengujian (jam)

## 2.5.5 Pengujian Dye Penetrant

Pengujian *penetrant* adalah salah satu jenis pengujian *non-destructive test*. Pengujian ini bertujuan untuk melihat cacat pada permukaan material hasil las. Pengujian ini menggunakan prinsip kapilaritas. Metode pelaksanaan uji *penetrant* ini adalah permukaan hasil las dibersihkan terlebih dahulu dengan menggunakan

*cleaner*. Setelah itu cairan *penetrant* disemprotkan ke permukaan material hasil las. kemudian setelah didiamkan kurang lebih 10 menit, bagian permukaan yang sudah disemprot penetrant dibersihkan menggunakan *cleaner*. Setelah bersih, pada permukaan hasil las tersebut disemprot menggunakan *developer*, dan didiamkan selama kurang lebih 10 menit. Setelah kering, dapat dilihat apakah pada permukaan hasil las ada cacat las atau tidak (Achmadi,2020). Proses pengujian *dye penetrant* dapat dilihat pada gambar 2-7:



**Gambar 2- 7 : Proses Dye Penetrant**

Sumber : Achmadi,2020

## 2.6 Pengamatan Struktur Makro dan Mikro

Material logam akan mengalami perubahan struktur jika diberikan perlakuan fisik dan panas (Dieter, 1987). Sehingga perlu dilakukan pengamatan ulang struktur mikro dari material uji untuk mengetahui adanya perubahan struktur pada material uji.

Pengamatan struktur mikro menggunakan alat berupa mikroskop optik seperti pada gambar 2-8, *Scanning Electron Microscope* (SEM), atau *Transmission Elektron Mikroskop* (TEM). Untuk pengamatan makro dapat menggunakan kamera biasa dan mikroskop optik.



**Gambar 2- 8 : Mikroskop Optik**

Sumber : Dieter, 1987

### **2.6.1 Pengamatan struktur makro**

Pengamatan struktur makro dilakukan untuk mengetahui adanya retak pada sambungan bagian las. Sebelum dilakukan pengamatan struktur makro, material harus di etsa terlebih dahulu agar pengamatan dapat terlihat lebih jelas.

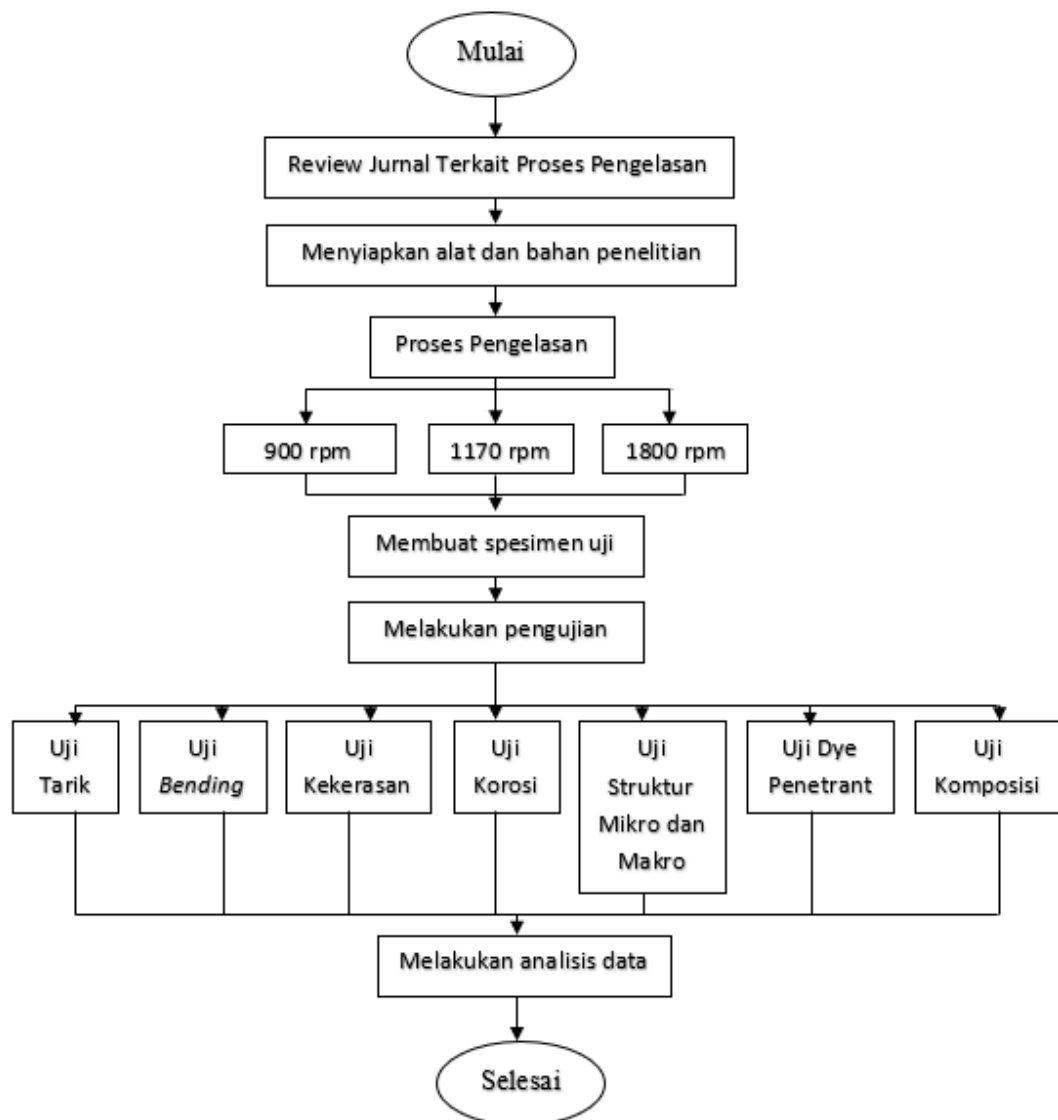
### **2.6.2 Pengamatan struktur mikro**

Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk melihat fase-fase yang terbentuk pada material las setelah dilakukannya pengelasan. Biasanya pada pengelasan, terdapat 3 fase yang terbentuk, yaitu fase daerah pengelasan, fase daerah HAZ dan fase *base metal*. Fase yang terbentuk berbeda, karena panas yang terbentuk dari pengelasan tidak merata yang disebabkan oleh material yang berbeda dan suhu lingkungan.

## BAB 3 METODE PENELITIAN

### 3.1 Alur Penelitian

Berikut adalah diagram alur untuk penelitian penyambungan logam dissimilar dengan metode RFW :



Gambar 3- 1 : Alur Proses Pelaksanaan Penelitian

## 3.2 Peralatan dan Bahan

Berikut adalah daftar alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian :

**Tabel 3- 1 : Nama Alat**

No.	Nama Alat	Fungsi
1	Mesin Bubut	Untuk menyambungkan 2 logam yang berbeda dengan metode RFW
2	Jangka Sorong	Untuk melakukan pengukuran yang dilakukan
3	Gerinda	Untuk melakukan pemotongan spesimen uji
4	Laptop	Untuk melakukan pengolahan data
5	<i>Tachometer</i>	Untuk mengukur kecepatan putar <i>spindle</i>
6	<i>Thermo Gun</i>	Untuk mengukur suhu saat pengelasan
7	<i>Mesin Gripo 2M</i>	Untuk mengamplas spesimen sebelum dilakukan pengamatan makro dan mikro
8	<i>Mikroskop SEM</i>	Untuk melakukan pengujian pengamatan makro dan mikro
9	<i>Mesin UTM Hidrolik</i>	Untuk melakukan pengujian tarik dan <i>bending</i>

**Tabel 3- 2 : Nama Bahan**

No.	Nama Bahan
1	<i>AISI 1012</i>
2	Aluminium T-6061
3	Resin
4	Air laut
5	Autosol
6	<i>Cleaner</i>
7	<i>Developer</i>
8	<i>Penetrant</i>
9	Cairan etsa HNO <sub>3</sub> dan NaOH 50%

## 3.3 Proses Pembuatan Spesimen

### 3.3.1 Pemotongan Spesimen

Spesimen yang digunakan adalah Baja dan Aluminium. Untuk spesifikasi bahan Baja setiap spesimen dengan panjang 100 mm dan diameter 16 mm. Untuk aluminium dengan panjang setiap spesimennya 100 mm dan diameter 16 mm. Pada saat proses pemotongan kami menggunakan mesin gerinda potong seperti pada gambar 3.2.



**Gambar 3- 2 : Gerinda Potong**

Sumber : Laboratorium Proses Produksi Teknik Mesin UII

### **3.3.2 Proses Penyambungan**

Proses penyambungan dilakukan dengan metode pengelasan RFW menggunakan mesin bubut. Mesin bubut yang digunakan adalah mesin bubut laboratorium proses produksi teknik mesin Universitas Islam Indonesia. Setelah setiap material dipotong dengan panjang masing 100 mm dilakukan proses *facing*. Proses *facing* bertujuan untuk meratakan permukaan sambungan agar gesekan yang terbentuk lebih merata. Hasil proses *facing* seperti gambar 3-3 berikut,



**Gambar 3- 3 : Hasil Proses Facing**

Setelah proses *Facing* material di letakkan di mesin bubut. Material Aluminium di *spindle* putar dan material baja di *arbor* seperti pada gambar 3-4.



**Gambar 3- 4 : Proses Penyambungan Material**

Sumber : Laboratorium Proses Produksi Teknik Mesin UII

Pada proses penyambungan ini, penyambungan dilakukan dengan variasi kecepatan. Kecepatan yang digunakan adalah 900 rpm, 1170 rpm dan 1800 rpm. Pemilihan variasi kecepatan ini adalah dengan asumsi kecepatan 900 rpm adalah kecepatan rendah, kecepatan 1170 rpm adalah kecepatan sedang dan 1800 rpm adalah kecepatan tinggi. Parameter lain yang digunakan pada penyambungan ini adalah dengan *burn out* 3mm+2mm dan waktu penyambungan 60 s. Setelah proses penyambungan, spesimen uji dilepas dari mesin bubut dan di diamkan lalu di cek. Jika hasil tidak baik, seperti tidak *center*, maka akan dilakukan penyambungan ulang. Spesimen uji yang dibuat setiap variasi adalah sebanyak delapan buah, yaitu 2 untuk uji tarik, 2 untuk uji *bending*, 1 untuk uji kekerasan, 1 untuk uji komposisi, 1 untuk pengamatan makro dan mikro dan 1 untuk uji korosi.

### **3.4 Proses Pengujian**

#### **3.4.1 Pengujian Komposisi Kimia**

Proses pengujian komposisi dilakukan di CV. Karya Hidup Sentosa menggunakan alat *Spectro Meter* model 3560 ARL *Optical Emission* seperti pada gambar 3-5. Spesimen uji yang dibuat dengan besar penampang 20 mm x 20 mm.

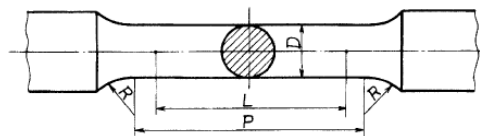


**Gambar 3- 5 : ARL Optical Emission**

Sumber : Laboratorium CV. Karya Hidup Sentosa

### 3.4.2 Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik dari spesimen uji. Standar yang digunakan pada pengujian tarik adalah JIS Z2201. Sebelum dilakukan pengujian, hasil sambungan pengelasan *dissimilar* Aluminium dengan baja dibubut kembali sesuai dengan geometri standar JIS Z2201 seperti gambar 3-5 . Spesimen uji yang digunakan untuk pengujian tarik adalah dua buah untuk setiap variasi.



Unit : mm

Diameter $D$	Gauge length $L$	Parallel length $P$	Radius of fillet $R$
14	50	60 approx.	15 min.

**Gambar 3- 6 : Geometri Standar JIS Z2201**

Setelah spesimen uji sudah selesai, maka spesimen sudah siap untuk diuji tarik. Pengujian tarik dilakukan di laboratorium Teknik Mesin UGM dengan menggunakan mesin UTM Hidrolik seperti pada gambar 3-7.

Sebelum material diletakkan pada mesin uji, diameter pada bagian sambungan diukur terlebih dahulu. Kemudian dari titik sambungan ke arah luar akan diberi tanda sebesar 25 mm. setelah itu spesimen diletakkan pada alat uji. Pada saat pengujian, spesimen uji akan diberikan beban aksial secara kontinu hingga spesimen patah. Pada mesin alat uji akan terlihat  $P_{max}$  dari material uji.



Setelah patah, perpanjangan material akan diukur dan dimasukkan ke tabel analisis. Nilai tegangan dan regangan material akan dapat dilihat dari tabel analisis hasil uji tarik. Hasil dari pengujian ini juga didapatkan grafik tegangan-regangan.

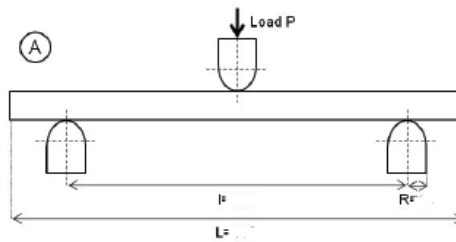


**Gambar 3- 7 : Alat Uji Tarik dan Uji Bending**

Sumber : Laboratorium Bahan Teknik Mesin UGM

### **3.4.3 Pengujian *Bending***

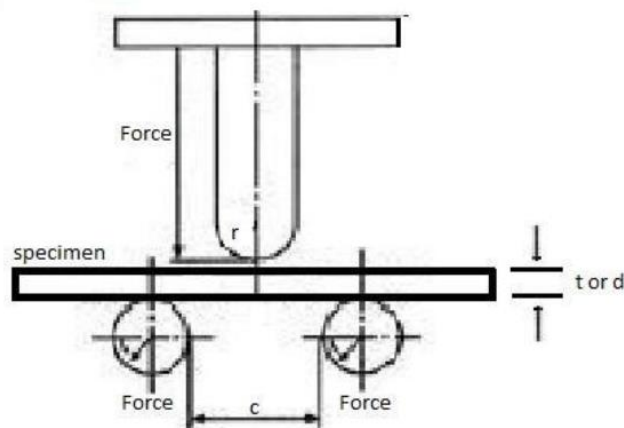
Pengujian *bending* dilakukan untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik dari spesimen uji. Sebelum dilakukan pengujian, hasil penyambungan dilakukan proses *finishing* untuk membersihkan daerah sambungan. Karena pada daerah sambungan diameter spesimen melebar, sehingga perlu dibersihkan agar diameter spesimen menjadi 16 mm seperti diameter material awal. Metode yang digunakan pada pengujian *bending* ini adalah *Three Point Bending* seperti yang terlihat pada gambar 3-8. Spesimen uji yang digunakan untuk pengujian *bending* adalah sebanyak dua spesimen setiap variasi.



**Gambar 3- 8 : Metode Three Point Bending**

Sumber : (Ricardo and Brancheriau., 2018)

Untuk pengukuran jarak antar tumpuan yang digunakan adalah standar ASTM E290 seperti pada gambar 3-9. perhitungan menggunakan persamaan (2.4) sebagai berikut:



**Gambar 3- 9 : Standart ASTM E290**

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

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

$$c = 68 \pm 8$$

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

Jadi jarak antar titik tumpu yang digunakan pada penelitian ini adalah 76mm. Dengan diameter pembebanan sebesar 20mm.

### 3.4.4 Pengujian Kekerasan *Vickers Microhardness*

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan dari spesimen uji. Uji kekerasan *vickers microhardness* dilakukan menggunakan alat mikroskop MHV M3 *Japan* seperti pada gambar 3-10. Spesifikasi untuk pengujian

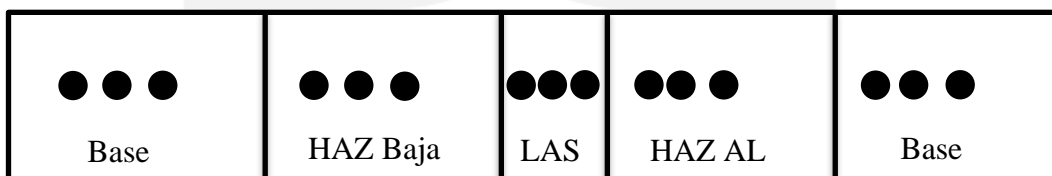
kekerasan adalah 3 titik untuk setiap daerah pengelasan terlihat seperti gambar 3-11. Dengan jarak antar titik uji adalah 0.01 mm dan pembebanan sebesar 200 kgf. Spesimen pengujian kekerasan ini menggunakan masing-masing spesimen setiap variasi sebanyak 1 buah dan ditambah sambungan baja dan aluminium masing-masing satu buah.



**Gambar 3- 10 : Mikroskop MHV M3 Japan**

Sumber : Laboratorium Bahan Teknik UGM

Sebelum dilakukan proses pengujian, spesimen uji dipotong menjadi dua sehingga terlihat bagian dalam sambungan. Setelah itu diberi resin yang berfungsi sebagai dudukan agar spesimen uji tidak goyang ketika dilakukan penekanan. Setelah diberi resin, permukaan spesimen uji di haluskan menggunakan amplas dengan kekasaran 100, 280, 600, 800 dan 1000.



**Gambar 3- 11 : Daerah Penekanan Uji Kekerasan**

### 3.4.5 Pengujian korosi

Pengujian korosi adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui ketahanan material saat menerima reaksi kimia dari lingkungan. Spesimen yang digunakan adalah baja, aluminium dan sambungan *dissimilar*. Pengujian korosi ini dilakukan selama 40 hari yang setiap 10 hari spesimen uji akan ditimbang beratnya untuk mengetahui perubahan berat yang terjadi. Air laut yang digunakan pada

pengujian korosi adalah dari pantai Junwok, Gunung Kidul, Yogyakarta. Setelah data perubahan berat didapat, setelah itu akan dihitung laju korosi dengan satuan *millimeter per year(mmpy)* dengan menggunakan persamaan laju korosi.

### 3.4.6 Pengamatan Struktur Mikro dan Makro

Sebelum dilakukan pengamatan mikro dan makro, spesimen uji akan di potong menjadi dua secara vertikal agar bagian sambungan terlihat jelas. Setelah itu akan diberi dudukan dengan resin agar spesimen uji tidak goyang ketika dilakukan pengamatan. Setelah itu di amplas hingga halus dengan menggunakan amplas kekasaran 100, 280, 600, 800 dan 1000. Proses pengamplasan ini dilakukan dengan menggunakan mesin Grippo 2M seperti pada gambar 3-12.



**Gambar 3- 12 : Mesin Grippo 2M**

Sumber : Laboratorium Teknik Mesin UGM

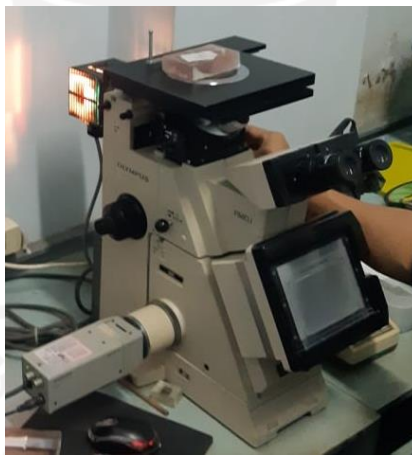
Setelah halus akan di *polishing* menggunakan autosol agar permukaan mengkilap seperti pada gambar 3-13. Untuk pengamatan mikro, akan diberikan etsa, cairan etsa Cairan Etsa  $\text{HNO}_3$  untuk aluminium dan  $\text{NaOH}$  50% untuk baja. Setelah itu akan dilakukan pengamatan mikro menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 200x dan pengamatan makro dengan perbesaran 20x. Seperti pada gambar 3-14.

Spesimen uji untuk pengamatan makro dan mikro menggunakan spesimen uji masing-masing satu buah untuk setiap variasi ditambah dengan spesimen sambungan baja dan sambungan aluminium sebagai pembanding.



**Gambar 3- 13 : Proses Autosol**

Sumber : Laboratorium Teknik Mesin UGM



**Gambar 3- 14 : Mikroskop Optik**

Sumber : Laboratorium Bahan Teknik UGM

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil dan Analisis Pengujian

Pada penelitian ini dilakukan beberapa jenis penelitian, pengujian spesimen dilakukan untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik dari material hasil pengujian, penelitian yang dilakukan sebagai berikut:

##### 4.1.1 Hasil Pengelasan

Setelah proses penyambungan, hasil penyambungan dapat dilihat pada gambar 4-1 berikut:



**Gambar 4- 1 : Hasil Pegelasan A Variasi 900 rpm, B. Variasi 1170 rpm, C. Variasi 1800 rpm**

Namun ketika proses penyambungan, kecepatan putar aktual spindle diukur menggunakan tachometer dan didapatkan kecepatan putar spindle aktual adalah sebesar 893,6 rpm, 1175 rpm dan 1783 rpm. Suhu setiap penyambungan diukur menggunakan *thermogun* dan dapat dilihat seperti tabel 4-1 berikut:

**Tabel 4- 1 : Suhu Saat Penyambungan**

900 rpm	Suhu (°C)	1170 rpm	Suhu (°C)	1800 rpm	Suhu (°C)	Sambungan Baja	Suhu (°C)	Sambungan Aluminium	Suhu (°C)
1	193,3	1	220,0	1	269,5	1	643,3	1	212,8
2	200,0	2	262,4	2	265,9	2	512,0	2	206,0
3	170,0	3	217,0	3	309,6	3	467,0	3	202,7
4	210,0	4	240,6	4	283,7	4	559,0	4	198,2
5	203,0	5	239,3	5	268,3				
6	215,0	6	241,8	6	244,4				
7	155,0	7	236,3	7	296,9				
8	175,5	8	204,8	8	265,1				
	190,2		232,8		275,4		545,3		204,9

Dari tabel 4-1 tersebut dapat dilihat bahwa suhu pada saat penyambungan masih dalam keadaan *solid state* yaitu berada 60-80% dari titik leleh material. Titik leleh baja 1480 - 1526 °C dan aluminium 582-652 °C. Seperti yang dilihat pada tabel 4-1 untuk variasi kecepatan putar 900 RPM, 1170 RPM, 1800 RPM, sambungan baja dan sambungan aluminium memiliki rata-rata suhu sebesar 65-70% dari titik leleh. Untuk sambungan *dissimilar* dapat dilihat memiliki suhu rata-rata sekitar 200°C hal ini dikarenakan pada material *dissimilar* ini aluminium memiliki sifat yang lebih lunak dan memiliki titik leleh lebih rendah dibandingkan baja.

#### 4.1.2 Uji Komposisi Kimia

##### A. Aluminium

Aluminium yang kami gunakan pada penelitian ini mengandung unsur seperti pada tabel 4-2 setelah dilakukan pengujian komposisi kimia.

**Tabel 4- 2 : Hasil Uji Komposisi Aluminium**

Unsur	%
Si	0.50
Fe	0.3602
Cu	0.211
Mn	0.244
Mg	0.1904
Zn	0.0686
Ti	0.0348
Cr	0.0897
Ni	0.0012
Pb	0.0013
Sn	0.0002
Al	98.51

Berdasarkan komposisi tersebut, dapat diketahui jenis dari aluminium ini adalah aluminium T-6061. Aluminium ini termasuk pada kategori aluminium seri 6xxx. Aluminium ini memiliki kelebihan memiliki ketahanan korosi yang tinggi. Hal ini dikarenakan pada permukaan aluminium ini sangat reaktif, menyebabkan ketika permukaan terkelupas maka akan terbentuk lapisan baru. Aluminium jenis ini banyak digunakan di industri karena mudah dibentuk, ringan dan mudah didapat. Aluminium jenis ini juga tergolong dalam aluminium yang *heat treatable*. Sehingga aluminium ini juga dapat diperkeras dengan perlakuan panas sekitar



121°C-204°C setelah pengerjaan. Aplikasi dari aluminium ini adalah pembuatan part otomotif.

## B. Baja

Baja yang kami gunakan pada penelitian ini mengandung unsur seperti pada tabel 4-3 setelah dilakukan pengujian komposisi kima.

**Tabel 4- 3 : Hasil Uji Komposisi Baja**

Unsur	%
C	0.1057
Si	0.1161
S	0.0062
P	0.0093
Mn	0.4207
Ni	0.0135
Cr	0.0059
Mo	0.0012
Cu	0.0072
W	0.0000
Ti	0.0004
Sn	0.0015
Al	0.0056
Pb	0.0000
Ca	0.0002
Zn	0.0000
Fe	99.81

Berdasarkan komposisi tersebut, dapat diketahui jenis dari baja ini adalah baja AISI 1012. Material ini dapat di lakukan proses permesinan dan mudah dibentuk, mampu las dan ulet. Material ini juga dapat dikeraskan dengan pengerasan permukaan. Aplikasi dari material ini adalah pada baja kontruksi umum, rangka kendaraan dan pipa. Secara umum, baja karbon memiliki kemampuan las yang baik jika memiliki nilai  $C_{ek} < 0,4-0,5$ . Berikut adalah proses perhitungan untuk mengetahui nilai  $C_{ek}$

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

$$C_{ek} = 0,1057 + \frac{0,4207}{6} + \frac{0,0072 + 0,0135}{15} + \frac{0,0059 + 0,0012 + 0}{5}$$

$$C_{ek} = 0,1057 + 0,0701 + 0,0014 + 0,0014$$

$$C_{ek} = 0,1786$$



Berdasarkan perhitungan tersebut dapat dilihat bahwa nilai  $C_{ek} < 0,4-0,5$ . Jadi material baja yang digunakan termasuk kategori mampu las.

### 4.1.3 Pengujian *Dye Penetrant*

Pengujian *Dye Penetrant* dilakukan untuk melihat adanya cacat pada permukaan sambungan las. Pengujian ini dilakukan pada seluruh spesimen pada tiap variasi yaitu 900 rpm, 1170 rpm dan 1800 rpm. Hasil pengujian *dye penetrant* terlihat seperti pada gambar 4-2.

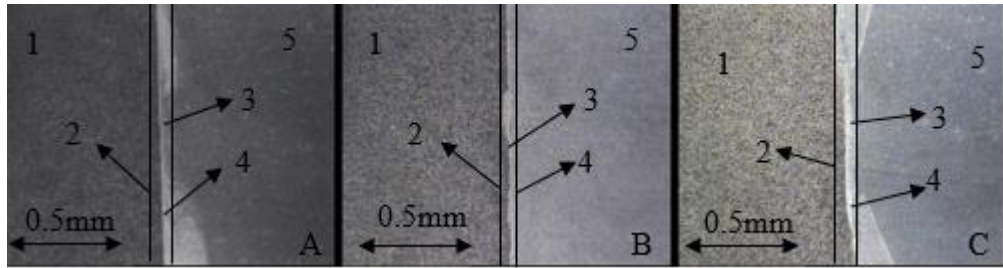


Gambar 4- 2 : Hasil Pengujian *Dye Penetrant* (A) 900 rpm, (B) 1170 rpm, (C) 1800 rpm

Pada hasil pengujian *dye penetrant* ini dapat dilihat bahwa seluruh spesimen mengalami cacat. Dapat dilihat dari cairan merah yang tampak pada bagian sambungan las. Hal ini mungkin disebabkan dari *flush* penyambungan yang tidak dibersihkan sehingga pada hasil pengujian *dye penetrant* banyak terlihat cairan merah. Cairan penetrant tersebut menunjukkan adanya rongga yang terbentuk pada bagian *flush* sambungan.

### 4.1.4 Pengamatan Struktur Makro dan Mikro

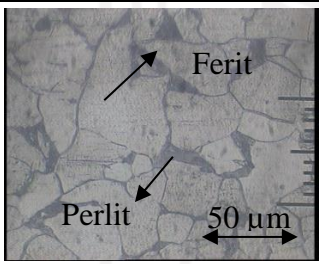
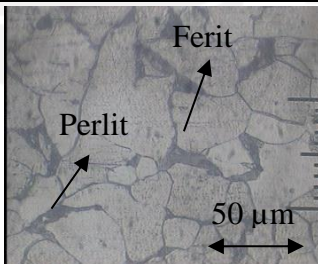
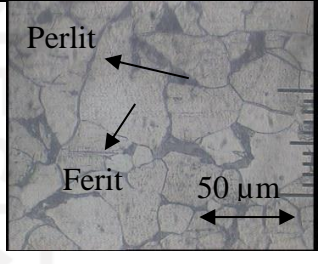
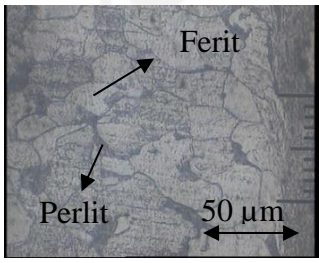
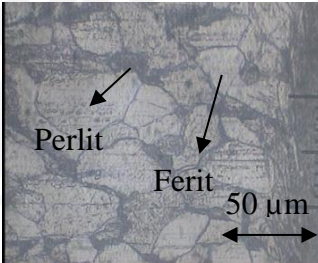
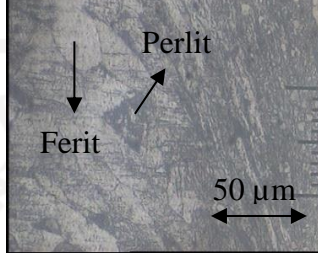
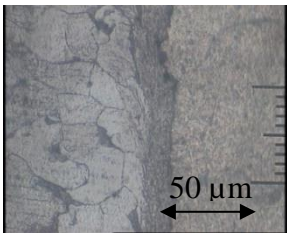
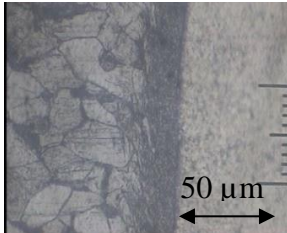
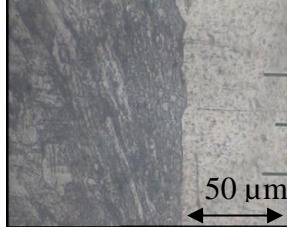
Pada pengamatan makro, spesimen diamati menggunakan mikroskop dengan perbesaran 20x. Pengamatan makro ini dilakukan untuk mengetahui bagian sambungan pada material uji sudah tersambung dengan baik atau tidak. Pada pengamatan makro ini, setiap variasi spesimen uji diambil sampel 1 buah. Hasil dari pengamatan makro ini terlihat seperti pada gambar 4-3

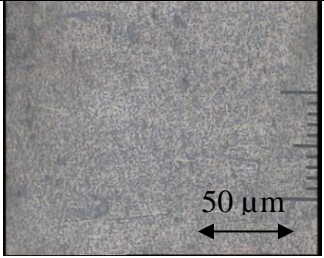
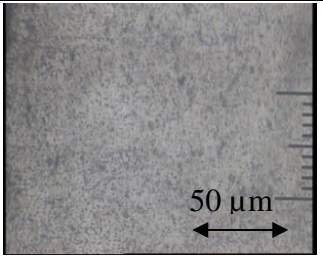
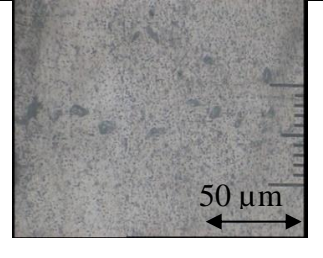
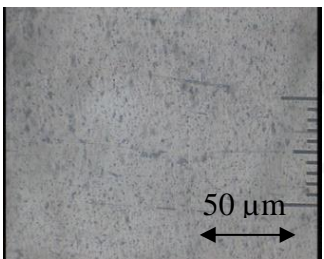
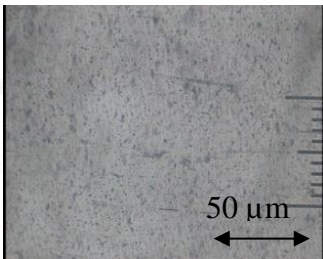
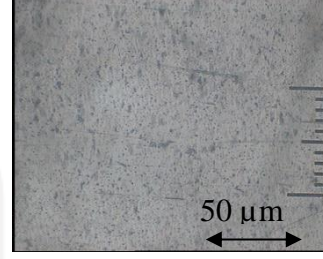


**Gambar 4- 3 : Struktur Makro Variasi A) 900 rpm, B) 1170 rpm, C) 1800 rpm**

Berdasarkan gambar 4-3, dapat dilihat bahwa tidak ada cacat pada bagian sambungan material. Sambungan material menghasilkan beberapa zona. Zona yang terbentuk adalah: 1 merupakan logam induk baja, 2 merupakan HAZ Baja, 3 merupakan daerah sambungan, 4 merupakan HAZ Aluminium dan 5 merupakan Logam induk aluminium. Berdasarkan zona tersebut diamati struktur mikro dari material, yang terlihat seperti Tabel 4-4 berikut:

**Tabel 4- 4 : Hasil Pengamatan Struktur Mikro**

	900 rpm	1170 rpm	1800 rpm
Induk Baja			
HAZ Baja			
LAS			

	900 rpm	1170 rpm	1800 rpm
HAZ Al			
Induk Al			

Dari table 4-4 dapat dilihat bahwa pada variasi kecepatan 900 rpm, garis LAS pada daerah sambungan struktur material tidak terlalu rapat. Pada bagian baja dan aluminium struktur menjadi lebih rapat pada daerah HAZ dibanding dengan bagian logam induk. Pada bagian struktur mikro bagian ferit menjadi lebih kecil dan perlit terbentuk menjadi lebih banyak.

Pada variasi kecepatan 1170 rpm, garis LAS dapat dilihat, struktur material menjadi sangat rapat pada bagian sambungan. Untuk struktur pada daerah HAZ, pada variasi ini perlit lebih banyak dibanding variasi 900 rpm.

Pada variasi kecepatan 1800 rpm, garis LAS yang terbentuk menjadi sangat lebar pada bagian sambungan.. Struktur perlit pada variasi 1800 rpm menjadi sangat banyak dan rapat. Hal ini mungkin disebabkan dari perbedaan kecepatan putar yang menyebabkan cepatnya panas yang terbentuk berbeda.

Hasil yang didapat dari pengamatan makro, dapat dilihat bahwa hasil sambungan cukup baik karena tidak ada cacat pada sambungan. Akan tetapi pada pengamatan mikro dapat dilihat menghasilkan daerah LAS yang berbeda-beda. Hal ini mungkin disebabkan oleh perbedaan variasi kecepatan yang semakin cepat sehingga membuat perbedaan kecepatan suhu yang terbentuk selama proses sambungan. Dari pengamatan mikro dapat dilihat pada variasi kecepatan 1800 rpm

memiliki zona daerah LAS yang sangat lebar dibanding sambungan lainnya. Pada variasi kecepatan 900 rpm daerah LAS terbentuk, tetapi struktur tidak terlalu rapat.

Kecepatan proses pendinginan mempengaruhi terbentuknya struktur mikro dari material. Untuk proses pendinginan rendah ferit yang terbentuk adalah ferit batas butir dengan *austenite* kearah dalam. Untuk proses pendinginan sedang ferit yang terbentuk adalah ferit *widmanstatten* yang tumbuh dari batas butir dan terbentuk pada suhu 750°C-650°C ditambah ferit *acicular* yang terbentuk pada suhu 600°C-650°C. Jika proses pendinginan tinggi *aussenit* sulit terdifusi sehingga terbentuk bainit yang terbentuk pada suhu 500°C-400°C. Dan jika proses pendinginan sangat tinggi, *austenite* tidak bisa terdifusi dan terbentuk martensit dengan karakteristik keras dan getas.

#### 4.1.5 Uji Tarik

Proses pengujian Tarik dilakukan menggunakan mesin ATM Hidrolik. Hasil yang didapatkan adalah nilai  $P_{max}$  dan  $\Delta L$  dari setiap spesimen uji. Grafik tegangan-regangan dan tabel hasil pengujian dapat dilihat pada lampiran.

Berikut adalah salah satu perhitungan untuk nilai tegangan dan regangan dengan menggunakan persamaan (2.1) untuk nilai tegangan dan (2.2) untuk nilai regangan.

- variasi<sub>1</sub> 1800 rpm

Dengan diameter 14,20 mm dan  $P_{max}$  : 11,47 KN

Untuk nilai tegangan:

$$\begin{aligned}\sigma &= P/A = (11,47 \times 10^3)/(3,14 \times 0,25 \times (14,20)^2) \\ &= (11,47 \times 10^3)/(158,29 \times 10^{-6}) = 72,46 \text{ MPa}\end{aligned}$$

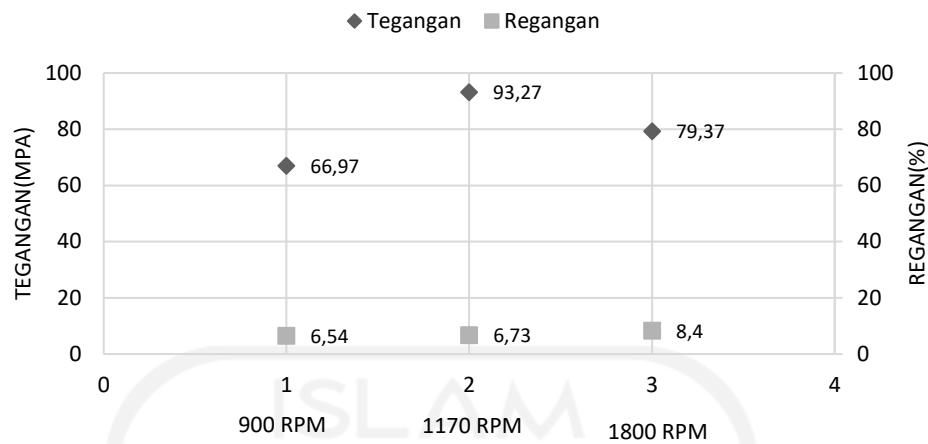
Untuk nilai regangan:

$$\varepsilon = \Delta L/L_0 = 4,10/50 \times 100\% = 8,2 \%$$

Dari hasil perhitungan tersebut didapat grafik perbandingan setiap variasi yang dibuat. Hasil Pengujian Tarik dapat dilihat pada gambar 4-4



## TEGANGAN-REGANGAN



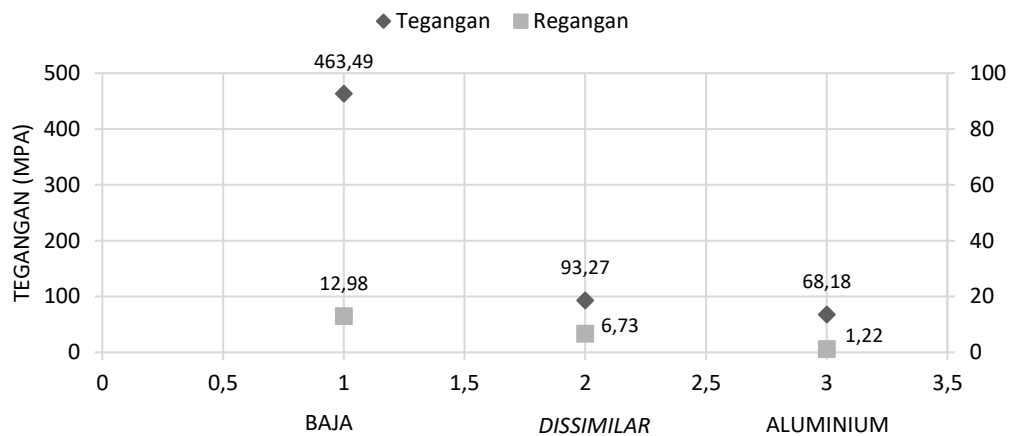
**Gambar 4- 4 : Hasil Pengujian Tarik**

Dari hasil perbandingan tersebut dapat dilihat bahwa tegangan tarik tertinggi terdapat pada variasi kecepatan 1170 rpm sebesar 93,27 MPa dan yang terendah adalah pada variasi kecepatan 900 rpm yaitu sebesar 66,97 MPa. Hasil perbandingan rata-rata regangan, didapatkan nilai regangan tertinggi terdapat pada variasi kecepatan 1800 rpm dan yang terendah pada 900 rpm. Pada hasil perbandingan ini dilihat bahwa nilai tegangan dan regangan yang terbentuk untuk setiap variasi berbeda-beda. Hal ini mungkin dikarenakan perbedaan kecepatan pada saat penyambungan menyebabkan nilai kekuatan dan regangan material beragam akibat suhu penyambungan yang terbentuk berbeda disetiap variasi. Pada variasi 900 rpm suhu yang terbentuk lambat dan rendah, variasi 1170 rpm cepat dan suhu 1800 rpm sangat cepat dan tinggi.

Pada perbandingan ini dapat dilihat bahwa variasi kecepatan 1170 rpm memiliki tegangan maksimal yang tinggi dibanding variasi lainnya yaitu sebesar 93,27 MPa. Akan tetapi memiliki regangan yang lebih kecil dibanding dengan variasi kecepatan 1800 rpm yaitu sebesar 9,73%. Variasi kecepatan 1170 rpm memiliki kekuatan tarik yang tinggi disebabkan oleh panas yang terbentuk meningkat secara perlahan dan panas yang terbentuk merata pada semua bagian material sehingga kekuatan sambungan berada pada posisi maksimum.

Pada penelitian ini juga diuji sambungan material *similar* baja dan aluminium. Didapatkan hasil tegangan-regangan seperti pada gambar 4-5.

## PERBANDINGAN MATERIAL DISSIMILAR DAN SIMILAR



**Gambar 4- 5 : Hasil Pengujian Tarik Material *Similar* dan *Dissimilar***

Dari hasil perbandingan material similar baja dan aluminium pada kecepatan putar sambungan 1170 rpm dengan material dissimilar variasi kecepatan 1170 rpm dapat dilihat bahwa material sambungan mengalami peningkatan kekuatan tarik dan regangan.

**Tabel 4- 5 : Standar Deviasi Uji Tarik**

No.	Spesimen	Diameter (mm)	Pmax (KN)	$\Delta L$ (mm)	Tegangan (MPa)	Regangan (%)	Standar Deviasi
1	900	13,97	7,62	3,43	49,74	6,86	17,23
2	900	13,90	12,77	3,11	84,20	6,22	
3	1170	14,17	17,33	3,67	109,95	7,34	16,68
4	1170	13,92	11,65	3,06	76,59	6,12	
5	1800	14,20	11,47	3,13	72,46	6,26	6,91
6	1800	13,95	13,18	4,30	86,28	8,6	

Tabel 4-3 tersebut adalah data dari grafik hasil pengujian uji tarik. Dari tabel tersebut dihitung nilai standar deviasi dari pengujian untuk melihat keakuratan data rata-rata dari setiap variasi pada grafik. Perhitungan standar deviasi dilakukan menggunakan Microsoft excel. Dapat dilihat untuk variasi kecepatan putar 900 rpm memiliki nilai standar deviasi 17,23, kecepatan putar 1170 rpm memiliki nilai standar deviasi 16,68 dan untuk variasi kecepatan putar 1800 rpm memiliki nilai standar deviasi 6,91. Berdasarkan nilai standar deviasi tersebut, untuk variasi kecepatan putar 900 dan 1170 rpm memiliki nilai yang

besar, karena simpangan antara data 1 dan data 2 berbeda cukup jauh. Sedangkan variasi kecepatan putar 1800 rpm memiliki standar deviasi sebesar 6,91, karena simpangan antara data 1 dengan data 2 tidak terlalu besar.

#### 4.1.6 Uji Bending

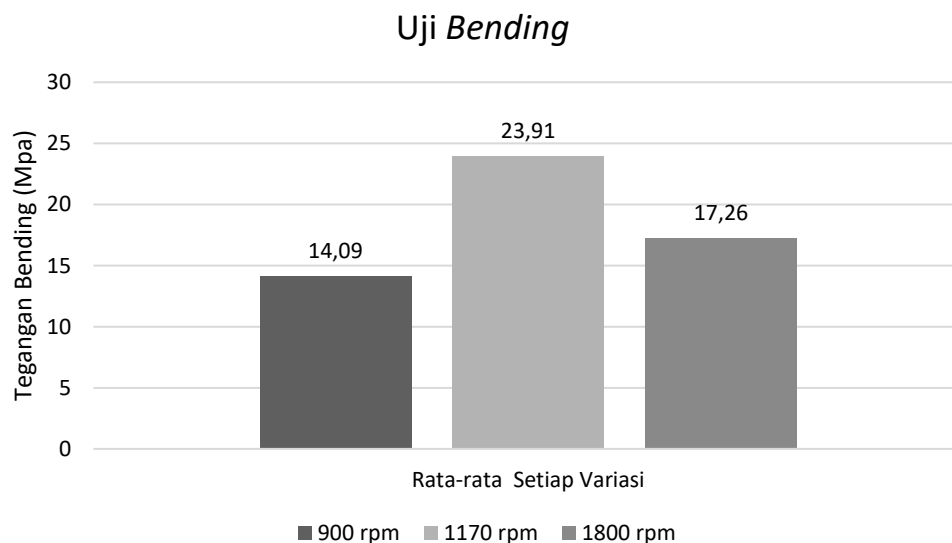
Pengujian *bending* dilakukan menggunakan mesin UTM Hidrolik. Spesimen uji ditekan secara kontinu hingga mencapai  $P_{max}$  yang dapat dilihat pada mesin uji. Hasil pengujian *bending* dapat dilihat pada lampiran

Setelah nilai  $P_{max}$  didapatkan, dapat dihitung tegangan *bending* dari spesimen uji menggunakan persamaan (2.3)

Pada variasi kecepatan 1800 rpm dengan  $d=16,80$  mm dan  $P_{max} : 0,68$  KN

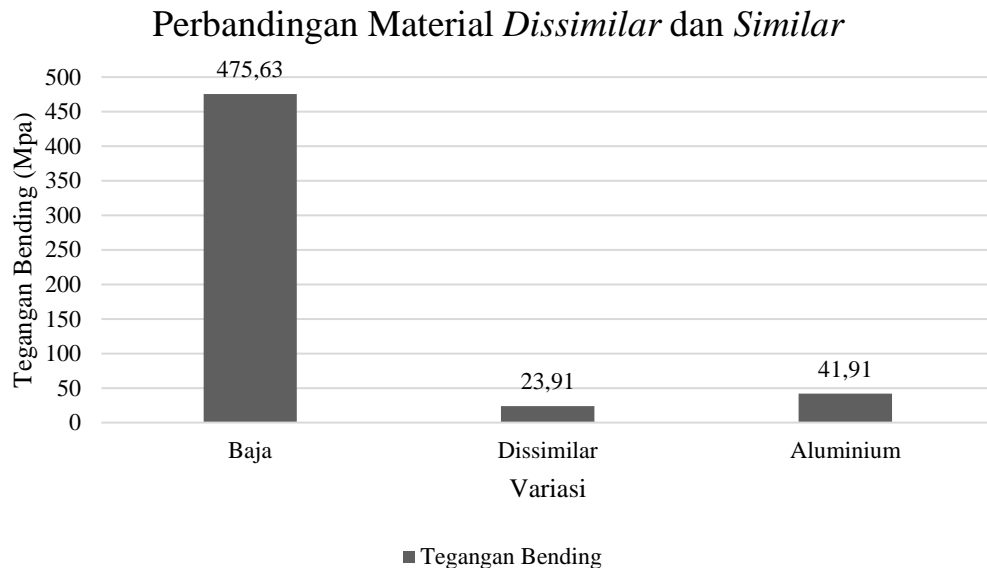
$$\begin{aligned}
 S &= (3 \times P \times L) / (2 \times b \times d^2) \\
 &= (3 \times 0,68 \times 10^3 \times 75 \times 10^{(-3)}) \\
 &\quad / (2 \times 16,80 \times [16,80]^2 \times 10^{(-9)}) \\
 &= 153 / (9,483 \times 10^{(-6)}) = 16,13 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan tersebut didapat grafik perbandingan setiap variasi yang dibuat. Grafik perbandingan tegangan *bending* dapat dilihat pada gambar 4-6



**Gambar 4- 6 : Grafik Pengujian Bending**

Dari hasil perbandingan rata-rata tegangan *bending*, didapatkan bahwa variasi kecepatan 1170 rpm memiliki tegangan bending yang lebih tinggi dibanding variasi lainnya yaitu sebesar 23,91 MPa dan yang paling rendah adalah variasi 900 rpm dengan nilai 14,09 MPa. Hasil pengujian *bending* material *similar* dan *dissimilar* sebagai perbandingan dapat dilihat pada gambar 4-8



**Gambar 4- 7 : Hasil Pengujian *Bending* Material *Similar***

Dari grafik diatas, penyambungan material *similar* adalah dengan menggunakan kecepatan 1170 rpm. Material *similar* dibandingkan dengan material *dissimilar* dengan variasi kecepatan 1170 rpm dan didapatkan grafik perbandingan antara sambungan *similar* dan *dissimilar* dapat dilihat bahwa sambungan *dissimilar* memiliki tegangan bending lebih rendah dibanding sambungan material *similar*. Sambungan *similar* baja memiliki tegangan *bending* sebesar 475,63 MPa, sambungan *similar* aluminium memiliki tegangan *bending* sebesar 41,91 MPa sedangkan sambungan *dissimilar* antara aluminium dan baja memiliki tegangan *bending* sebesar 23,91 MPa. Dapat dilihat bahwa sambungan material *dissimilar* tidak cocok menerima beban *bending*.



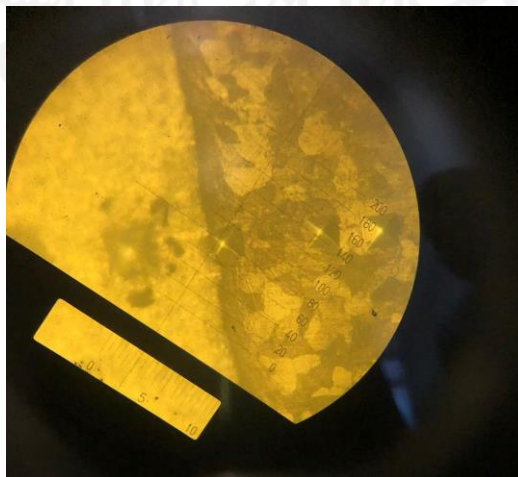
Tabel 4- 6 : Standar Deviasi Uji *Bending*

No.	Spesimen	Diameter (mm)	Pmax (KN)	Tegangan Bending (MPa)	Standar Deviasi
1	900	15,86	0,54	15,23	1,14
2	900	16,53	0,52	12,95	
3	1170	16,29	0,90	23,42	0,49
4	1170	16,70	1,01	24,40	
5	1800	16,24	0,70	18,39	1,13
6	1800	16,80	0,68	16,13	

Tabel 4-4 tersebut adalah data dari grafik hasil pengujian uji *bending*. Dari tabel tersebut dihitung nilai standar deviasi dari pengujian untuk melihat keakuratan data rata-rata dari setiap variasi pada grafik. Perhitungan standar deviasi dilakukan menggunakan Microsoft excel. Dapat dilihat, untuk setiap variasi kecepatan putar memiliki nilai standar deviasi yang cukup kecil. Hal ini disebabkan simpangan antara data 1 dengan data 2 tidak terlalu besar untuk setiap variasinya.

#### 4.1.7 Uji Kekerasan *Vickers Microhardness*

Pengujian kekerasan *Vickers Microhardness* ini menggunakan mesin MHV M3 *Japan* Pengujian kekerasan dilakukan di setiap zona yang terbentuk, yaitu zona logam induk, zona HAZ dan zona las pada material sambungan. Setiap zona diuji tiga titik dengan beban 200 kgf. Jarak penekanan antar titik adalah sebesar 0,1 mm, contoh pembebanan dapat dilihat pada gambar 4-8. Hasil pengujian kekerasan *Vickers Microhardness* dapat dilihat pada lampiran.



Gambar 4- 8 : Hasi Pembebanan Pada Daerah Las

Perhitungan untuk mendapatkan nilai kekerasan menggunakan persamaan (2.4) sebagai berikut

Pada daerah Las variasi kecepatan 1800 rpm

Pada titik 1

$$\frac{(1854 \times 200)}{75^2} = 35,92 \text{ HVN}$$

Pada titik 2

$$\frac{(1854 \times 200)}{38^2} = 256,79 \text{ HVN}$$

Pada titik 3

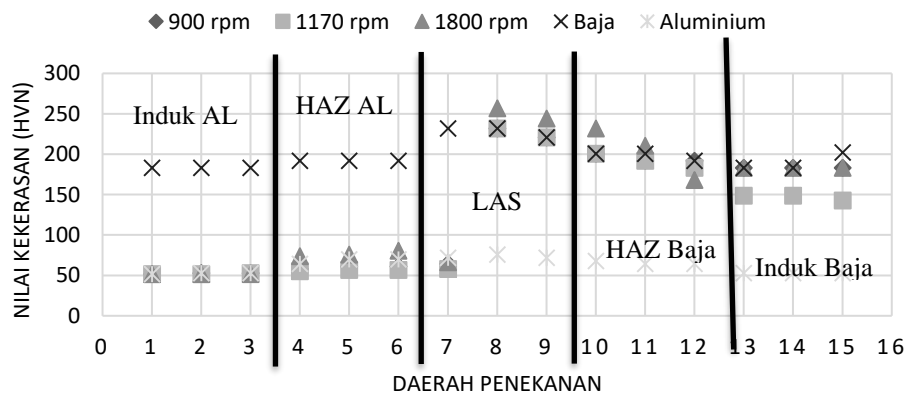
$$\frac{(1854 \times 200)}{39^2} = 243,79 \text{ HVN}$$

Setelah dihitung nilai kekerasan pada setiap titik di satu zona maka didapatkan rata-rata nilai kekerasan setiap titik

$$(57,94 + 231,75 + 220,58)/3 = 170,09 \text{ HVN}$$

Berdasarkan perhitungan nilai kekerasan setiap titik, maka didapatkan grafik distribusi kekerasan untuk setiap titik. Dapat dilihat grafik perbandingan kekerasan setiap variasi pada gambar 4-9.

### PERBANDINGAN KEKERASAN SETIAP VARIASI



Gambar 4- 9 : Perbandingan Hasil pengujian Kekerasan

Pada grafik distribusi kekerasan pada setiap titik pada spesimen uji, dapat dilihat kekerasan material meningkat cukup signifikan pada bagian sambungan. Hal ini dikarenakan pada bagian sambungan, terbentuk panas yang cukup tinggi yang akhirnya mengubah struktur mikro material. Perubahan struktur mikro tersebut membuat material menjadi lebih keras dibanding struktur awalnya.

Pada variasi 1800 rpm juga mengalami peningkatan kekerasan material pada bagian sambungan yang cukup signifikan. Jika dilihat, setiap variasi kecepatan yang dibuat mengalami peningkatan yang cukup signifikan pada bagian sambungan las. Dapat dilihat, pada variasi kecepatan 1800 rpm memiliki nilai kekerasan sebesar 256,79 HVN, 1170 rpm memiliki nilai kekerasan sebesar 231,75 HVN dan 900 rpm memiliki nilai kekerasan sebesar 231,75 HVN. Variasi kecepatan 1800 rpm memiliki kekerasan yang lebih tinggi dibanding variasi lainnya adalah karena pada kecepatan 1800, panas yang terbentuk cukup tinggi dan cepat, sehingga material pada bagian sambungan mengalami pengerasan yang membuat material menjadi lebih keras.

Pada sambungan *similar* baja dan aluminium digunakan sebagai pembanding dalam pengujian ini, dan material sambungan baja ini memiliki kekerasan sebesar 231,75 HVN pada bagian sambungan. Sedangkan aluminium memiliki nilai kekerasan sebesar 75,67 HVN pada bagian sambungan.

#### **4.1.8 Uji Korosi**

Untuk mengetahui laju korosi dari material dilakukan uji korosi. Pada penelitian ini, laju korosi dilakukan dengan mengukur berat material secara berkala setiap 10 hari sebanyak 4 kali. Hasil dari pengukuran tersebut didapat berat material yang mengalami penurunan dan tetap, seperti yang terlihat pada tabel 4-5. Satuan yang didapat dari pengukuran laju korosi adalah mmpy (*millimeter per year*).

**Tabel 4- 7 : Hasil Pengujian Korosi**

Variasi	Berat	I	II	III	IV
Aluminium T-6061	28,18	28,16	28,16	28,10	28,16
AISI 1012	83,18	83,04	83,04	82,90	82,72
Sambungan	52,84	52,80	52,80	52,80	52,80

Berdasarkan hasil penimbangan setiap minggunya dapat dilihat untuk variasi sambungan *dissimilar* tidak terjadi pengurangan berat dari setiap minggunya. Menurut saya ini disebabkan dari karakter sifat fisik aluminium yang memiliki ketahanan korosi, dan pada saat proses penyambungan terjadi perlakuan panas dan material tersebut disambungkan sehingga membuat material menjadi lebih tahan korosi. Karena jika dilihat dari penimbangan material aluminium dan baja setiap minggunya, tidak terjadi penurunan berat yang cukup besar, maka dari itu dapat disimpulkan bahwa material sambungan menjadi lebih tahan korosi dibandingkan material induk.

Dari data tersebut dapat dihitung nilai laju korosi. Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan 2-5. Contoh perhitungan AISI 1012 pada 10 hari ke-4.

Diketahui :  $W = 0,18$  gram

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

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

$$\text{Laju Korosi (mmpy)} = \frac{k \times w}{D \times A \times T} = \frac{8,76 \times 10^4 \times 0,18}{7 \times 200,96 \times 240} = 0,046 \text{ mmpy}$$

Hasil perhitungan laju korosi dapat dilihat pada tabel 4-6.

**Tabel 4- 8 : Hasil Perhitungan Laju Korosi**

Variasi	Laju Korosi 10 hari ke- (mmpy)			
	I	II	III	IV
Aluminium T-6061	0,013	0	0,040	0
AISI 1012	0,036	0	0,036	0,046
Sambungan	0,010-0,026	0	0	0

Setelah menghitung nilai laju korosi dari spesimen uji, Selanjutnya hasil tersebut dibandingkan dengan standar laju korosi material untuk melihat kualitas laju korosi spesimen uji. Standar laju korosi material dapat dilihat pada tabel 4-7.

**Tabel 4- 9 : Standar laju korosi material (Fontana,1986)**

Laju Korosi	Standar (mm/yr)	Hasil Spesimen (mm/yr)			Keterangan
		Aluminium T-6061	AISI 1012	Sambungan	
Outstanding	<0,02				
Excelent	0,02-0,1	0,013-0,04	0,036	0,010-0,026	Excelent
Good	0,1-0,5				
Fair	0,5-1				
Poor	1-5				
Unacceptable	>5				

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Kesimpulan yang didapat dari hasil penelitian ini adalah:

1. Hasil penyambungan *dissimilar* antara AISI 1012-Aluminium T-6061 dapat tersambung dengan menggunakan metode RFW.
2. Dari hasil pengamatan struktur mikro, dapat dilihat perbedaan zona HAZ yang terbentuk. Semakin tinggi variasi kecepatan putar yang digunakan, maka semakin terlihat jelas dan lebar zona HAZ yang terbentuk.
3. Hasil pengujian tarik menunjukkan dari ketiga variasi yang digunakan, variasi kecepatan 1170 rpm memiliki hasil yang lebih baik yaitu tegangan sebesar 93,27 MPa dan Regangan 6,73%. Hasil pengujian *bending* menunjukkan dari ketiga variasi yang digunakan, variasi kecepatan 1170 rpm memiliki hasil yang lebih baik yaitu sebesar 23,91 MPa.
4. Hasil Pengujian kekerasan menunjukkan pada variasi kecepatan 1800 rpm memiliki nilai kekerasan tertinggi yaitu sebesar 256,79 HVN. Dibandingkan dengan variasi 900 rpm sebesar 231,75 HVN dan 1170 rpm sebesar 231,75 HVN. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan setiap material mengalami peningkatan kekerasan pada daerah sambungan.
5. Hasil pengujian korosi yang menggunakan variasi aluminium T-6061, AISI 1012 dan sambungan *dissimilar* menunjukkan bahwa material memiliki ketahanan korosi yang baik.
6. Variasi yang paling optimum dalam melakukan pengelasan RFW antara material AISI 1012-Aluminium T-6061 adalah variasi kecepatan 1170 rpm. Karena memiliki rata-rata kekuatan tarik dan *bending* paling tinggi dibanding variasi lainnya. Dan juga memiliki nilai kekerasan yang meningkat pada bagian sambungan.

## 5.2 Saran

1. Membuat modifikasi *tail stock* pada mesin bubut agar mampu menahan getaran saat penyambungan material.
2. Membuat matriks penelitian terlebih dahulu sebelum memulai pembuatan spesimen uji. Agar perlakuan setiap spesimen lebih seragam antara satu dengan yang lainnya.
3. Pada saat pengujian *dye penetrant* sebaiknya *flush* yang terbentuk dari hasil penyambungan dibersihkan terlebih dahulu agar hasil pengamatan lebih maksimal.
4. Sebaiknya ketika melakukan uji tarik dan uji *bending* menggunakan 3 atau lebih spesimen uji agar data yang didapat lebih akurat.



## DAFTAR PUSTAKA

- Shubhavardhan RN and Surendran S. 2012. Friction Welding to Join Dissimilar Metals : IJETAE.
- Vairis, Achilles dkk. 2018. A comparison between friction stir welding, linear friction welding and rotary friction welding : Research Gate
- Chainarong, Suppachai dkk. 2017. Rotary Friction Welding of Dissimilar Joints between SSM356 and SSM6061 Aluminium Alloys Produced by GISS : Engineering Journal.
- Basheer, Uday M dkk. 2008. Effect of Rotational Speeds on the Friction Welding of Alumina- Aluminum 6061 alloy joints : Malaysian Metallurgical Conference.
- Khalfallah, F dkk. 2020. Optimization by RSM on rotary friction welding of AA1100 aluminum alloy and mild steel : Akedemiai Kiado
- Narharuddin dkk. 2015. Kekuatan Tarik dan Bending Sambungan Las pada Material Baja SM 490 dengan Metode Pengelasan SMAW dan SAW : Jurnal Mekanikal.
- Rao, G. Ananda dan Ramanaiah, N. 2019. Dissimilar metals AISI 304 steel and AA 2219 aluminium alloy joining by friction welding method : Elsevier Inc.
- Rao, P. Koteswara dkk. 2017. Effect of Speed on Hardness in Rotary Friction Welding Process : Research India Publication.
- Seshagirirao, B dkk. 2015. Experimental Investigation of Rotary Friction Welding Parameters of Aluminium (H-30) and Mild Steel (AISI-1040) : IJIRSET Inc.
- Munasir.2009. Laju Korosi Baja SC42 dalam Medium Air Laut dengan Metode Immers Total : Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta
- Kumayasari, Magdalena Feby and Sultoni, Arif Indro. 2017. Studi Uji Kekerasan Rockwell Superficial VS Micro Vickers : JURNAL TEKNOLOGI PROSES DAN INOVASI INDUSTRI.
- Schweitzer . A . Phillip.1987. Corrosion. United State of America : Marcell Decker Inc.



- Scully JC.1975.The Fundamentals of Corrosion : Pergamon International.
- Suarsana, I KT. 2017. Ilmu Teknik Mesin : Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana.
- Dieter, G., terjemahan oleh Sriati Djaprie, 1987, Metalurgi Mekanik, Jilid 1, edisi ketiga, Erlangga, Jakarta.
- Surdia, T.; Saito, S., 1992, *Pengetahuan Bahan Teknik*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Fontana, Mars G. (1986). *Corrosion Engineer*. McGraw Hill Book Company. Singapore.
- <https://www.pengelasan.net/penetrant-test/> diakses pada 13 Oktober 2020.



# LAMPIRAN



## 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	Cone	Base Al	72	71	72	71.53	73.56	71.53	72.20
2		HAZ AL	69	68	66	77.88	80.19	85.12	81.07
3		Las AL-Baja	63	41	41	93.42	220.58	220.58	178.20
4		HAZ Baja	42	42	43	210.20	210.20	200.54	206.98
5		Base Baja	44	45	45	191.53	183.11	183.11	185.92
6	900	Base Al	85	84	84	51.32	52.55	52.55	52.14
7		HAZ AL	80	78	78	57.94	60.95	60.95	59.94
8		Las AL-Baja	76	40	41	64.20	231.75	220.58	172.18
9		HAZ Baja	43	44	44	200.54	191.53	191.53	194.53
10	1170	Base Baja	45	45	45	183.11	183.11	183.11	183.11
11		Base Al	85	85	84	51.32	51.32	52.55	51.73
12		HAZ AL	82	81	81	55.15	56.52	56.52	56.06
13		Las AL-Baja	80	40	41	57.94	231.75	220.58	170.09
14		HAZ Baja	43	44	45	200.54	191.53	183.11	191.73
15	Base Baja	50	50	51	148.32	148.32	142.56	146.40	
16	1800	Base Al	85	85	85	51.32	51.32	51.32	51.32
17		HAZ AL	71	70	68	73.56	75.67	80.19	76.47
18		Las AL-Baja	75	38	39	65.92	256.79	243.79	188.83
19		HAZ Baja	40	42	47	231.75	210.20	167.86	203.27
20	Base Baja	45	45	45	183.11	183.11	183.11	183.11	
21	Fins	Base Al	85	85	84	51.32	51.32	52.55	51.73
22		HAZ AL	80	80	78	57.94	57.94	60.95	58.94
23		Las AL-Baja	50	41	42	148.32	220.58	210.20	193.04
24		HAZ Baja	43	43	44	200.54	200.54	191.53	197.54
25		Base Baja	45	45	45	183.11	183.11	183.11	183.11

Lembar asli, tidak untuk digandakan



Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281



**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	
26	Baja-Baja	Base baja	45	45	45	183.11	183.11	183.11	183.11
27		HAZ baja	44	44	44	191.53	191.53	191.53	191.53
28		Las AL-Baja	40	40	41	231.75	231.75	220.58	228.03
29		HAZ Baja	43	43	44	200.54	200.54	191.53	197.54
30		Base Baja	45	45	46	183.11	183.11	175.24	180.49
31	Al-Al	Base Al	85	84	84	51.32	52.55	52.55	52.14
32		HAZ AL	76	73	73	64.20	69.58	69.58	67.79
33		Las AL-Baja	72	70	72	71.53	75.67	71.53	72.91
34		HAZ Al	74	76	76	67.71	64.20	64.20	65.37
35		Base Al	84	84	84	52.55	52.55	52.55	52.55

Lembar asli, tidak untuk digandakan

**Keterangan**

1. Pengujian dilakukan tanggal 22 Agustus 2020
2. Pengujian menggunakan alat Hardness Micro Vickers dengan pembebanan 200 gf
3. Jarak antar titik uji 0,1 mm





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

**HASIL PENGUJIAN TARIK**

No.	Spesimen	Diameter (mm)	Pmax (KN)	$\Delta L$ (mm)	Tegangan (MPa)	Regangan (%)
1	900(1)	13.97	7.62	3.43	49.74	6.86
2	900(2)	13.90	12.77	3.11	84.20	6.22
3	1170(1)	14.17	17.33	3.67	109.95	7.34
4	1170(5)	13.92	11.65	3.06	76.59	6.12
5	1800(4)	14.20	11.47	4.10	72.46	8.2
6	1800(6)	13.95	13.18	4.30	86.28	8.6
7	Fins(1)	13.30	13.38	1.40	96.36	2.8
8	Fins(9)	13.88	13.85	1.09	91.58	2.18
9	Cone(2)	14.28	12.46	0.57	77.84	1.14
10	Cone(3)	14.17	12.11	0.40	76.83	0.8
11	Baja-Baja	13.62	71.47	6.59	490.79	13.18
12	Baja-Baja	13.98	66.92	6.39	436.19	12.78
13	Al-Al	14.12	9.22	0.52	58.91	1.04
14	Al-Al	14.27	12.38	0.70	77.45	1.4

Lembar asli, tidak untuk digandakan

*Keterangan:*

1. Pengujian dilakukan tanggal 15 Agustus 2021
2. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine
3. Standar spesimen menggunakan JIS 2201



Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281





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

**HASIL PENGUJIAN BENDING**

No.	Spesimen	Diameter (mm)	Pmax (KN)	Tegangan Bending (MPa)
1	Al 1	16.38	2.41	61.69
2	Al 2	16.60	0.90	22.13
3	Baja 1	16.19	15.12	400.83
4	Baja 2	16.21	20.84	550.43
5	Fins (3)	16.22	2.56	67.49
6	Fins (5)	16.19	3.05	80.86
7	Cone (8)	16.65	1.42	34.61
8	Cone(7)	16.11	1.44	38.75
9	900 (8)	15.86	0.54	15.23
10	900 (7)	16.53	0.52	12.95
11	1170 (6)	16.29	0.90	23.42
12	1170 (3)	16.70	1.01	24.40
13	1800 (8)	16.24	0.70	18.39
14	1800 (2)	16.80	0.68	16.13

Lembar asli, tidak untuk digandakan

*Keterangan:*

1. Pengujian dilakukan tanggal 15 Agustus 2020
2. Pengujian menggunakan Universal Testing Machine
3. Standar spesimen menggunakan JIS 2201

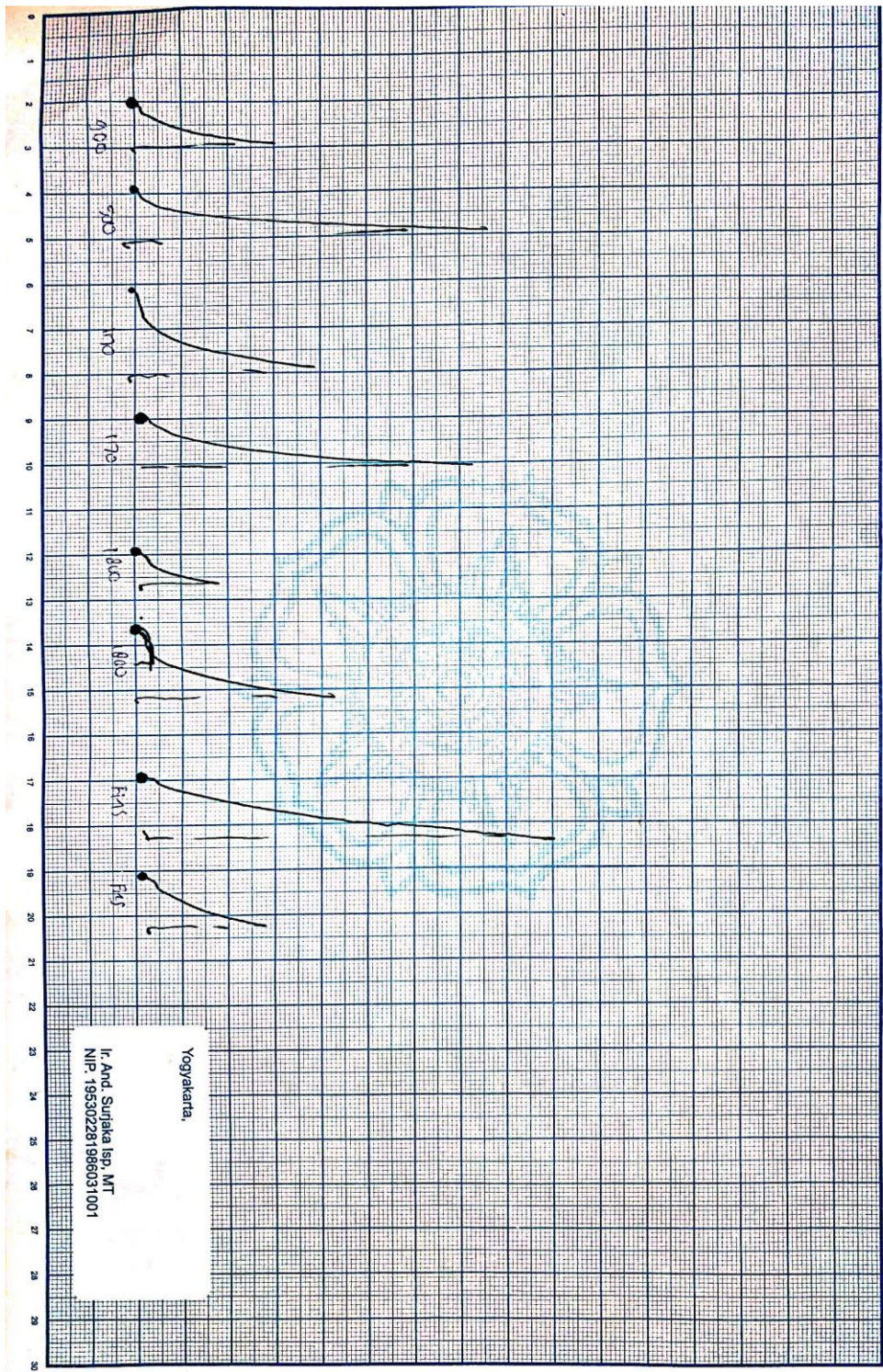






# LABORATORIUM BAHAN TEKNIK

PROGRAM DIPLOMA TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS GADJAH MADA  
Kampus: Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281 Telp. (0274) 548837 902289 Fax. (0274) 546400 E-mail: d3masin\_ujm@ogjamodanet.com



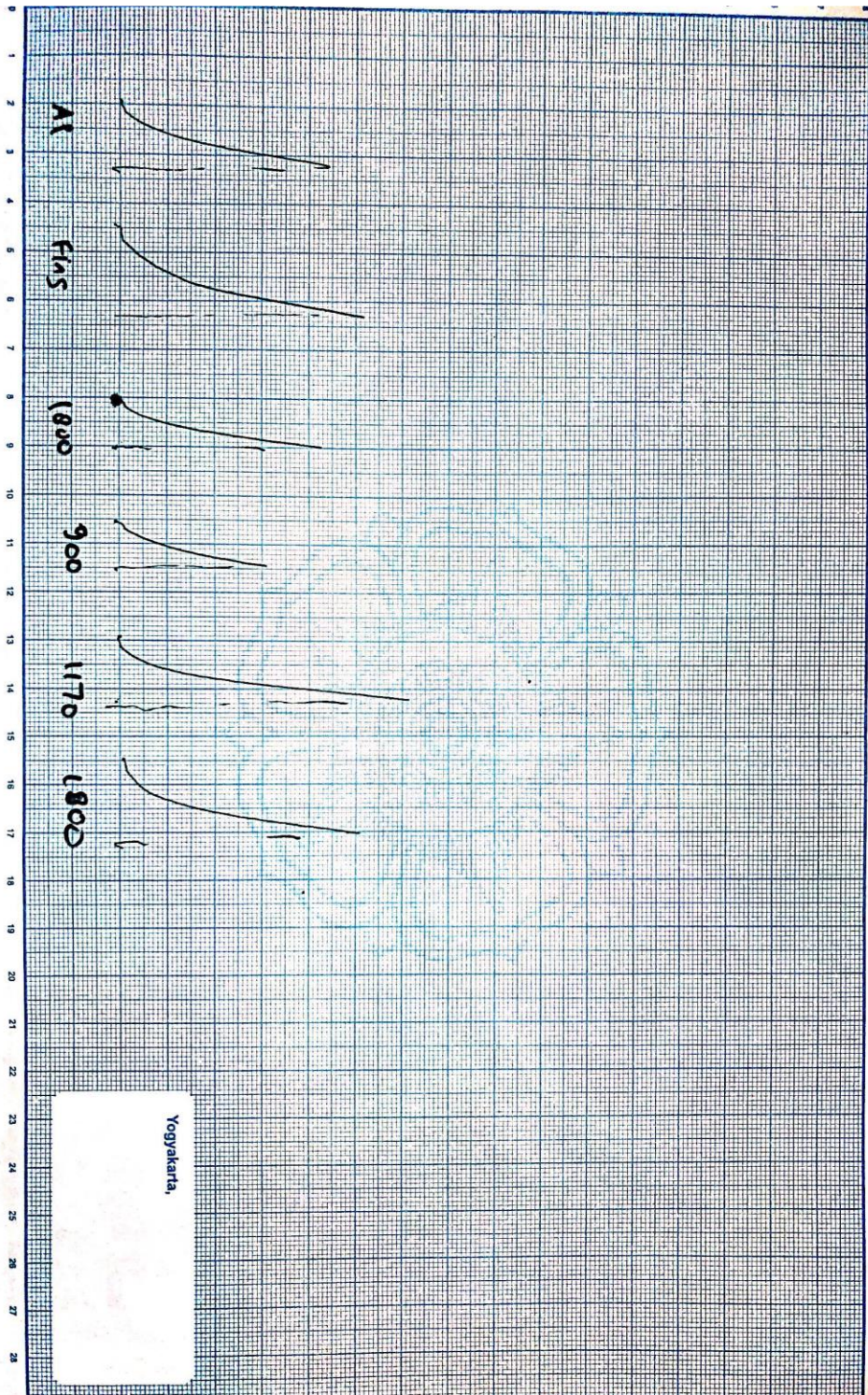
Yogyakarta,  
Ir. And. Sujaka Isp, MT  
NIP. 195302281986031001





# LABORATORIUM BAHAN TEKNIK

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS GADJAH MADA  
Kampus: Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281 Telp. (0271) 548837, 802289 Fax. (0271) 546400 Email: d3mensin\_ujgm@iqjainedareti.com



Yogyakarta,







