

**OPTIMASI SAMBUNGAN *ROTARY FRICTION WELDING*
(RFW) PADA ALUMINIUM DENGAN VARIASI BENTUK
PROFIL SAMBUNGAN**

TUGAS AKHIR

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



Disusun Oleh :

Nama : FATHUROHMAN FATHA

No. Mahasiswa : 14525040

NIRM : 2014010701

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

2019

PERNYATAAN ORISINALITAS TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini, Fathurohman Fatha menyatakan bahwa tugas akhir dengan judul “ Optimasi Sambungan *Rotary Friction Welding* (RFW) Pada Aluminium Dengan Variasi Bentuk Profil Sambungan” adalah hasil dari tulisan saya sendiri. Dengan ini saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa dalam tugas akhir ini tidak terdapat tulisan orang lain yang saya ambil dengan cara menyalin, baik dalam bentuk kalimat atau symbol yang menunjukkan gagasan atau pendapat dari penulis lain. Apabila dikemudian hari terdapat ketidak benaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik, serta sanksi yang sesuai dengan peraturan yang berlaku.

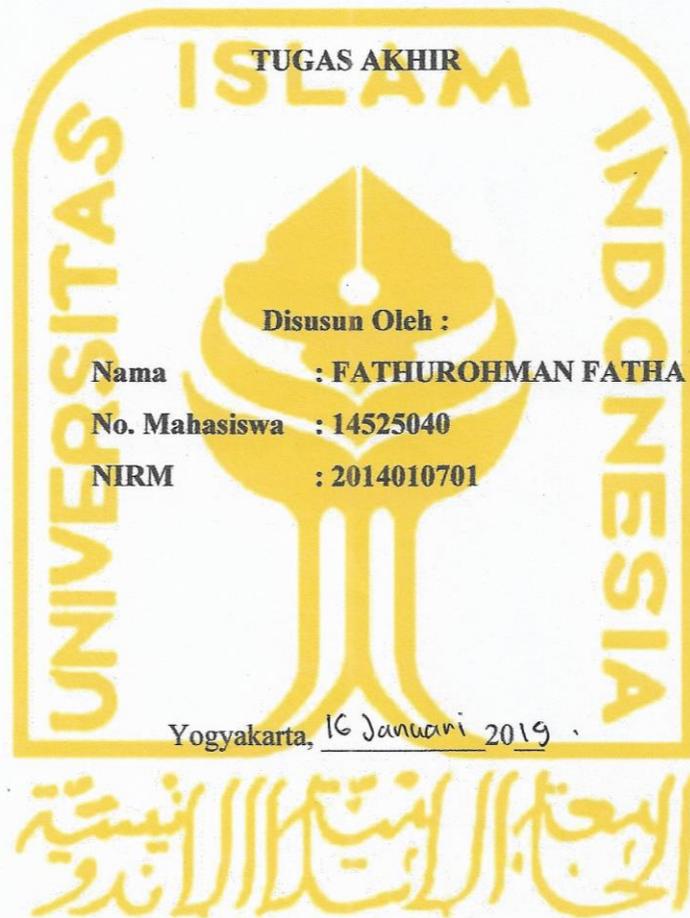
Yogyakarta, 16 Januari 2019



Fathurohman Fatha

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**OPTIMASI SAMBUNGAN *ROTARY FRICTION WELDING*
(RFW) PADA ALUMINIUM DENGAN VARIASI BENTUK
PROFIL SAMBUNGAN**



Pembimbing I,

Yustiasih Purwaringrum, S. T .,M. T.

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

**OPTIMASI SAMBUNGAN *ROTARY FRICTION WELDING*
(RFW) PADA ALUMINIUM DENGAN VARIASI BENTUK
PROFIL SAMBUNGAN**

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : FATHUROHMAN FATHA

No. Mahasiswa : 14525040

NIRM : 2014010701

Tim Penguji

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

Dosen Penguji I

Tanggal: 7/02/2019

Agung Nugroho Adi, S.T., M.T.

Dosen Penguji II

Tanggal: 06/02/2019

Muhammad Ridwan, S.T., M.T.

Dosen Penguji III

Tanggal: 01/02/2019



Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Risdiong, ST., M. Eng.

HALAMAN PERSEMBAHAN



Dengan segala puja dan puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayat -Nya sehingga penulis diberi kesehatan selalu, dan terimakasih atas doa dan dukungan dari orang -orang tercinta sehingga saya akhirnya dapat menyelesaikan skripsi ini dengan lancar dan tepat pada waktunya. Maka dari itu saya mengucapkan rasa syukur dan terimakasih kepada :

Allah SWT, karena hanya izin dan karunia Nya lah saya akhirnya bisa menyelesaikan skripsi ini. Dengan mengucap rasa syukur yang teramat besar kepada Nya karena hanya Allah SWT yang dapat mengabdikan semua Do'a hambanya.

Kedua orang tua saya yaitu Bapak Nurmanudin Fatha dan Ibu Rosmala yang selalu memberikan dukungan dan do'a kepada saya, sehingga akhirnya saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Tiada kata seindah lantunan do'a dan tiada do'a yang paling khusuk selain do'a yang terucap dari orang tua. Ucapan terimakasih saja takkan pernah cukup untuk membalas kebaikan orang tua, karena itu terimalah persembaha bakti dan cinta ku untuk kalian bapak ibuku.

Bapak dan Ibu Dosen pembimbing, penguji dan pengajar, yang selama ini telah tulus dan ikhlas meluangkan waktunya untuk menuntun dan mengarahkan saya, memberikan bimbingan dan pelajaran yang tiada ternilai harganya, agar saya menjadi lebih baik. Terimakasih banyak Bapak dan Ibu dosen, jasa kalian akan selalu terpatri di hati.

Kakak saya Marisa Ekawati yang selalu memberikan dukungan serta doanya untuk keberhasilan adiknya menggapai suatu tingkat pendidikan yang lebih tinggi. Untuk itu terimalah karya terbaik adikmu ini sebagai jawaban atas dukungan dan do'a mu.

Terimakasih yang sebesar-besarnya untuk kalian semua, akhir kata saya persembahkan skripsi ini untuk kalian semua, orang-orang yang saya sayangi. Dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan berguna untuk kemajuan ilmu pengetahuan di masa yang akan datang, Aamiinnn.

HALAMAN MOTTO

فَإِذَا فَرَغْتَ فَانصَبْ, وَإِلَىٰ رَبِّكَ فَارْغَبْ

"Faidzaa faragh tafangshabb, Wa ilaa rabbika far ghabb “

Artinya : “ kemudian apabila engkau bertekad, maka berusahalah. Dan hanya kepada Tuhanmu saja hendaknya kamu menaruh harapan “ (Q.S Al – Insyirah : 7 – 8)

“ Kehidupanmu adalah buah dari tindakan yang kamu lakukan. Tidak ada yang bisa disalahkan selain dirimu sendiri” (Joseph Campbell)

“Jika kamu bersungguh – sungguh dalam melakukan segala sesuatunya, pasti akan sampai pada tujuanmu”

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warohmatullahi Wabarokatuh

Alhamdulillah hirabbil 'alamin, puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan tugas akhir dengan judul : “Optimasi Sambungan Rotary Friction Welding (RFW) Pada Aluminium Dengan Variasi Bentuk Profil Sambungan”. Shalawat serta salam juga penulis sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW beserta keluarganya yang syafaatnya dinantikan di yaumul qiyamah.

Pelaksanaan tugas akhir harus ditempuh oleh setiap mahasiswa untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikannya dan memperoleh gelar sarjana di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.

Selama pelaksanaan dan penyusunan laporan tugas akhir ini, penulis sudah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih atas semua bantuannya baik langsung maupun tidak langsung, khususnya kepada :

1. Allah SWT, yang telah memberikan nikmat Iman dan Islam kepada penulis dan Nabi agung Muhammad SAW juga atas segenap keluarga, para sahabat, para pengikutnya hingga akhir zaman.
2. Ayah dan Ibu serta seluruh keluarga tercinta yang selalu mendo'akan dan memberikan dukungan dalam menempuh pendidikan.
3. Bapak Dr. Eng. Risdiyono, S.T., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
4. Ibu Yustiasih Purwaningrum, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan waktu luangnya untuk membimbing penulis..
5. Seluruh dosen dan karyawan di lingkungan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, terima kasih atas jalinan kerjasama dan ilmu yang telah diberikan pada penulis.

6. Pak Lilik selaku pembimbing dalam pelaksanaan pengujian material di Lab Pengujian Material Jurusan Teknik Mesin UGM.
7. Aldino Data Pratama selaku teman kerja dalam penelitian ini.
8. Teman-teman seperjuangan angkatan 2014 Teknik Mesin UII.

Semoga amal kebaikan yang telah diberikan akan mendapat balasan dari Allah SWT. Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna, untuk itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan penyusunan laporan berikutnya. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan juga untuk orang.

Wassalamu'alaikum Warohmatullahi Wabarokatuh

Yogyakarta, 16 Januari 2019



Fathurohman Fatha

ABSTRAK

Dalam dunia industri logam, material yang berbentuk silinder pejal banyak dibutuhkan. Untuk melakukan penyambungan material yang berbentuk silinder pejal masih sulit bila dilakukan dengan pengelasan fusion. Kesulitan dalam melakukan sambungan tersebut dapat diatasi dengan melakukan pengelasan Rotary Friction Welding (RFW). RFW ini dapat dilakukan juga dengan menggunakan mesin bubut yang tersedia dengan menentukan parameter pengelasan yang tepat agar mendapatkan hasil terbaik. Dalam penelitian ini bahan yang digunakan adalah Aluminium 4017 dengan parameter pengelasan yaitu kecepatan putar spindle mesin bubut yaitu 1170 RPM dan jarak penekanan yaitu 10mm(7mm pada saat kecepatan putar konstan +3mm pada saat putaran di berhentikan). Variasi bentuk profil sambungan dalam penelitian ini juga diberikan agar mendapatkan hasil yang terbaik, yang mana variasi nya adalah bentuk profil sambungan chamfer, bentuk profil sambungan rata, dan bentuk profil sambungan penutup. Hasil pengelasan dilakukan pengujian untuk dapat dianalisis sifat fisik dan mekanik. Dari hasil pengamatan metallografi makro hasil sambungan terlihat sudah tersambung dengan baik yang dilakukan berbagai variasi bentuk profil sambungan. Pengujian metallografi mikro menunjukkan perubahan struktur dari variasi bentuk profil sambungan yang diberikan, struktur yang sangat terlihat perubahannya adalah profil sambungan chamfer. Dari struktur yang diperlihatkan akan mempengaruhi kekerasan materialnya yang terbukti bahwa kekerasan dari bentuk chamfer ini meningkat dari 55 VHN pada logam induk sampai 91 VHN pada daerah las. Kemudian dari hasil pengujian tarik, nilai rata – rata tegangan maksimum & nilai rata – rata regangan tertinggi yaitu dengan bentuk chamfer, dengan nilai rata – rata tegangan tarik maksimum nya adalah 106.31 Mpa dan nilai rata – rata regangan nya adalah 18.46 %. Sedangkan dari hasil pengujian bending di peroleh tegangan rata – rata tertinggi adalah bentuk rata yang nilainya adalah 114.33 Mpa.

Kata kunci : rotary friction welding, profil chamfer, profil penutup, profil rata, mesin bubut, 1170 RPM, penekanan 10mm.

ABSTRACT

In the metal industry, much cylindrical material is needed. To connect the solid cylindrical material, it is still difficult to do with fusion welding. The difficulty in making these connections can be overcome by welding a Rotary Friction Welding (RFW). This RFW can also be done by using the lathe available by determining the right welding parameters to get the best results. In this study, the material used was Aluminum 4017 with welding parameters, namely the turning speed of the lathe spindle which is 1170 RPM and the compression distance is 10mm (7mm when the constant rotating speed is + 3mm when the rotation is stopped). Variations in the shape of connection profiles in this study were also given to get the best results, which are variations in the shape of the chamfer connection profile, the shape of the flat connection profile, and the shape of the cover connection profile. The welding results are tested to be able to analyze physical and mechanical properties. From the results of observations of macro metallography, the results of the joints appear to have been connected properly, which carried out various forms of connection profiles. Micro metallographic testing shows structural changes from the variations in the profile provided, the most visible structure of change is the chamfer connection profile. From the structure shown will affect the hardness of the material which is proven that the hardness of this form of chamfer increases from 55 VHN on the parent metal to 91 VHN in the weld area. Then from the tensile test results, the average maximum stress & highest strain average value is in the form of chamfer, with the average value of the maximum tensile stress is 106.31 Mpa and the average strain value is 18.46%. While the bending test results obtained the highest average stress is the flat profile form whose value is 114.33 MPa.

Keywords: rotary friction welding, chamfer profile, cover profile, flat profile, lathe, 1170 RPM, 10mm pressing.

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing	ii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji	iv
Halaman Persembahan	v
Halaman Motto	vi
Kata Pengantar.....	vii
Abstrak	ix
ABSTRACT	x
Daftar Isi	xi
Daftar Tabel.....	xiii
Daftar Gambar	xiv
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 atau Perancangan	3
1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
Bab 2 Tinjauan Pustaka	5
2.1 Kajian Pustaka	5
2.2 Dasar Teori	7
2.2.1 Pengertian Pengelasan	7
2.2.2 Sifat Pengelasan.....	8
2.2.3 Pengelasan Gesek (Friction Welding)	9
2.2.4 Friction Stir welding.....	9
2.2.5 Linier Friction Welding	10
2.2.6 Rotary Friction Welding.....	11
2.2.7 Keuntungan Pengelasan Gesek.....	14
2.2.8 Aluminium.....	15

2.2.9	Sifat Mekanis Aluminium	20
2.2.10	Pengujian material	21
Bab 3	Metode Penelitian	32
3.1	Alur Penelitian	32
3.2	Peralatan dan Bahan.....	33
3.3	Desain Bentuk Bahan Penelitian.....	42
3.4	Persiapan Pengelasan Rotary Friction Welding.....	44
3.4.1	Membuat Variasi Bentuk.....	44
3.4.2	Proses Pengelasan Rotary Friction Welding	49
3.5	Pengujian Dye Penetrant.....	54
3.6	Pengujian Metallografi	58
3.7	Pengujian Kekerasan.....	63
3.8	Pengujian Tarik.....	64
3.9	Pengujian Bending.....	66
Bab 4	Hasil dan Pembahasan	69
4.1	Hasil Pengelasan Rotary Friction Welding.....	69
4.2	Analisis dan Pembahasan Hasil Pengujian Dye Penetrant	73
4.3	Analisis dan Pembahasan Hasil Pengujian Metallografi	74
4.4	Analisis dan Pembahasan Hasil Pengujian Kekerasan	78
4.5	Analisis dan Pembahasan Hasil Pengujian Tarik	79
4.6	Analisis dan Pembahasan Hasil Pengujian Bending.....	82
4.7	Penerapan RFW Dalam Industri	85
Bab 5	Penutup.....	88
5.1	Kesimpulan	88
5.2	Saran atau Penelitian Selanjutnya.....	89
Daftar Pustaka	90

DAFTAR TABEL

Table 2.1 Tabel klasifikasi paduan aluminium (Surdia, 2000).	19
Table 3.1 Komposisi kimia Aluminium seri 4017	33
Table 3.2 Parameter pengelasan <i>rotary friction welding</i>	51
Table 4.1 Data waktu saat pengelasan.....	71
Table 4.2 Suhu yang terjadi.....	72
Table 4.3 Hasil pengujian dye penetrant	73
Table 4.4 hasil pengujian metallografi mikro.....	77
Table 4.5 Hasil pengujian tarik.....	79
Table 4.6 Hasil pengujian <i>Bending</i>	83
Table 4.7 perbandingan kekuatan tarik standar industri dengan kekuatan tarik hasil penelitian.....	85
Table 4.8 perbandingan kekerasan standar industri dengan kekerasan hasil penelitian	85
Table 4.9 perbandingan nilai kekuatan bending standar industri dengan kekuatan bending hasil penelitian	86

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sifat mampu las suatu komponen (DIN 8528)	8
Gambar 2.2 Friction stir welding (Mishra & Ma, 2005)	10
Gambar 2.3 Linear friction welding (Tea Sung Jun & Alexander M. Korsunsky, 2010).....	11
Gambar 2.4 Rotary friction welding (Alves, 2010).....	12
Gambar 2.5 Daerah pengelasan rotary friction welding (Paul, 2014)	12
Gambar 2.6 Parameter rotary friction welding (Sahin, 2008)	13
Gambar 2.7 Aplikasi RFW dalam dunia industry A (drive pulley), B (counter gear), C (crank shaft), D (constant velocity universal joint), E (aluminium hub), dan F (casting clamp)	14
Gambar 2.8 Profil data hasil uji tarik (Sastranegara, 2009)	21
Gambar 2.9 Pembebanan uji bending (A), pengaruh pembebanan uji bending (B)	24
Gambar 2.10 Perbandingan bending 3 point dengan 4 point	25
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	32
Gambar 3.2 Aluminium seri 4017 diameter 16mm	33
Gambar 3.3 Mesin Lathe	34
Gambar 3.4 chuck bor	35
Gambar 3.5 Mata Pahat HSS	35
Gambar 3.6 Mata Drill 10mm	36
Gambar 3.7 End mill 10mm	36
Gambar 3.8 Penggaris ukur panjang bahan	37
Gambar 3.9 Mesin Gerinda Tangan	37
Gambar 3.10 Ragum.....	38
Gambar 3.11 Busur Derajat	38
Gambar 3.12 Vernier Caliper	39
Gambar 3.13 Marker.....	39
Gambar 3.14 <i>Thermogun</i>	40
Gambar 3.15 Stopwatch Handphone	40
Gambar 3.16 Alat Pelindung Diri.....	41

Gambar 3.17 Gergaji Besi	41
Gambar 3.18 Desain variasi bentuk yang diberikan (A) bentuk penutup, (B) bentuk permukaan rata, (C) bentuk chamfer.....	42
Gambar 3.19 Pemotongan bahan.....	45
Gambar 3.20 Hasil potong bahan penelitian	45
Gambar 3.21 Perataan permukaan dengan mesin bubut.	46
Gambar 3.22 Bentuk permukaan rata	46
Gambar 3.23 Mengatur sudut mata bubut	47
Gambar 3.24 Bentuk chamfer.....	48
Gambar 3.25 Bentuk penutup.....	49
Gambar 3.26 Chuck bor yang di pasang pada tail stock	50
Gambar 3.27 A. Kunci spindle, B. Kunci chuck bor.....	50
Gambar 3.28 Pemasangan bahan ke chuck dan spindle	51
Gambar 3.29 Kecepatan putar spindle 1170 RPM	52
Gambar 3.30 Tuas putar pada tail stock agar bahan statis bergerak maju.....	53
Gambar 3.31 Proses pengelasan rotary friction welding.....	54
Gambar 3.32 Pretreatment dye penetrant	55
Gambar 3.33 Pemberian cairan penetrant.....	56
Gambar 3.34 Pembersihan cairan penetrant setelah 10 menit.....	57
Gambar 3.35 Pemberian cairan developer.....	57
Gambar 3.36 Alat pengujian makro	58
Gambar 3.37 Alat pengujian mikro	59
Gambar 3.38 Pemotongan bahan uji.....	59
Gambar 3.39 Proses mounting	60
Gambar 3.40 Proses pengampelasan	61
Gambar 3.41 Proses pemolesan.....	61
Gambar 3.42 Proses etsa.....	62
Gambar 3.43 Alat pengujian kekerasan.....	63
Gambar 3.44 Bentuk dan dimensi uji tarik bahan silinder pejal	64
Gambar 3.45 Alat uji tarik.....	65
Gambar 3.46 Peletakkan bahan uji tarik.....	65
Gambar 3.47 Menentukan jarak 2 titik tumpu.....	66

Gambar 3.48 Pemberian jarak dua titik tumpu.....	67
Gambar 3.49 Memasang bahan pengujian bending.....	68
Gambar 4.1 (A) Hasil pengelasan RFW bentuk profil sambungan rata, (B) hasil pengelasan RFW bentuk profil sambungan penutup, (C) hasil pengelasan RFW bentuk profil sambungan <i>chamfer</i>	71
Gambar 4.2 Hasil sambungan pengelasan rotary friction welding gagal	72
Gambar 4.3 Pengujian metallografi makro chamfer	75
Gambar 4.4 Pengujian metallografi makro rata.....	75
Gambar 4.5 pengujian metallografi makro penutup.....	76
Gambar 4.6 Grafik nilai kekerasan spesimen pengelasan rotary friction welding	79
Gambar 4.7 Grafik Tegangan Maksimal	81
Gambar 4.8 Grafik Regangan.....	82
Gambar 4.9 Grafik tegangan pengujian bending.....	84

DAFTAR NOTASI

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini teknik pengelasan telah dipergunakan secara luas dalam penyambungan logam dengan menggunakan panas. Sumber panas yang digunakan berasal dari nyala oksasi-asitilen, busur listrik dan gesekan. Nyala oksasi-asitilen berasal dari pembakaran oksigen dan gas asitilen. Las busur listrik adalah proses penyambungan logam dengan menggunakan nyala busur listrik ke permukaan logam yang akan dilas. Daerah yang terkena busur listrik maka akan mencair, termasuk juga elektroda yang menghasilkan busur listrik akan mencair di pangkal ujungnya dan terus merambat sampai habis (Arifin, 1997). Teknologi las gesek (*friction welding*) merupakan salah satu metode proses pengelasan jenis *solid state welding* dimana sumber panas dihasilkan oleh dua logam yang saling bergesekan.

Menurut *Deutsche Industrie Normen* (DIN) klasifikasi berdasarkan kondisi pengelasan ada dua, yaitu las fusi (*fusion welding*) dan las padat (*solid state welding*). Las fusi merupakan proses pengelasan dengan mencairkan sebagian logam induk. Dalam pengaplikasiannya las fusi biasa digunakan untuk pengelasan pelat datar, pelat siku, dan pipa. Jenis pengelasan fusi yang sering dijumpai adalah *Shield Metal Arc Welding* (SMAW), *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW), *Metal Inert Gas* (MIG), dan sebagainya. Pada las fusi masih ditemui kesulitan seperti pada saat melakukan pengelasan pada logam silinder pejal, pengelasan hanya dapat dilakukan pada sisi luar permukaan saja, sedangkan pada sisi dalam sulit dilakukan. Untuk bisa melakukan pengelasan silinder pejal pada sisi dalam maka perlu dilakukan pengelasan padat (*solid state welding*) yaitu metode pengelasan gesek.

Friction welding adalah penyambungan material yang memanfaatkan panas yang ditimbulkan dari gesekan antara dua permukaan material. *Friction welding* merupakan salah satu solusi untuk mengatasi kesulitan penyambungan dengan las fusi. Pada *friction welding* ini, proses pengelasan dilakukan tanpa

mencairkan logam. Teknik pengelasan ini dapat digunakan untuk menyambung logam yang berbeda sifat *thermal* dan sifat mekanisnya. Kelebihan pengelasan ini adalah tidak membutuhkan logam pengisi, waktu pengelasannya cepat dan temperatur operasi di bawah titik lebur logam. Untuk melakukan pengelasan dengan cara menyambungan silinder pejal dapat dilakukan dengan cara *rotary friction welding*. *Rotary friction welding* merupakan proses pengelasan yang dilakukan untuk menyambungkan material logam yang berbentuk silinder dengan cara melakukan gesekan terhadap dua material yang akan disambung. Agar terjadi gesekan dua material salah satunya berputar, dan dua material yang saling berputar namun berlawanan arah, kemudian dilakukan pemberian tekanan agar terjadi gesekan kuat dan dapat memanaskan material yang akan disambungkan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan maka rumusan masalah-masalah yang di tentukan yaitu :

- a. Bentuk yang terbaik dalam pengelasan *rotary friction welding* pada aluminium silinder pejal.
- b. Pengaruh pemberian variasi bentuk pada Aluminium seri 4017 silinder pejal terhadap hasil sambungan.

1.3 Batasan Masalah

Dalam melakukan penelitian ini, batasan masalah yang digunakan agar dapat lebih mengarah pada permasalahan inti dan tidak menyimpang jauh dari apa yang di bahas. Adapun batasan masalah yang diberikan antara lain sebagai berikut :

- a. Material yang digunakan adalah Aluminium seri 4017 dengan bentuk silinder pejal dengan diameter 16 mm.
- b. Variasi bentuk yang diberikan pada ujung spesimen dengan bentuk chamfer, bentuk penutup, dan bentuk permukaan rata.
- c. Proses penyambungan bahan dengan metode *rotary friction welding* menggunakan mesin bubut yang ada pada Lab Proses Produksi Program Study Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.

- d. Kecepatan putar mesin yang diberikan adalah 1170 RPM.
- e. Pengujian yang dilakukan berupa pengujian *dye penetrant*, pengujian *metallografi*, pengujian tarik, pengujian kekerasan, dan pengujian *bending*.

1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan

Tujuan dari penelitian ini merupakan hal – hal yang ingin dicapai pada hasil penelitian. Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu :

- a. Untuk mengetahui sifat fisik material hasil las RFW dengan variasi bentuk profil yang diberikan.
- b. Untuk mengetahui sifat mekanik material hasil las RFW dengan variasi bentuk profil yang diberikan.
- c. Untuk mengetahui hasil sambungan yang terbaik setelah diberikan variasi bentuk.

1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan

Manfaat dari penelitian merupakan penjelasan mengenai manfaat yang diperoleh jika tujuan penelitian ini dapat tercapai. Adapun manfaat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Dapat mengetahui sifat fisik dan sifat mekanik sambungan las *rotary friction welding* pada aluminium seri 4017 dengan variasi bentuk ujung spesimen.
- b. Dapat dijadikan sebagai referensi untuk dapat melakukan penyambungan pada specimen yang berbentuk silinder pejal, dengan sambungan dari dalam permukaan sampai bagian luar permukaan .
- c. Memberikan solusi dalam melakukan penyambungan aluminium silinder pejal untuk hasil yang lebih baik.

1.6 Sistematika Penulisan

Agar dapat mempermudah pemahaman dalam penulisan penelitian ini, maka dibuatlah susunan sistematika penulisan. Adapun sistematika penulisan ini adalah sebagai berikut.

a. Bab 1 Pendahuluan

Menjelaskan tentang latar belakang dilakukannya penelitian ini, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

b. Bab 2 Tinjauan Pustaka

Menjelaskan tentang kajian pustaka dan dasar teori serta informasi yang mendukung jalannya penelitian.

c. Bab 3 Metode Penelitian

Menjelaskan tentang tahapan penelitian, alat dan bahan penelitian, dan langkah – langkah yang dilakukan dalam penelitian agar dapat tercapainya tujuan yang diinginkan.

d. Bab 4 Hasil dan Pembahasan

Menguraikan hasil penelitian yang sudah dilakukan untuk selanjutnya dibahas mengenai hasil penelitian tersebut.

e. Bab 5 Penutup

Berisi pernyataan yang merupakan kesimpulan serta saran – saran yang diperoleh dari hasil penelitian yang telah dilaksanakan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Semakin berkembangnya metode pengelasan, akhir – akhir ini mulai banyak dilakukannya penelitian mengenai *rotary friction welding*. Kegunaan dari *rotary friction welding* ini juga sangat membantu untuk melakukan penambahan panjang dari suatu spesimen yang berbentuk silinder. Pemikiran manusia yang semakin berkembang menimbulkan ide – ide baru tentang *rotary friction welding* ini, seperti melakukan *rotary friction welding* dengan menggunakan mesin bubut yang ada, walaupun tentu saja kapasitas mesin bubut untuk melakukan *rotary friction welding* ini tidak begitu besar jika dibandingkan dengan mesin khusus *rotary friction welding* itu sendiri. Berbagai macam variasi dan parameter diberikan oleh para peneliti agar mendapatkan hasil yang terbaik.

Partomuan dan Yohanes (2016) Melakukan penelitian mengenai pengelasan *rotary friction welding* dengan melakukan pemberian variasi sudut *chamfer* pada spesimen baja *mild steel* silinder pejal, variasi sudut yang diberikan yaitu 30^0 , 45^0 , dan 60^0 . Kemudian pada penelitian ini juga diberikan ukuran diameter *forging* (d) yaitu 4 mm untuk penelitian pertama, dan panjang *chamfer* yaitu 2 mm untuk penelitian ke dua. Setelah diberikan bentuk *chamfer* yang diinginkan barulah dilakukan pengelasan secara *rotary friction welding*, hasil sambungan yang terjadi kemudian dilakukan pengujian untuk mengetahui sifat fisik dan sifat mekanik hasil sambungan. Dari pemberian variasi sudut *chamfer* dengan pemberian ukuran diameter *forging*, dan panjang *chamfer* mempengaruhi nilai kekuatan tarik dari baja *mild steel*. Diameter *forging* yang sama dan variasi sudut *chamfer* yang diberikan mempengaruhi kekuatan tarik yang semakin meningkat dengan semakin besarnya sudut *chamfer* yang diberikan, sedangkan untuk panjang *chamfer* yang sama dan variasi sudut *chamfer* yang diberikan akan mempengaruhi kekuatan tarik yang meningkat dengan semakin kecilnya sudut *chamfer* yang diberikan.

Setyawan dan Dwilaksana (2014) penelitian yang mereka lakukan adalah pengaruh kecepatan putar yang diberikan pada pengelasan *rotary friction welding* dengan menggunakan mesin bubut sebagai alat pelaksanaan penelitian *rotary friction welding*. Spesimen yang digunakan yaitu aluminium 6061 dengan dilakukan pembubutan terlebih dulu agar tidak ter jadi pergeseran. Setelah dilakukan pembubutan maka selanjutnya proses pengelasan *rotary friction welding* dilakukan dengan variasi kecepatan putar 867 rpm, 1169 rpm, dan 1675 rpm. Pengujian yang dilakukan berupa pengujian makro, pengujian tarik, dan pengujian kekerasan. Pada pengujian makro yang dilakukan dapat diketahui adanya cacat pada variasi kecepatan pengelasan 867 rpm dan 1675 rpm. Hasil pengujian tarik diperoleh bahwa rata – rata *ultimate tensile strength* untuk pengelasan dengan kecepatan 867 rpm adalah 16.38 MPa, kecepatan 1169 rpm adalah 18.67 MPa, dan kecepatan 1675 rpm adalah 16.93 MPa, jadi untuk kekuatan tarik yang terbesar yaitu pada kecepatan 1169 rpm. Kemudian hasil kekerasan yang terendah yaitu di daerah HAZ untuk variasi kecepatan putar 867 rpm dengan hasil 52.28 VHN dan kekerasan paling tinggi terjadi di base metal dengan hasil 114.5 VHN.

Wicaksana, Mulyadi, dan Syuhri (2017) melakukan penelitian tentang pengelasan *rotary friction welding* pada aluminium seri 6061 dengan melakukan variasi sudut *chamfer*, dan variasi waktu gesek. Mesin yang digunakan adalah mesin bubut untuk melakukan pengelasan *rotary friction welding* ini. Sudut yang diberikan yaitu 0⁰, 30⁰, dan 60⁰, sedangkan variasi waktu geseknya adalah 60 detik, dan 120 detik. Beberapa pengujian yang dilakukan yaitu pengujian mikro, pengujian tarik, dan pengujian kekerasan. Waktu gesek dan sudut *chamfer* berpengaruh terhadap kekuatan tarik hasil sambungan las. Hasil pengujian tarik tertinggi yaitu dari variasi sudut 30⁰ dengan waktu gesek 120 detik yang menghasilkan nilai sebesar 15.86 Kgf / mm². Sedangkan untuk pengujian tarik terendah yaitu dari variasi sudut 60⁰ dengan waktu gesek 60 detik yang menghasilkan nilai sebesar 5.16 Kgf / mm². Waktu gesek dan sudut *chamfer* berpengaruh terhadap kekerasan hasil sambungan las. Hasil pengujian kekerasan yang paling tinggi diperoleh dari variasi sudut 30⁰ dengan waktu gesek 120 detik sedangkan nilai kekerasan terendah yaitu dari variasi sudut 60⁰ dengan waktu

gesek 60 detik. Pada struktur mikro hasil sambungan las gesek pada Aluminium 6061 untuk variasi waktu 60 detik menunjukkan adanya *crack*. Penyebab yang menimbulkan terjadinya *crack* ini dikarenakan pemanasan yang terjadi akibat gesekan selama 60 detik ini masih kurang. Penelitian ini menyimpulkan bahwa sifat mekanis yang terbaik untuk pengelasan Aluminium 6061 dengan metode *friction welding* terjadi pada variasi sudut *chamfer* 30^0 dan waktu gesek 120 detik.

Penelitian yang sudah dilakukan mengenai *rotary friction welding* yang dilakukan para peneliti banyak yang membahas tentang pemberian sudut *chamfer* dan membahas tentang parameter penekanan, waktu dan kecepatan putar. Penelitian lebih lanjut mengenai *rotary friction welding* harus dilakukan agar dapat menemukan parameter atau variasi yang tepat agar hasil sambungan lebih baik.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Pengertian Pengelasan

Ditinjau secara umum pengelasan adalah proses yang dilakukan untuk menyambungkan logam, baik logam sejenis atau berbeda jenis dengan memberikan pemanasan terhadap logam tersebut agar dapat mencapai titik leburnya, dan proses ini dilakukan dengan atau tanpa tekanan. Definisi pengelasan menurut *Deutsche Industrie Normen (DIN)* adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilakukan dalam keadaan lumer atau cair. Dengan kata lain, las merupakan sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas.

Pendapat lain juga dipaparkan oleh Charles dan John (1986) proses pengelasan adalah proses penyambungan bahan yang menghasilkan peleburan bahan dan memanasinya sampai suhu yang tepat dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam pengisi.

Sedangkan definisi pengelasan menurut Wiryosumarto dan Okumura (1996) pengelasan adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam

dengan menggunakan energi panas sehingga terjadi ikatan antara atom – atom atau molekul dari logam yang disambungkan.

Deutche Industrie Normen (DIN) mendefinisikan pengelasan adalah suatu ikatan metalurgi yang terjadi dalam sambungan logam dan paduan yang dalam prosesnya menggunakan keadaan tidak sampai mencair dan cair.

Penggolongan jenis las berdasarkan kondisinya :

a. Pengelasan cair (*fusion welding*)

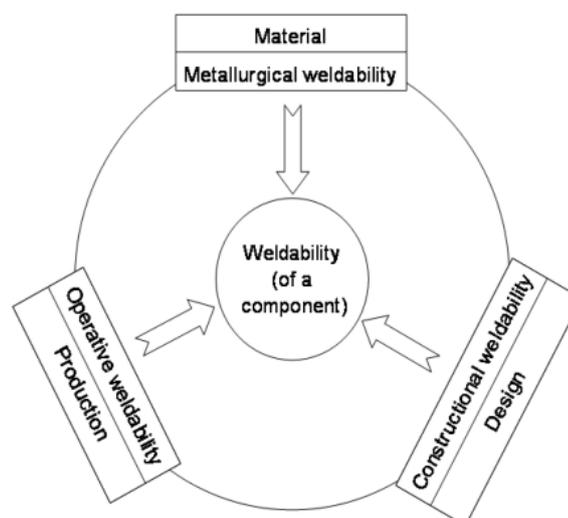
Pengelasan yang dilakukan dengan cara mencairkan logam menggunakan sumber panas dari busur listrik atau sumber api gas yang terbakar kemudian terjadilah sambungan.

b. Pengelasan padat (*solid state welding*)

Kondisi pengelasan yang mana logam yang dilas tidak sampai mencair.

2.2.2 Sifat Pengelasan

Menurut *Deutsches Institut fur Normung* (DIN) standar dari Jerman menyebutkan bahwa hasil pengelasan yang baik memiliki sifat mampu las yang mempunyai 3 kriteria yaitu *welding suitability of material* (kesesuaian material), *welding reliability of design* (kehandalan desain), dan *welding feasibility in manufacture* (kemudahan dalam manufaktur). Ketiga kriteria tersebut termasuk kedalam *weldability (of a component)* yang dapat kita lihat pada gambar 2.1 berikut ini.



Gambar 2.1 Sifat mampu las suatu komponen (DIN 8528)

Weldability adalah kemampuan suatu material logam yang dapat diberikan perlakuan las. Tiga kriteria diatas sangat penting untuk mendapatkan hasil yang baik dalam pengelasan, Kesesuaian material akan dipengaruhi oleh komposisi dan struktur dari bahan las. Untuk kehandalan desain las dipengaruhi oleh bentuk, ukuran, tipe dan susunan sambungan las. Dalam kemudahan manufaktur dipengaruhi oleh metode, kecepatan, dan bentuk celah las serta *clamping*, *preheating* dan *post weld heat treatment* yang akan berpengaruh pada kemudahan manufaktur.

2.2.3 Pengelasan Gesek (Friction Welding)

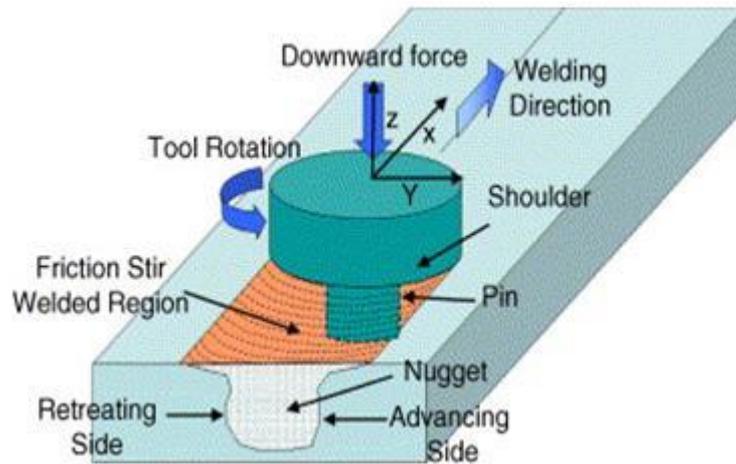
Pengelasan gesek (*friction welding*) adalah teknik pengelasan dengan memanfaatkan panas yang ditimbulkan akibat gesekan. Permukaan dari dua bahan yang akan disambung, salah satu berputar sedang lainnya diam, dikontakkan oleh gaya tekan. Gesekan pada kedua permukaan kontak dilakukan secara terus - menerus sehingga panas yang ditimbulkan oleh gesekan yang terus - menerus ini akan terus meningkat. Dengan gaya tekan dan panas pada kedua permukaan hingga pertemuan kedua bahan mencapai suhu leleh (*melting temperature*) maka terjadilah proses las.

Pengelasan gesek (*friction welding*) ini merupakan pengelasan *solid state* yang tidak sampai mencairkan logam yang akan di sambung. Pengelasan gesek (*friction welding*) dapat diklasifikasikan menjadi 3 berdasarkan metode penggesekan sambungan nya.

- a. *Friction stir welding*
- b. *Linier friction welding*
- c. *Rotary friction welding*

2.2.4 Friction Stir welding

Friction stir welding adalah suatu metode pengelasan gesek yang sumber panasnya berasal dari gesekan yang terjadi antara benda kerja dengan *tool* yang berputar. Proses pengelasan seperti ini biasanya dilakukan pada material logam yang berbentuk pelat.

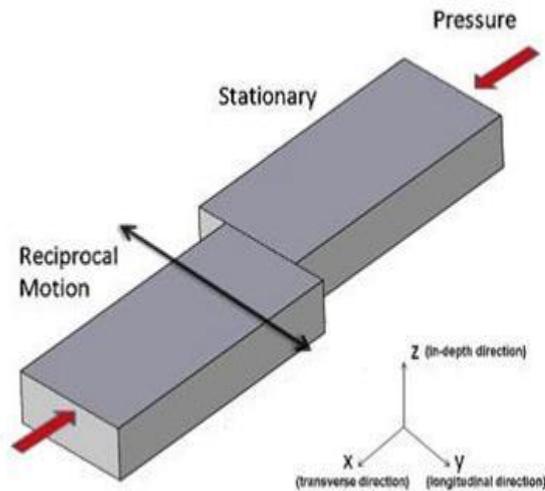


Gambar 2.2 Friction stir welding (Mishra & Ma, 2005)

Proses *friction stir welding* yaitu dimulai dengan memutar *tool* yang diposisikan tepat ditengah bagian yang akan dilas. Gesekan yang terjadi menimbulkan panas pada kedua pelat yang akan disambung, gesekan ini dilakukan dari ujung pelat yang akan di sambungkan sampai semua bagian yang dilas selesai.

2.2.5 Linier Friction Welding

Linier friction welding merupakan pengelasan gesek yang menggunakan metode dimana *chuck* bergerak berosilasi lateral. Kecepatan yang digunakan lebih rendah pada umumnya, dan membutuhkan mesin yang lebih kompleks dari pada *rotary friction welding*. *Linier friction welding* mempunyai keuntungan yaitu dapat menyambungkan material dengan bentuk apapun.

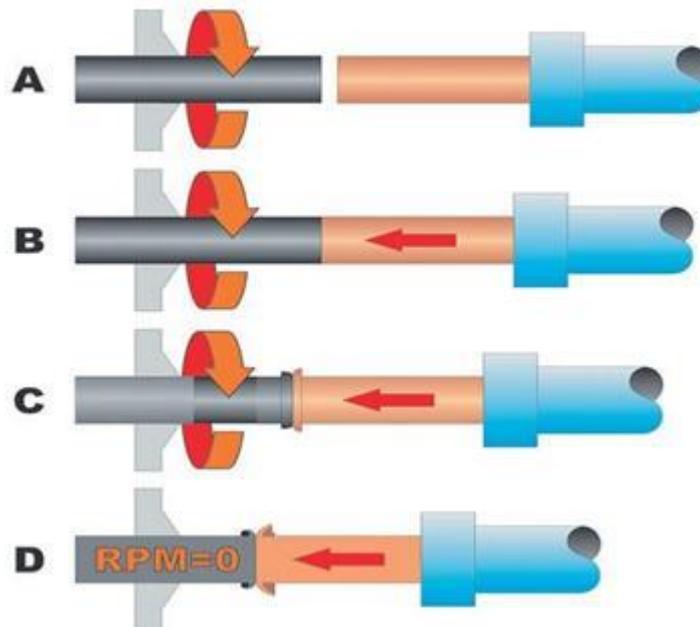


Gambar 2.3 Linear friction welding (Tea Sung Jun & Alexander M. Korsunsky, 2010)

Pada gambar 2.3 proses pengelasan gesek seperti ini salah satu material bergerak maju mundur dengan kecepatan dan di sentuhkan terhadap ujung material yang ingin disambung kemudian terjadi lah panas. Pemberian tekanan juga diperlukan agar dapat menghasilkan panas dan dapat menyatukan kedua material.

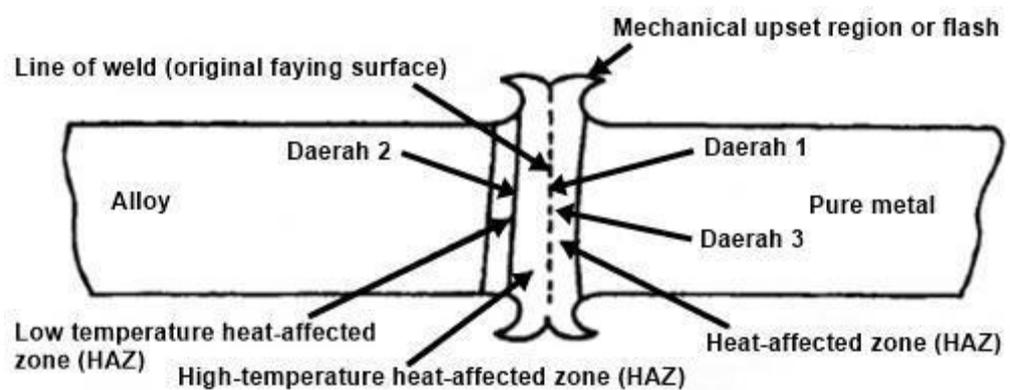
2.2.6 Rotary Friction Welding

Rotary Friction Welding adalah proses penyambungan material logam yang dilakukan dengan cara menggesekan kedua material logam yang akan di lakukan penyambungan sampai kedua logam tersebut mencapai keadaan yang memanas dan dilakukan penekanan tanpa maka logam tersebut akan tersambung. Panas yang terjadi di timbulkan dari ujung benda kerja yang saling digesekan. Pengelasan gesek ini termasuk kedalam jenis pengelasan solid state. Proses *rotary friction welding* dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Rotary friction welding (Alves, 2010)

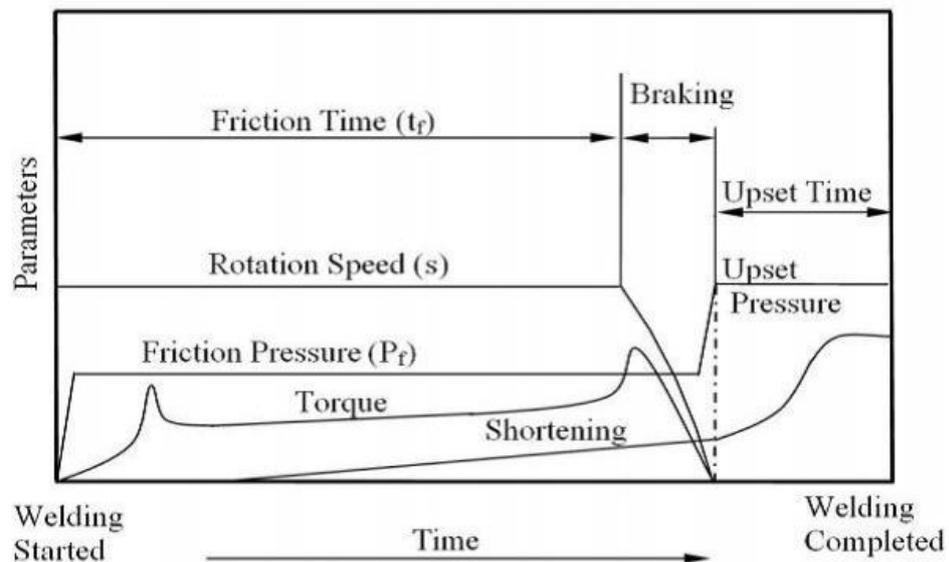
Teknologi las gesek ini mulai banyak diperhatikan, dikarenakan teknologi pengelasan gesek ini sangat mudah dioperasikan, proses operasinya cepat, tidak memerlukan logam pengisi, dan hasil penyambungannya baik. Mesin pengelasan gesek ini menyerupai mesin bubut sehingga mudah dioperasikannya. Dalam keadaan tertentu mesin bubut juga dapat dilakukan proses pengelasan gesek ini namun hanya dapat melakukan pengelasan gesek ini dengan diameter tertentu.



Gambar 2.5 Daerah pengelasan rotary friction welding (Paul, 2014)

Berdasarkan gambar 2.5 daerah pengelasan *rotary friction welding* terdapat 3 daerah. Daerah 1 adalah daerah gesekan (*friction phase*) merupakan daerah dimana dua buah logam di gesekan untuk meningkatkan temperatur. Waktu yang di butuhkan cukup besar dibandingkan daerah lainnya. Daerah 2 adalah daerah berhenti (*breaking phase*) dimana pada daerah ini durasi waktu harus secepat mungkin supaya temperatur panas tidak hilang. Daerah 3 adalah daerah penempaan / tempa (*forging phase*) dimana pada daerah ini diberi gaya tertentu dan diberi waktu saat penempaan berlangsung.

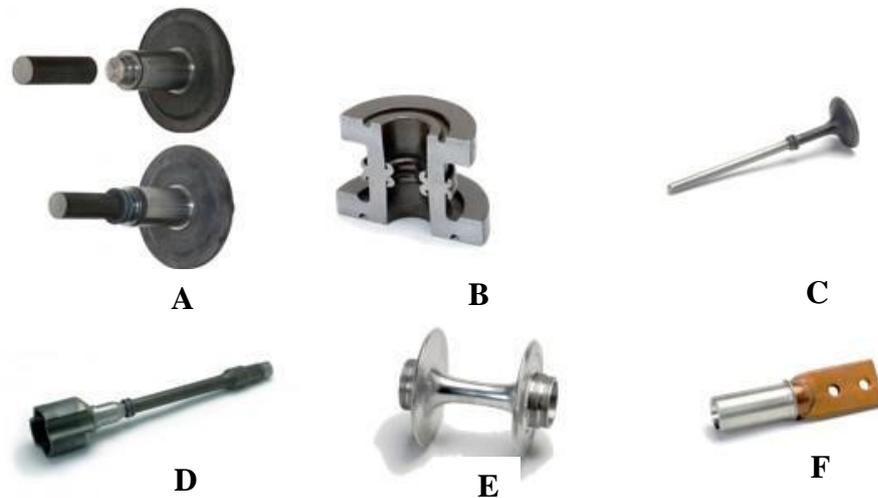
Pada pengelasan *rotary friction welding* terjadi pembentukan *flash*. *Flash* adalah lelehan yang keluar dari pusat bidang gesekan dan tempaan. Kemudian terjadi juga area yang terkena panas dari pengelesan yang disebut *Heat Affected Zone (HAZ)*. *Heat Affected Zone (HAZ)* adalah daerah yang mengalami perubahan struktur mikro dan sifat-sifat mekaniknya akibat pengaruh dari panas yang dihasilkan pada daerah inti. Daerah HAZ merupakan daerah palingkritis dari sambungan las, karena selain berubah strukturnya juga terjadi perubahan sifat pada daerah tersebut. Parameter dalam *rotary friction welding* ini berpengaruh terhadap hasil yang akan didapat. Berikut gambar 2.6 yang menunjukkan grafik parameter yang digunakan dalam melakukan *rotary friction welding*.



Gambar 2.6 Parameter rotary friction welding (Sahin, 2008)

Rotary Friction Welding (RFW) yang digunakan untuk melakukan sambungan silinder yang dilakukan tanpa adanya logam pengisi dan dapat

dilakukan dengan mudah dan cepat, sudah mulai diterapkan dalam dunia industri. RFW dalam dunia industri digunakan untuk menyambung komponen yang berbentuk silinder baik itu menggunakan logam sejenis atau berbeda jenis logamnya. Berikut adalah gambar 4.10 yang menunjukkan penerapan RFW dalam dunia industri.



Gambar 2.7 Aplikasi RFW dalam dunia industry A (drive pulley), B (counter gear), C (crank shaft), D (constant velocity universal joint), E (aluminium hub), dan F (casting clamp)

Sumber : (“(Friction Welding Product Examples) | Izumi Machine Mfg. JAPAN,” t.t.)

2.2.7 Keuntungan Pengelasan Gesek

Keuntungan dari las gesek adalah sebagai berikut:

- a. Proses yang ramah lingkungan karena tidak menghasilkan asap, gas atau asap
- b. Cocok untuk jumlah produksi yang banyak
- c. Kemungkinan terjadinya porositas dan inklusi terak dapat dihindarkan
- d. Bahan berbeda karakteristiknya dapat dilakukan dengan las gesek ini
- e. Proses las gesek ini konsisten dan berulang-ulang
- f. Mengonsumsi energi yang rendah dan tegangan las rendah
- g. Tidak ada bahan tambahan yang dibutuhkan

- h. Mengurangi biaya untuk tempa kompleks atau coran
- i. Memiliki kontrol yang akurat pada toleransi lasan
- j. Tidak ada fluks atau *filler* logam atau gas yang diperlukan dalam kasus las gesek

2.2.8 Aluminium

Aluminium adalah logam yang paling banyak terdapat di kerak bumi, dan unsur terbanyak ketiga setelah oksigen dan silikon. Aluminium pertama kali ditemukan sebagai unsur pada tahun 1809 oleh Sir Humphrey Davy. Beberapa tahun sesudahnya, yaitu pada tahun 1886 secara bersamaan Paul Heroult dari Perancis dan Charles Martin Hall dari Ohio memperoleh logam aluminium dari alumina dengan cara elektrolisa. Sifat tahan korosi aluminium diperoleh dari terbentuknya lapisan oksida aluminium dari permukaan aluminium. Lapisan oksida ini melekat kuat dan rapat pada permukaan, serta stabil (tidak bereaksi dengan lingkungan sekitarnya) sehingga melindungi bagian dalam (Surdia, T dan Saito, 1999). Aluminium merupakan logam ringan mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik. Adanya unsur tambahan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni dan sebagainya pada aluminium dapat meningkatkan kekuatan mekaniknya (Surdia, 2000).

Aluminium terdapat dua macam, yaitu :

a. Aluminium murni

Aluminium memiliki berat jenis 2,7 gram/ cm³, kira-kira sepertiga dari berat jenis baja (7,83 gram/ cm³), tembaga (8,93gram/ cm³), atau kuningan. Selain itu aluminium menunjukkan ketahanan korosi yang baik pada kebanyakan lingkungan termasuk udara, air (air garam), petrokimia dan lingkungan kimia lainnya. Dilihat dari konduktivitas thermalnya adalah antara 50-60 % dari tembaga, bersifat *nonmagnetic* dan tidak beracun (Surdia & Saito, 1995).

b. Aluminium paduan

Aluminium secara umum dapat di klasifikasikan menjadi dua yaitu *heat treatable* dan *non heat treatable*. Pada paduan *non heat treatable* dapat diperkuat dengan pengerjaan dingin, dan perlakuan panas yang dapat dilakukan adalah *annealing* untuk memperlunak akibat dari proses pengerasan. Paduan ini terdiri

dari Al-Mn, Al-Mg, dan Al-Si. Sedangkan pada paduan *heat treable* adalah paduan yang mengandung Cu, Zn, dan Mg serta Si. Paduan *heat treable* dapat diperkuat dengan memberikan perlakuan pengerasan penuaan, pengerasan presipitasi dan proses perlakuan panas lainnya (Surdia & Saito, 1995).

Pada aluminium paduan terdapat dua klasifikasi, yaitu dapat dilakukan perlakuan panas dan ada yang tidak dapat dilakukan perlakuan panas. Untuk paduan aluminium jenis cor yang dapat dilakukan perlakuan panas, yaitu seri 2xx.x, 3xx.x, 7xx.x, dan 8xx.x, sedangkan yang tidak dapat dilakukan perlakuan panas meliputi seri 1xx.x, 4xx.x, dan 5xx.x. Kemudian untuk paduan aluminium tempa yang dapat dilakukan perlakuan panas, yaitu seri 2xxx, 6xxx, 7xxx, dan 8xxx, sedangkan yang tidak dapat dilakukan perlakuan panas, yaitu seri 1xxx, 3xxx, 4xxx, dan 5xxx.

Pada paduan aluminium mempunyai sifat bergantung seri yang di miliki oleh aluminium, berikut adalah sifat dari seri yang di miliki oleh aluminium :

a. Aluminium seri 1xxx

Aluminium seri 1xxx adalah aluminium murni yang elemen paduan utamanya besi dan silicon. Hantaran listrik Aluminium kira – kira 65% dari hantaran listrik tembaga, maka dari itu dapat dilakukan pengelasan. Aluminium seri ini banyak digunakan untuk *sheet metal work*.

b. Aluminium seri 2xxx

Aluminium seri 2xxx adalah paduan Aluminium (Al) – Tembaga (Cu) Paduan ini dapat di lakukan heat treatment terutama yang mengandung (2,5 – 5%) Cu. Dari seri ini yang terkenal seri 2017 dikenal dengan nama “duralimin” mengandung 4%Cu, 0,5%Mg, 0,5%Mn pada komposisi standard. Pada paduan ini Mg ditingkatkan pada komposisi standard sehingga menjadi 4,5%Cu, 1,5%Mg, 0,5%Mn, dinamakan paduan 2024 yang bernama Duralumin Super. Paduan Aluminium yang mengandung Cu mempunyai ketahanan korosi yang buruk. Apabila ketahanan korosi diperlukan permukaannya harus dilapisi dengan Aluminium murni atau paduan Al yang tahan korosi yang disebut pelat Alkad. Aluminu seri ini mempunyai sifat las yang buruk.

c. Aluminium seri 3xxx

Manganese (Mn) adalah unsur yang memperkuat Al tanpa mengurangi ketahanan korosi dan dipakai untuk membuat paduan yang tahan korosi. Paduan dalam seri ini tidak dapat dikeraskan dengan proses heat treatment. Paduan seri 3xxx mempunyai sifat yang sama dalam hal ketahanan terhadap korosi, mampu potong dan sifat mampu lasnya, sedangkan dalam hal kekuatannya, jenis paduan ini jauh lebih unggul.

d. Aluminium seri 4xxx

Paduan Al - Si sangat baik kecairannya, yang mempunyai permukaan yang sangat bagus, tanpa kegetasan panas, dan sangat baik untuk paduan coran. Sebagai tambahan, paduan ini memiliki ketahanan korosi yang baik, sangat ringan, koefisien pemuaian yang sangat kecil, dan sebagai penghantar panas dan listrik yang baik. Paduan ini sangat banyak dipakai. Dalam hal ini modifikasi tidak perlu dilakukan. Sifat – sifat silumin diperbaiki oleh perlakuan panas dan sedikit diperbaiki oleh unsur paduan. Umumnya dilakukan paduan dengan 0,15 – 0,4Mn dan 0,5%Mg. Paduan yang memerlukan perlakuan panas ditambah dengan magnesium (Mg), cuprum (Cu) serta nickel (Ni) untuk memberikan kekerasan pada saat panas. Koefisien pemuaian termal silicon (Si) yang sangat rendah membuat koefisien termal paduannya juga rendah jikaditambah Si lebih banyak Telah dikembangkan paduan hypereutektik Al – Si sampai 29% Si untuk memperhalus butir primer Si. Proses penghalusan akan lebih efektif dengan penambahan phosphor (P) oleh paduan Cu-P atau penambahan fosfor klorida (PCI). Untuk mencapai presentasi 0'001%P, dapat tercapai penghalusan primer dan homogenisasi. Paduan Al – Si banyak dipakai sebagai elektroda untuk pengelasan yaitu terutama mengandung 5%Si. Paduan seri ini non heat treatable. Paduan seri 4032 mengandung 12,5% Si mudah ditempa dan memiliki koefisien muai panas sangat rendah.

e. Aluminium seri 5xxx

Aluminium seri 5xxx adalah paduan aluminium magnesium alloy. Dalam paduan biner Al - Mg satu fasa yang ada dalam keseimbangan dengan larutan padat Al adalah larutan padat yang merupakan senyawa antar logam Al_3Mg_2 . Paduan Al-Mg mempunyai ketahanan korosi yang sangat baik disebut hidrinalium. Paduan dengan 2-3% Mg dapat mudah ditempa, dirol dan

diekstrusi. Paduan Al-Mg umumnya non heat treatable. Seri 5052 dengan 2,5% Mg banyak digunakan untuk campuran minyak dan bahan bakar pesawat terbang. Seri 5052 biasa digunakan sebagai bahan tempaan. Paduan 5056 adalah paduan paling kuat setelah dikeraskan oleh pengerasan regangan apabila diperlakukan kekerasan tinggi. Paduan 5083 yang dianiling adalah paduan antara (4,5% Mg) yang kuat dan mudah dilas. Seri 5005 dengan 0,8% Mg banyak digunakan sebagai batang profil e-trusi. Seri 5050 dengan 1,2% Mg dipakai sebagai pipa saluran minyak dan gas pada kendaraan.

f. Aluminium seri 6xxx

Aluminium seri 6xxx adalah paduan aluminium magnesium silicon alloy. Penambahan sedikit Mg pada Al akan menyebabkan pengerasan penuaan sangat jarang terjadi, namun apabila secara simultan mengandung Si, maka dapat diperkeras dengan penuaan panas setelah perlakuan pelarutan. Hal ini dikarenakan senyawa Mg_2Si berkelakuan sebagai komponen murni dan membuat keseimbangan dari sistem biner semu dengan Al. Paduan dalam sistem ini memiliki kekuatan yang lebih kecil dibanding paduan lainnya yang digunakan sebagai bahan tempaan, tetapi sangat liat, sangat baik kemampuan bentuknya untuk penempaan, ekstrusi dan sebagai tambahan dapat diperkuat dengan perlakuan panas setelah pengerjaan. Magnesium dan Silikon membentuk senyawa Mg_2Si (Magnesium Silisida) yang memberikan kekuatan tinggi pada paduan ini setelah proses heat treatment. Seri 6053, 6061, 6063 memiliki sifat tahan korosi sangat baik dari pada *heat treatable* aluminium lainnya.

g. Aluminium seri 7xxx

Aluminium zink alloy, paduan ini termasuk jenis yang dapat dilakukan perlakuan panas. Biasanya ke dalam paduan pokok Al-Zn ditambahkan Mg, Cu dan Cr. Kekuatan tarik yang dapat dicapai lebih dari 504 Mpa, sehingga paduan ini dinamakan juga ultra duralumin yang sering digunakan untuk struktur rangka pesawat. Berlawanan dengan kekuatan tariknya, sifat mampu las dan daya tahannya terhadap korosi kurang menguntungkan. Akhir-akhir ini paduan Al-Zn-Mg mulai banyak digunakan dalam konstruksi las, karena jenis ini mempunyai

sifat mampu las dan daya tahan korosi yang lebih baik daripada paduan dasar Al-Zn.

Table 2.1 Tabel klasifikasi paduan aluminium (Surdia, 2000).

Standar AA	Standar Alcoa terdahulu	Keterangan
1001	1S	Al murni 99,5% atau di atasnya
1100	2S	Al murni 99,0% atau di atasnya
2010-2029	10S-29S	Cu adalah unsur paduan utama
3003-3009	3S-9S	Mn adalah unsur paduan utama
4030-4039	30S-39S	Si adalah unsur paduan utama
5050-5086	50S-69S	Mg adalah unsur paduan utama
6061-6069		Mg ₂ Si adalah unsur paduan utama
7070-7079	70S-79S	Zn adalah unsur paduan utama

Paduan aluminium – magnesium – silikon termasuk kedalam jenis yang bisa diperlakukan panas dan memiliki sifat mampu potong, mampu las, dan tahan karat yang cukup baik (Wiryosumarto, 2000). Apabila magnesium dan silikon dipadukan dengan aluminium, maka terbentuklah magnesium silikat (Mg₂Si), kebanyakan paduan aluminium mengandung Si, sehingga penambahan magnesium dibutuhkan untuk mendapatkan efek penguatan dari Mg₂Si. Tetapi sifat paduan ini akan menjadi getas, sehingga untuk mengurangi hal tersebut, penambahan dibatasi antara 0,03% - 0,1%. Paduan logam murni dan coran yang diperlakukan panas mempunyai beberapa fase yang terlarut sehingga muncul dalam jumlah dan lokasi yang bervariasi didalam mikrostruktur yang bergantung pada temperatur spesimen. Pada jenis paduan 6xxx, fase *intermetalik* yang umum adalah Mg₂Si.

Cara membaca seri aluminium dengan standar internasional. Biasanya pengkodean dari seri aluminium terdiri dari empat angka, yaitu :

- a. Angka pertama = menunjukkan seri kelompok paduan

- b. Angka kedua = menunjukkan modifikasi paduan murni atau batas ketidak murnian.
- Angka 0 menunjukkan paduan yang murni
 - Angka 1 – 9 menunjukkan minimum persentase Al
- c. Dua angka terakhir = minimum persentase Al.

2.2.9 Sifat Mekanis Aluminium

Sifat mekanis suatu bahan adalah kemampuan bahan untuk menahan beban – beban yang diberikan. Beban tersebut dapat berupa beban tarik, beban tarik, tekan, bengkok, geser, puntir, atau beban kombinasi. Berikut adalah sifat mekanis dari Aluminium :

a. Kekuatan dan Kekerasan Aluminium

Kekuatan dan kekerasan aluminium tidak begitu tinggi. Namun, dengan adanya pepaduan dan *heat treatment* dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasannya. Kebanyakan material aluminium ditingkatkan kekuatannya dengan suatu mekanisme penguatan bahan logam yang disebut *precipitation hardening*. Dalam *precipitation hardening* harus ada dua fasa, yaitu fasa yang jumlahnya lebih banyak disebut *matriks* dan fasa yang jumlahnya lebih sedikit disebut *precipitate*. Mekanisme penguatan ini meliputi tiga tahapan, yaitu *solid solution treatment*/memanaskan hingga diatas garis *solvus* untuk mendapatkan fasa larutan padat yang *homogeny*, *quenching*/didinginkan dengan cepat untuk mempertahankan struktur mikro fasa padat *homogeny* agar tidak terjadi *difusi*, dan *aging*/dipanaskan dengan temperatur tidak terlalu tinggi agar terjadi *difusi* fasa alpha pada jarak membentuk *prehipitate*. Selain itu, ada beberapa cara pengujian kekerasan yang berstandar yang digunakan untuk menguji kekerasan logam yaitu antara lain pengujian *Brinell*, *Rockwell*, *Vickers*, *Shore*, dan *Meyer*.

b. Modulus Elastisitas

Aluminium memiliki modulus elastisitas yang lebih rendah bila dibandingkan dengan baja maupun besi, tetapi dari sisi strength to height ratio, Aluminium lebih baik. Aluminium yang elastis memiliki titik lebur yang lebih rendah dan kepadatan.

c. Keuletan (*ductility*)

- Batas elastis σ_e (*elastic limit*) dinyatakan dengan titik A. Bila ada sebuah bahan yang diberi beban sampai pada titik A, kemudian bebannya tersebut dihilangkan, maka bahan tersebut kemudian akan kembali ke kondisi awal (tepatnya hampir kembali ke kondisi awal) yaitu regangan “nol” pada titik O.
- Batas proporsional σ_p (*proportional limit*) yaitu sebuah titik sampai di mana titik tersebut untuk menerapkan hukum Hook masih bisa ditolerir. Umumnya batas proporsional sama dengan batas elastis.
- Deformasi plastis (*plastic deformation*) merupakan suatu perubahan bentuk yang kondisinya tidak akan kembali ke kondisi awalnya. Seperti yang ditunjukkan oleh gambar yaitu jika bahan ditarik sampai melewati batas proporsional dan kemudian mencapai daerah landing.
- Tegangan luluh atas σ_{uy} (*upper yield stress*) adalah suatu tegangan maksimum sebelum bahan menginjak ke fase daerah landing peralihan dari deformasi elastis ke plastis.
- Tegangan luluh bawah σ_{ly} (*lower yield stress*) adalah tegangan rata-rata pada daerah landing sebelum benar-benar menginjak fase deformasi plastis. Tegangan disini adalah tegangan yang sering disebut dengan tegangan luluh (*yield stress*).
- Regangan luluh ϵ_y (*yield strain*) adalah regangan permanen pada saat bahan akan menginjak fase deformasi plastis.
- Regangan elastis ϵ_e (*elastic strain*) adalah regangan yang diakibatkan perubahan elastis bahan. Pada saat beban dilepaskan regangan ini akan kembali ke posisi semula.
- Regangan plastis ϵ_p (*plastic strain*) adalah regangan yang dikarenakan perubahan plastis. Pada saat beban mulai dilepaskan regangan ini akan tetap tinggal sebagai perubahan permanen bahan.
- Regangan total (*total strain*) merupakan gabungan antara regangan plastis dan regangan elastis. $\epsilon_t = \epsilon_e + \epsilon_p$ Perhatikan beban dengan arah OABE. Pada titik B, merupakan regangan total. Ketika beban mulai dilepaskan, posisi regangan ada pada titik E dan besar regangan yang tinggal (OE) merupakan regangan plastis.

- Tegangan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*) yang ditunjukkan oleh titik C ($\sigma\beta$), merupakan besarnya tegangan maksimum yang akan diperoleh dalam uji tarik.
- Kekuatan patah (*breaking strength*) yang ditunjukkan oleh titik D, merupakan besarnya tegangan di mana bahan yang sudah diuji telah putus.

Hukum Hooke (*Hooke's Law*) untuk hampir semua jenis logam, pada tahap awal merupakan tahap uji tarik, hubungan diantara beban ataupun gaya yang diberikan akan berbanding lurus dengan perubahan panjang bahan. Pada kondisi ini akan menimbulkan daerah *linier*. Pada daerah ini, kurva pertambahan panjang berselisih dengan beban mengikuti aturan Hooke, yaitu rasio tegangan (*stress*) rumus persamaan 2.1 dan regangan (*strain*) rumus persamaan 2.2 adalah konstan. *Stress* adalah beban dibagi luas penampang bahan dan *strain* adalah pertambahan panjang dibagi panjang awal bahan.

$$\text{Stress: } \sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

F : gaya tarikan,

A : luas penampang

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

Keterangan:

ΔL : pertambahan panjang,

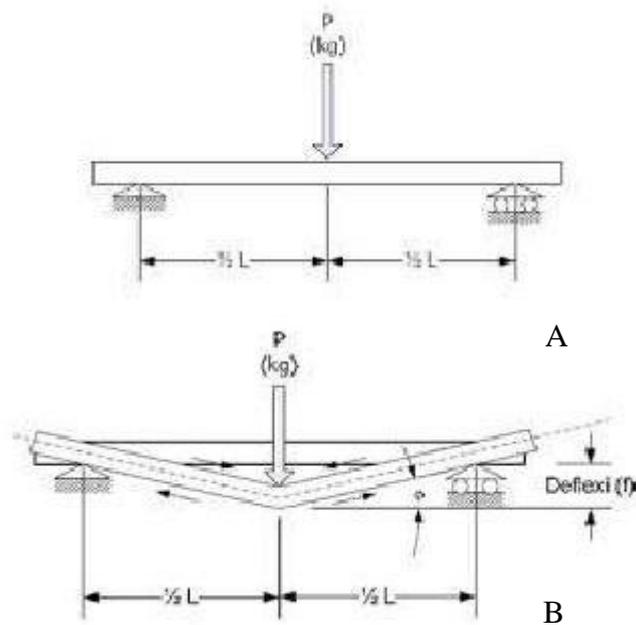
L : panjang awal.

Hubungan gaya tarik dan pertambahan panjang menjadi hubungan antara tegangan dan regangan. Kemudian didapatkan kurva yang merupakan standar eksperimen uji tarik. E merupakan gradien kurva pada daerah linier, di mana perbandingan antara tegangan (σ) dan regangan (ε) selalu tetap. E disebut dengan "*Modulus Elastisitas*" atau "*Young Modulus*". Kurva hubungan yang menyatakan antara *strain* dan *stress* disingkat kurva SS (*SS curve*).

2. Pengujian Bending

Uji *bending* adalah pengujian yang dapat menentukan kualitas suatu material karena dapat memberikan informasi mengenai kekuatan lenturnya.

Selain itu, uji *bending* juga dapat memberikan informasi mengenai modulus elastisitas material. Berikut adalah skema dari pengujian bending.



Gambar 2.9 Pembebanan uji bending (A), pengaruh pembebanan uji bending (B)

Terdapat dua metode dalam pengujian bending ini, metode tersebut adalah sebagai berikut :

- *Three Point Bending*

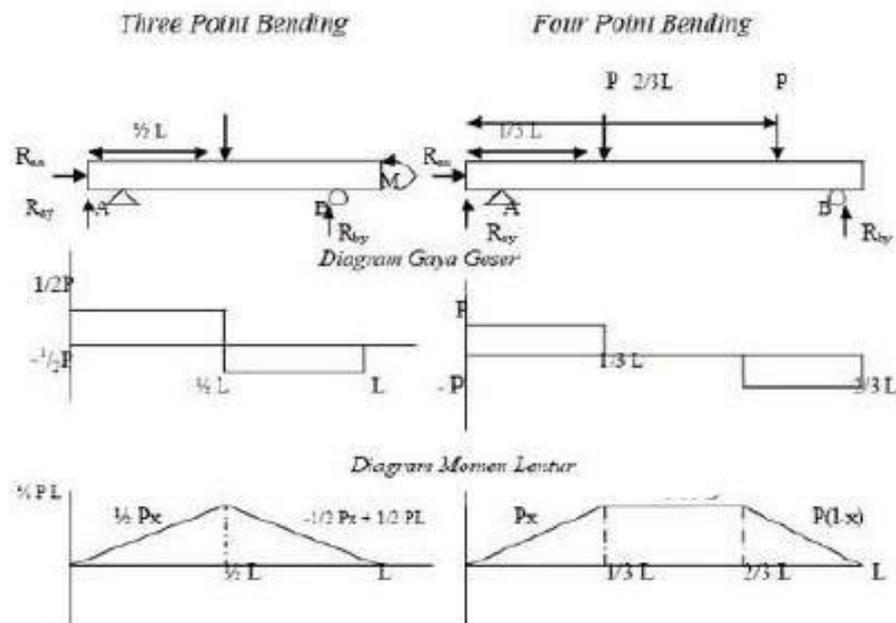
Three Point Bending adalah pengujian bending yang dilakukan dengan memberikan dua titik tumpu, dengan satu beban pada tengah – tengah ukuran panjang spesimen uji. Pembebanan pada spesimen harus berada ditengah ukuran spesimen agar hasil yang didapat merupakan hasil momen maksimum dari spesimen uji.

- *Four Point Bending*

Spesimen diberi beban pada dua titik, yaitu pada $1/3 L$ dan $2/3 L$. Pembebanan menggunakan metode ini jauh lebih baik daripada metode *three point bending*, hal ini dikarenakan pada *Three Point Bending*, momen maksimumnya berada pada satu titik, sehingga dapat menyebabkan kesalahan dalam penghitungan karena tidak tepat pada titik tersebut. Berbeda dengan

metode *Four Point Bending* yang nilai momen maksimumnya berada dalam interval tertentu, sehingga kesalahan akibat ketidak presisian titik dapat dihindari.

Berikut adalah gambar 2.10 yang menunjukkan perbandingan antara bending 3 point dan bending 4 point.



Gambar 2.10 Perbandingan bending 3 point dengan 4 point

Faktor yang harus diperhatikan dalam uji bending adalah sebagai berikut :

- Titik pada Pembebanan

Titik pembebanan pada pengujian bending dapat mempengaruhi data yang diperoleh. Dalam pengujian bending, nilai momen yang digunakan adalah nilai momen maksimum yang terjadi pada spesimen. Momen maksimum terjadi pada jarak tertentu pada spesimen. Oleh karena itu titik yang menjadi sasaran pembebanan haruslah titik dimana terjadinya momen maksimum pada spesimen agar momen yang didapatkan adalah momen maksimum.

- Jarak Tumpuan

Jarak tumpuan yang digunakan haruslah sesuai dengan standar, tidak terlalu jauh dan tidak terlalu dekat. Jarak tumpuan yang terlalu dekat dapat menyebabkan defleksi yang dapat terjadi terbatas karena bagian bawah spesimen telah lebih dulu menabrak bagian mesin. Jarak tumpuan yang terlalu jauh dapat memakan waktu yang lama.

Fenomena yang terjadi pada Uji *Bending* :

- *Deformasi Plastis*.

Deformasi plastis adalah perubahan bentuk suatu material secara permanen. Meskipun beban yang diberikan dihilangkan, material tersebut tidak dapat kembali ke bentuk semula.

- *Strain Hardening*.

Pada pengujian bending terjadi fenomena strain hardening. Strainhardening adalah fenomena pada material yang menyebabkan material tersebut menjadi lebih keras dan kuat ketika mengalami *deformasi plastis*

Pengukuran kekuatan *flexural* yang terjadi pada spesimen dilakukan melalui persamaan berikut :

$$\sigma = \frac{Mxc}{I} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

- σ = kekuatan *flexural* (Pa)
- M = momen lentur pada penampang melintang yang ditinjau (Nm)
- c = jarak dari sumbu netral ke elemen yang ditinjau (m)
- I = momen inersia penampang (m⁴)

Nilai momen lentur pada penampang melintang dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$M = \frac{PxL}{4} \dots\dots\dots(2.4)$$

- M = momen lentur pada penampang melintang yang ditinjau (Nm)
- P = beban yang diberikan (N)
- L = panjang specimen (m)

Momen inersia pada penampang persegi mempunyai rumus :

$$I = \frac{bxh^3}{12} \dots\dots\dots(2.5)$$

- I = momen inersia penampang (m⁴)
- b = lebar specimen (m)
- h = tebal specimen (m)

Sedangkan momen inersia pada penampang berbentuk silinder / lingkaran mempunyai rumus :

$$I = \frac{\pi x r^4}{4} \dots\dots\dots(2.6)$$

- I = momen inersia penampang (m⁴)
- r = jari – jari lingkaran (m)
- π = konstanta yang mempunyai nilai 3.14

Mencari nilai c, yang mana c adalah jarak dari sumbu netral ke elemen yang ditinjau (m), untuk penampang persegi mempunyai rumus c, yaitu :

$$c = \frac{d}{2} \dots\dots\dots(2.7)$$

Sedangkan untuk penampang berbentuk lingkaran mempunyai rumus c :

$$c = r \dots\dots\dots(2.8)$$

3. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan adalah pengujian yang dilakukan untuk menentukan kekerasan suatu material, pengujian ini juga merupakan faktor penting dalam menentukan sifat mekanis material. Metode pengujian kekerasan ini ada 3 metode. Tiga metode tersebut yaitu *Rockwell*, *Brinell*, dan *Vickers*. Dari ketiga metode pengujian kekerasan tersebut akan meninggalkan bekas penekanan yang dapat dijadikan penilaian seberapa keras material benda uji tersebut. Semakin kecil bekas indenter yang terdapat pada material uji, maka akan semakin keras material tersebut. Menurut Sofyan (2010) kekerasan adalah ukuran ketahanan material terhadap deformasi plastis terlokalisasi. Sebelum 3 metode pengujian kekerasan yang tadi di sebutkan, terdapat metode mohs yang digunakan pada zaman dahulu untuk menguji kekerasan suatu material, berdasarkan skala kemampuan material untuk menggores material lain, setelah itu menyesuaikan dengan nilai yang ada pada skala mohs. Skala mohs dimulai dari 1 = talc sampai dengan 10 = diamond. Saat ini metode yang digunakan untuk melakukan pengujian kekerasan yaitu :

- Pengujian Kekerasan *Rockwell*

Metode pengujian yang sangat sederhana karena tidak diperlukan pengukuran dari jejak indentasi. Nilai yang didapat mengenai keraskan langsung di tampilkan oleh mesin uji setelah penjejakkan selesai dilakukan. Jenis indentor yang di miliki oleh pengujian kekerasan *Rockwell* ini terdapat dua jenis, yaitu intan berbentuk kerucut dengan sudut 120^0 (*indentor brale*) digunakan untuk menguji material yang keras, dan bola baja yang dikeraskan dengan diameter 1/16, 1/8, 1/4, dan 1/2 *inchi* yang digunakan untuk menguji material lunak.

- Pengujian kekerasan *Brinell*

Pengujian kekerasan dengan memberikan beban antara 500 dan 3000 kgf pada permukaan yang rata pada specimen. Menggunakan indentor baja yang dikeraskan dengan diameter 5 mm atau 10 mm. Bekas indentor kemudian diukur dengan menggunakan mikroskop dan dikonversikan menjadi persamaan 2.9 berikut.

$$BHN = \frac{2P}{[\pi D(D - (D^2 - d^2))^{\frac{1}{2}}]} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

- P = menunjukkan beban (kgf)
- D = diameter bola indentor (mm)
- d = diameter jejak (mm)

- Pengujian kekerasan *Vickers*

Pengujian kekerasan yang digunakan untuk material yang mempunyai tingkat kekerasan tinggi dan tidak dapat diukur dengan metode pengujian kekerasan dengan *brinell*. Indentornya adalah piramida intan yang memiliki dasar berbentuk persegi dengan beban 1 – 120 kgf. Pembebanan dilakukan selama 10 – 15 detik dan jejak yang ditimbulkan dengan bentuk intan diukur kedua diameternya dalam mm. Untuk nilai kekerasannya dapat digunakan persamaan 2.10 berikut ini.

$$VHN = \frac{1,854 P}{d^2} \dots\dots\dots(2.10)$$

P = beban indentasi (kgf), dan d = rata – rata diameter bekas indentor (mm).

4. Pengujian Metallografi

Metallografi adalah ilmu yang mempelajari tentang cara pemeriksaan logam untuk mengetahui sifat, struktur, temperatur dan prosentase campuran logam tersebut. *Metallografi* merupakan suatu pengetahuan yang khusus mempelajari struktur logam dan mekanisnya. Dalam *metallografi* dikenal pengujian makro (*macroscopic test*) dan pengujian mikro (*microscopic test*).

- Pengujian makro (*macroscopic test*)

Proses pengujian bahan yang menggunakan mata terbuka dengan tujuan dapat memeriksa celah dan lubang dalam permukaan bahan. Angka kevalidan pengujian makro berkisar antara 0,5 sampai 50 kali. Pengujian cara demikian biasanya digunakan untuk bahan-bahan yang memiliki struktur kristal yang tergolong besar atau kasar. Misalnya, logam hasil coran (tuangan) dan bahan yang termasuk *non-metal* (bukan logam).

- Pengujian mikro (*microscopic test*)

Proses pengujian terhadap bahan logam yang bentuk kristal logamnya tergolong sangat halus. Mengingat demikian halusanya, sehingga pengujiannya menggunakan suatu alat yaitu mikroskop optis bahkan mikroskop elektron yang memiliki kualitas pembesaran antara 50 hingga 3000 kali.

Pengujian *metallografi* dapat memberikan gambar-gambar dari struktur logam yang diuji sehingga dapat diteliti lebih lanjut mengenai hubungan struktur pembentuk logam dengan sifat-sifat logam tersebut. Langkah – langkah dalam melakukan pengujian ini yaitu, pemotongan, mounting (melakukan pelapisan dengan bahan resin), pengampelasan (menghaluskan), pemolesan (agar mendapat permukaan yang halus tanpa goresan dan mengkilap), dan etsa (mengikis batas butir pada logam).

5. Pengujian Dye Penetrant

Pengujian *dye penetrant* adalah pengujian yang tidak merusak digunakan untuk mengetahui diskontinuitas halus pada permukaan seperti retak, berlubang atau kebocoran. Pada prinsipnya metoda pengujian dengan *dye penetrant* memanfaatkan daya kapilaritas. Kapilaritas adalah peristiwa naik atau turunnya permukaan zat cair pada *discontinuity*. *Discontinuity* adalah ketidaksempurnaan

pada material akibat proses manufaktur, seperti lubang, retakan, kotoran dan sebagainya. Proses ini banyak digunakan untuk menyelidiki keretakan permukaan (*surface cracks*), kekeroposan (*porosity*), dan lapisan-lapisan bahan. Penggunaan uji *liquid penetrant* tidak terbatas pada logam *ferrous* dan *non ferrous* saja tetapi juga pada *ceramics*, *plastic*, gelas, dan benda-benda hasil *powder metalurgi*. Langkah - langkah dalam melakukan pengujian *dye penetrant*, yaitu :

- *Pre cleaning*

Pertama-tama sebelum dilakukan pengujian *liquid penetrant*, *specimen* (*weld part*) dibersihkan terlebih dahulu dengan cara mengelap permukaan menggunakan kain lap, kemudian kain lap yang lebih bersih dibasahi dulu dengan *cleaner* lalu digosokkan pada *specimen* untuk membersihkan *specimen* dari kotoran, oli, lemak-lemak, dan lain-lain. Kemudian *specimen* disemprot dengan *cleaner* kemudian *material* uji di lap hingga benar-benar bersih

- Menentukan *Dwell time*

Dwell time ditentukan agar dapat menghasilkan data yang sesuai dengan yang diinginkan. *Dwell time* ditentukan dengan dua pertimbangan, yang pertama ditentukan dari bahan *penetrant* tersebut, dan yang kedua menggunakan tabel standard dari ASME 2010 *section V article 6*, berdasarkan bahan yang digunakan. Karena *material* ujinya berupa *weld part* maka *dwell time* penetrasi minimumnya adalah 5 menit

- Menyemprotkan *penetrant*

Penyemprotan cairan *penetrant* ke *material* uji dengan *dwell time* 7 menit yang ditujukan agar diperoleh penetrasi *liquid penetrant* yang baik. Selain itu juga warna cairan *penetrant* yang digunakan berbeda (kontras) dengan warna *developer* yang digunakan supaya dapat diketahui secara visual diskontinuitas yang ada.

- *Cleaning* sisa *penetrant*

Setelah *liquid penetrant* disemprotkan, dan dengan menggunakan *dwell time* 7 menit, *liquid penetrant* yang ada di daerah spesimen yang akan diamati, dibersihkan dengan menggunakan *cleaner*. Caranya yaitu dengan mengelap permukaan *specimen* dengan kain kering terlebih dahulu, kemudian mengelap kembali dengan lap yang sudah dilembabkan dengan *cleaner*. Perhatikan kain

yang digunakan harus bersih karena dikhawatirkan kotoran yang ada pada kain akan menempel pada spesimen uji.

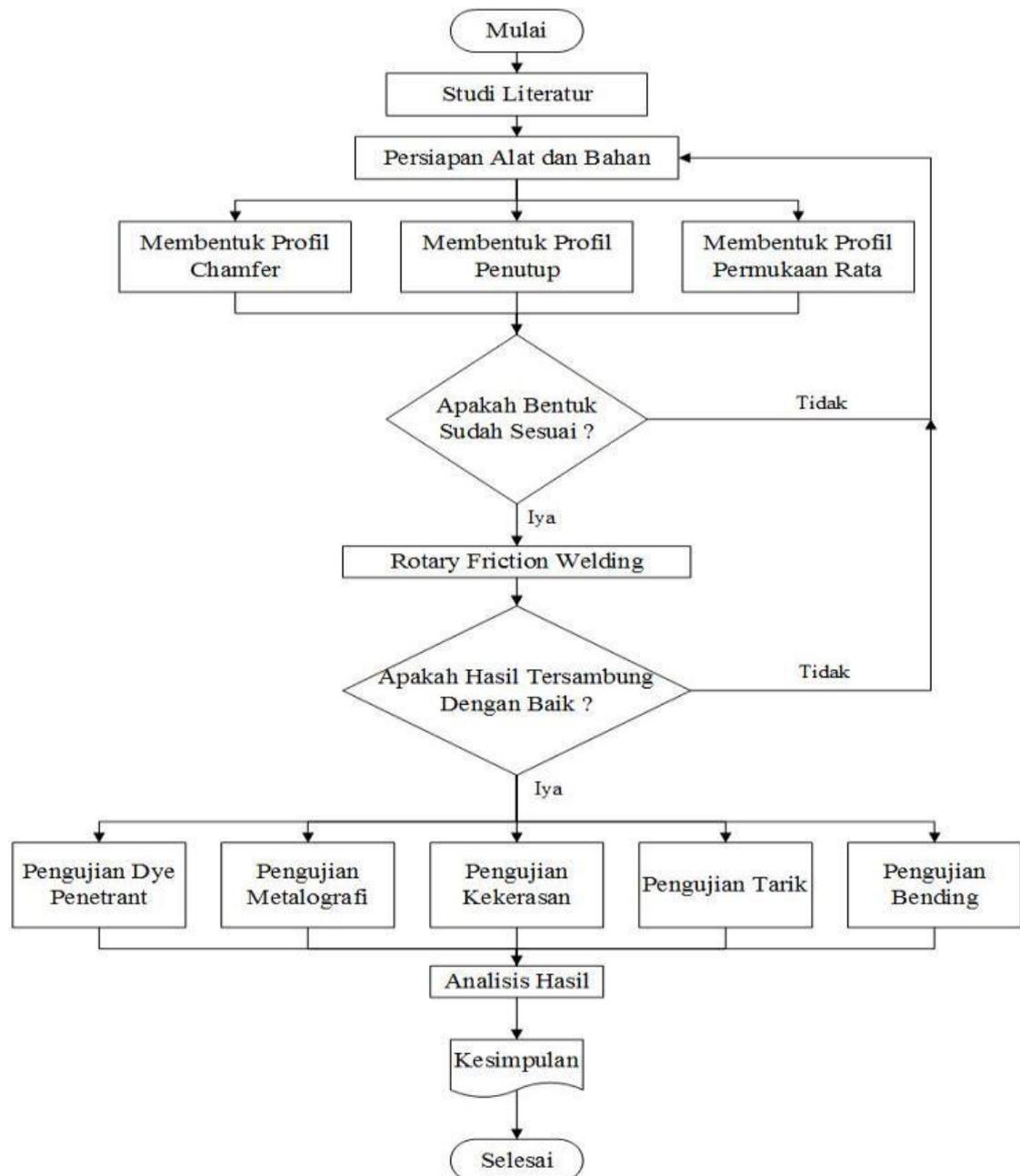
- Menyemprotkan *remover*

Sebelum disemprotkan *developer* terlebih dahulu melihat *dwell time* dari *developer* yang digunakan. *Dwell time* dari *developer* yaitu minimum 10 menit. Setelah itu barulah disemprotkan ke *material* uji dengan jarak penyemprotan ± 25 *centimeter* sehingga diperoleh penyemprotan yang rata ke seluruh permukaan *material* uji. Setelah ditunggu sekitar 10 – 60 menit barulah terlihat cairan *penetrant* yang berwarna jika terdapat cacat pada material. Warna yang terlihat tersebut kemudian diukur panjangnya dan didokumentasikan untuk diperoleh data yang lebih baik mengenai diskontinuitas yang diperoleh dari pengujian *Non-Destructive Test* dengan menggunakan *dye penetrant*.

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini terdapat alur yang dibuat agar prosedur penelitian tertata dan terarah dengan tujuan yang di inginkan. Berikut adalah gambar 3.1 yang menjelaskan alur penelitian ini.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Peralatan dan Bahan

Adapun peralatan dan bahan yang digunakan dalam melakukan penelitian ini dan harus dipersiapkan agar penelitian ini berjalan sesuai dengan harapan. Bahan dan peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

a. Aluminium seri 4017

Aluminium seri 4017 adalah bahan yang digunakan dalam melakukan penelitian mengenai pengelasan *rotary friction welding* dengan memberikan variasi bentuk. Aluminium seri 4017 ini mempunyai bentuk silinder pejal. Ukuran diameter yang di pakai dalam melakukan penelitian ini yaitu $d = 16 \text{ mm}$. Berikut gambar 3.2 yang menunjukkan bahan yang dipakai dalam penelitian ini.



Gambar 3.2 Aluminium seri 4017 diameter 16mm

Adapun komposisi kimia dari Aluminium 4017 yang digunakan sebagai bahan penelitian dapat di lihat pada berdasarkan pengecekan komposisi table 3.1 berikut.

Table 3.1 Komposisi kimia Aluminium seri 4017

Alloy	Mg	Si	Fe	Cu	Cr	Zn	Mn	Ti
4017	0.1964%	0,62%	0.3417%	0.175%	0.0663%	0.075%	0.0273%	0.0214%

b. Mesin Lathe

Mesin lathe atau yang sering disebut dengan mesin bubut adalah alat yang digunakan untuk melakukan pembuatan variasi bentuk dan juga digunakan untuk melakukan proses pengelasan *rotary friction welding*. Penggunaan mesin bubut untuk melakukan pengelasan *rotary friction welding* ini kecepatan putar yang dimiliki mesin bubut. Berikut adalah gambar 3.3 mengenai mesin bubut yang di pakai.



Gambar 3.3 Mesin Lathe

c. Chuck

Chuck adalah peralatan yang digunakan untuk mencengkram mata *drill* atau bor. Pada penelitian ini, *chuck* digunakan sebagai pencekram mata bor dan juga di pakai untuk mencekam aluminium seri 4017 dengan diameter 16mm. berikut gambar 3.4 *chuck* yang di pakai pada penelitian ini.



Gambar 3.4 chuck bor

d. Mata Pahat

Mata pahat digunakan untuk memberikan variasi bentuk terhadap bahan yang akan dilakukan penelitian. Berikut gambar 3.5 mata pahat yang di pakai untuk memberikan variasi bentuk sebelum dilakukannya pengelasan *rotary friction welding*.



Gambar 3.5 Mata Pahat HSS

e. Mata Drill 10 mm

Mata bor 10 mm ini digunakan untuk membuat bentuk negative (lubang) yang nantinya di pasang dengan bentuk positif (tonjolan 10mm) pada saat

akan dilakukannya pengelasan *rotary friction welding*. Berikut adalah gambar 3.6 mata bor untuk membuat bentuk minus.



Gambar 3.6 Mata Drill 10mm

f. *End Mill* 10 mm

End mill 10 mm digunakan untuk meratakan hasil dari pelubangan mata bor, sehingga lubang tersebut menjadi rata tidak seperti kerucut pada ujungnya. Berikut gambar 3.7 end mill 10 mm.



Gambar 3.7 End mill 10mm

g. Penggaris

Penggaris digunakan untuk mengukur panjang bahan yang akan di potong. Pemotongan panjang bahan diberikan sebelum dilakukannya proses

pembuatan profil bahan. berikut gambar 3.8 penggaris untuk memberikan ukuran bahan.



Gambar 3.8 Penggaris ukur panjang bahan

h. Gerinda

Gerinda digunakan untuk memotong bahan aluminium seri 4017 dengan diameter 16 mm. Berikut gambar 3.9 untuk gerinda yang di pakai memotong bahan aluminium.



Gambar 3.9 Mesin Gerinda Tangan

i. Ragum

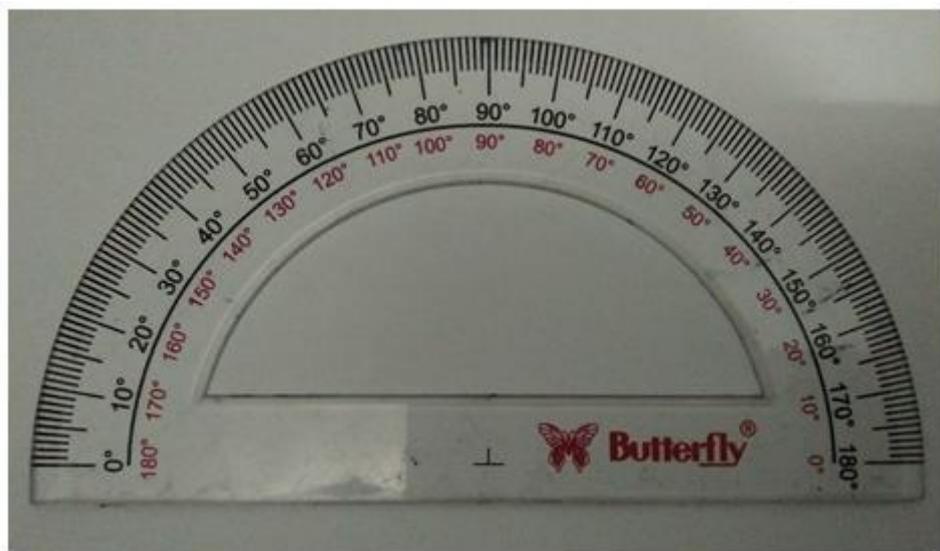
Dalam penelitian ini ragum digunakan untuk menahan bahan dengan kuat saat dilakukannya pemotongan bahan. Berikut gambar 3.10 untuk ragum yang digunakan.



Gambar 3.10 Ragum

j. Busur Derajat

Busur derajat adalah alat untuk mengukur sudut. Pada penelitian ini digunakan untuk mengukur sudut mata pahat yang nantinya dapat membuat chamfer pada bahan aluminium 4017 dengan sudut $\pm 26.56^{\circ}$. berikut gambar 3.11 busur derajat untuk mengukur sudut yang akan diberikan untuk bentuk *chamfer*.



Gambar 3.11 Busur Derajat

k. Vernier Caliper

Vernier caliper atau jangka sorong digunakan untuk mengukur kedalaman dan diameter yang diberikan pada bentuk penutup. Berikut adalah gambar 3.12 mengenai *vernier caliper* yang dipakai.



Gambar 3.12 Vernier Caliper

l. Marker

Marker digunakan untuk melakukan penandaan terhadap bahan yang diberikan variasi bentuk. Berikut adalah gambar 3.13 marker yang digunakan sebagai penanda.



Gambar 3.13 Marker

m. Thermogun

Thermogun adalah alat untuk mendeteksi suhu yang terjadi dengan memancarkan sinar laser. Thermogun digunakan untuk mengetahui suhu yang

o. Alat pelindung diri

Alat pelindung diri (APD) sangat diperlukan untuk memperkecil bahaya yang terjadi pada saat melakukan penelitian ini. APD yang digunakan yaitu sarung tangan, dan kaca mata dalam melakukan pengelasan *rotary friction welding*. Berikut adalah gambar 3.16 alat pelindung diri dalam melakukan penelitian.



Gambar 3.16 Alat Pelindung Diri

p. Gergaji Besi

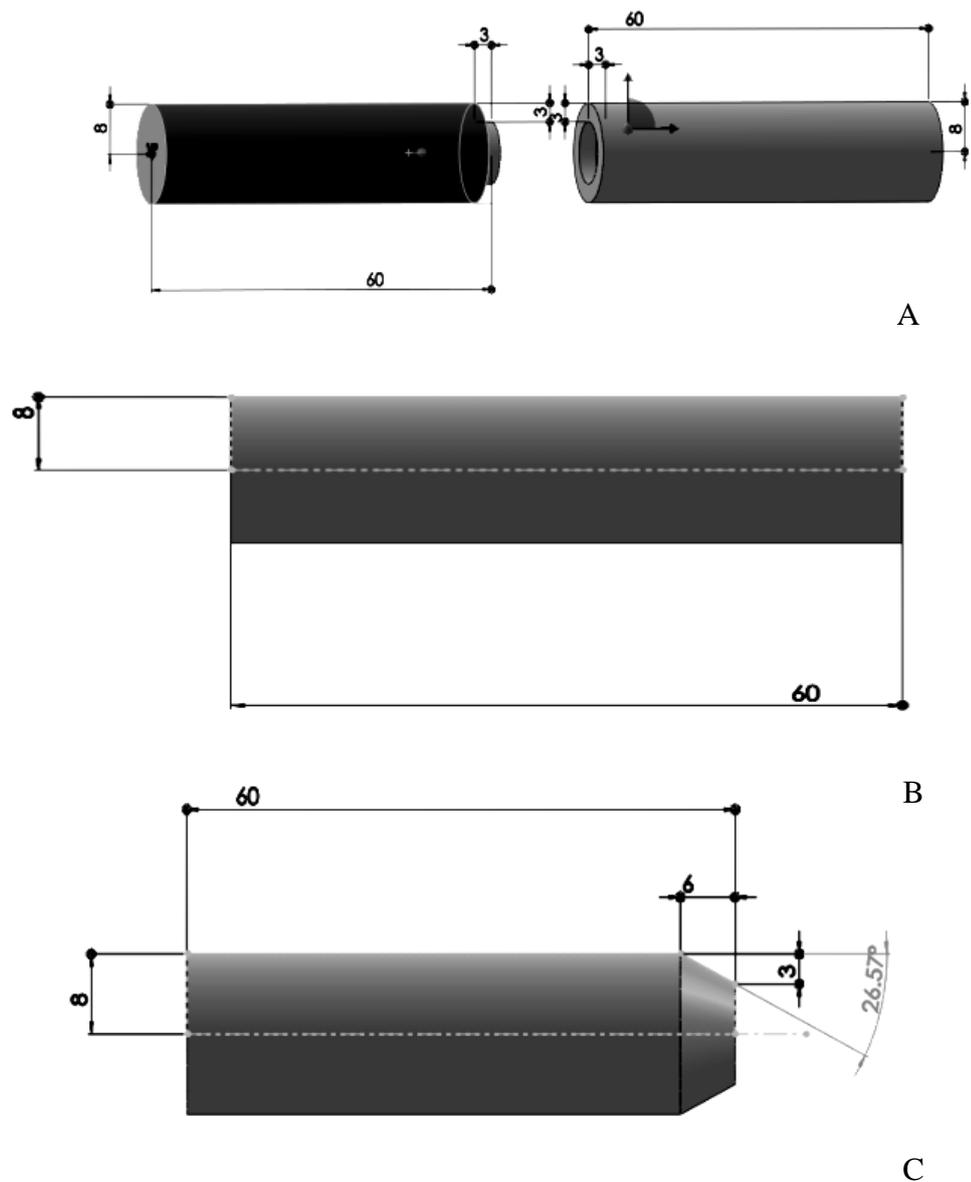
Gergaji ini digunakan untuk memotong melintang bahan yang telah dilakukan pengelasan secara *rotary friction welding* untuk digunakan sebagai bahan pengujian metalografi. Berikut gambar 3.17 untuk gergaji besi yang digunakan.



Gambar 3.17 Gergaji Besi

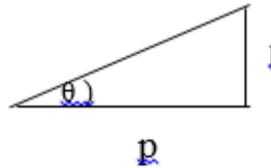
3.3 Desain Bentuk Bahan Penelitian

Sebelum melakukan proses pengelasan, bahan penelitian yang digunakan diberikan variasi bentuk terlebih dahulu. Untuk dapat mempermudah pengerjaan dalam memberikan ukuran terhadap bahan yang akan diberikan bentuk maka digunakan software desain yaitu *solidwork* 2013. Untuk desain yang diberikan tersebut dapat dilihat pada gambar 3.18



Gambar 3.18 Desain variasi bentuk yang diberikan (A) bentuk penutup, (B) bentuk permukaan rata, (C) bentuk champer.

Variasi bentuk yang diberikan pada bahan penelitian ini ada 3 bentuk yaitu, bentuk rata permukaan, bentuk *chamfer*, dan bentuk penutup. Untuk ukuran sudut *chamfer* yang diberikan dapat juga diperoleh dengan menggunakan rumus *pythagoras*.



Keterangan :

p = panjang pemakanan = 6 mm

l = lebar pemakanan = 3 mm

r = panjang kemiringan pemakanan = ?

θ = sudut pemakanan = ?

untuk mencari nilai r digunakan persamaan 3.1 berikut :

$$r = \sqrt{p^2 + l^2} \dots\dots\dots(3.1)$$

Jadi dari rumus tersebut akan di ketahui nilai r nya dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} r &= \sqrt{p^2 + l^2} \\ r &= \sqrt{6^2 + 3^2} \\ r &= \sqrt{45} \\ r &= 3\sqrt{5} \end{aligned}$$

Setelah didapat nilai dari r , maka selanjutnya digunakan persamaan 3.2 berikut untuk mencari sudut dari kemiringan *chamfer* dalam pemakanan.

$$\theta = \sin^{-1} x \frac{l}{r} \dots\dots\dots(3.2)$$

Dari persamaan tersebut dapat dicari berapa sudut yang digunakan dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\theta = \sin^{-1} x \frac{l}{r}$$

$$\theta = \sin^{-1} x \frac{3}{3\sqrt{5}}$$

$$\theta = \sin^{-1} x \frac{\sqrt{5}}{5}$$

$$\theta = \sin^{-1} x 0.4473$$

$$\theta = 26.57^\circ$$

Dari perhitungan diatas, sudut yang digunakan nantinya dalam pemakanan mata pahat terhadap benda kerja untuk membuat *chamfer* adalah $\pm 26.56^\circ$.

Untuk bentuk penutup akan diberikan dua bentuk yaitu, bentuk *negative* yang mempunyai lubang dengan diameter 10mm dan kedalaman 3mm, dan bentuk *positive* yang mempunyai tonjolan dengan diameter 10mm dan panjang 3mm, sedangkan untuk bentuk permukaan rata memiliki diameter 16mm yang di ratakan permukaannya.

3.4 Persiapan Pengelasan Rotary Friction Welding

3.4.1 Membuat Variasi Bentuk

Sebelum melakukan proses pengelasan *rotary friction welding*, bahan penelitian aluminium seri 4017 diberikan variasi bentuk terlebih dahulu agar dapat di lakukan analisis bentuk manakah yang lebih baik dalam melakukan pengelasan *rotary friction welding* ini. Variasi bentuk yang diberikan dalam penelitian ini yaitu, permukaan rata, bentuk *chamfer*, dan bentuk penutup. Untuk membuat bentuk tersebut sebelumnya dilakukan pemotongan bahan penelitian dengan menggunakan gerinda tangan yang ditunjukkan pada gambar 3.19 berikut.



Gambar 3.19 Pemotongan bahan

Untuk ukuran panjang yang diberikan terhadap bahan penelitian ini yaitu $\pm 60\text{mm}$, namun untuk ukuran panjang bahan yang nantinya akan dilakukan pengujian bending diberikan ukuran panjang yaitu $\pm 82\text{mm}$ yang dipotong oleh gerinda tangan yang kemudian hasil potongan itu dikumpulkan.



Gambar 3.20 Hasil potong bahan penelitian

Pada gambar 3.20 terlihat hasil potong tersebut masih belum rata permukaannya maka dari itu harus dilakukan perataan terlebih dulu. Perataan permukaan hasil potong bahan penelitian dilakukan dengan menggunakan mesin bubut yang dapat dilihat pada gambar 3.20 berikut ini.



Gambar 3.21 Perataan permukaan dengan mesin bubut.

Dalam melakukan perataan permukaan bahan dilakukan juga pengurangan panjang sampai sesuai $\pm 60\text{mm}$ dengan mesin bubut ini. Untuk hasil permukaan rata dapat dilihat pada gambar 3.22.



Gambar 3.22 Bentuk permukaan rata

Setelah semua permukaan rata maka dilakukan pemberian variasi bentuk. Untuk variasi bentuk dengan bentuk rata sudah di berikan pada proses perataan permukaan dengan mesin bubut yang telah dilakukan sebelumnya, kemudian selanjutnya variasi bentuk yang harus dibuat adalah bentuk *chamfer* dan bentuk penutup.

Bentuk *chamfer* dibuat dengan menggunakan mesini bubut yang pada prosesnya itu mengubah posisi dari komponen tempat mata pahat yang diatur kemiringan nya sesuai dengan sudut yang diinginkan. Sudut yang diberikan dalam pembuatan *chamfer* ini yaitu $\pm 26.56^{\circ}$. Besar sudut $\pm 26.56^{\circ}$ berasal dari perhitungan yang ada di pembahasan sebelumnya dan dengan desain *solidwork* 2013. Besar sudut yang telah di dapat tersebut diterapkan ke dalam komponen tempat mata pahat sehingga dapat dilihat seperti gambar 3.23.



Gambar 3.23 Mengatur sudut mata bubut

Setelah diatur kemiringan mata pahatnya dilakukan pergerakan mata pahat dengan memutar tuas kecil, sehingga dapat bergerak miring sesuai dengan sudut yang diberikan. Diameter bahan penelitian ini menjadi 10mm dengan panjang *chamfer* nya 6mm. Pada bentuk *chamfer* ini diberikan tanda warna biru dengan menggunakan marker. Hasil dari pembuatan *chamfer* dapat dilihat pada gambar 3.24 berikut ini.



Gambar 3.24 Bentuk chamfer

Kemudian variasi bentuk yang selanjutnya diberikan adalah bentuk penutup. Pada bentuk penutup ini terdapat dua bagian yang diberikan yaitu, bentuk *negative* dan bentuk *positive*. Bentuk *negative* adalah bentuk yang diberikan lubang sedalam 3mm dengan diameter pelubangan 10mm. sedangkan bentuk *positive* nya adalah bentuk yang terdapat tonjolan sepanjang 3mm dengan diameter 10mm. Sama halnya dengan bentuk permukaan rata dan bentuk *chamfer*, untuk membuat bentuk penutup juga digunakan mesin bubut.

Dalam pembuatan lubang pada bentuk penutup mempunyai 2 tahapan pengerjaan yaitu melakukan pelubangan dengan mata dril 10mm dengan kedalaman yang diberikan ± 3 mm, dan setelah itu dilakukan perataan lubang dengan menggunakan mata endmill diameter 10mm. Pada bentuk penutup ini diberikan tanda warna merah. Hasil dari pengerjaan bentuk penutup ini dapat dilihat pada gambar 3.25.



Gambar 3.25 Bentuk penutup

Pada semua variasi bentuk, diberikan tanda pewarnaan dengan menggunakan marker. Untuk tanda warna biru adalah bentuk dari *chamfer*, kemudian tanda warna merah adalah bentuk penutup, dan yang tidak diberikan tanda warna adalah bentuk permukaan rata. Pemberian warna ini diberikan agar dapat memudahkan dalam membedakan hasil sambungan yang terjadi setelah dilakukan proses pengelasan *rotary friction welding* mana hasil sambungan yang diberikan *chamfer*, hasil sambungan yang diberikan bentuk penutup, dan hasil sambungan yang diberikan permukaan rata.

3.4.2 Proses Pengelasan Rotary Friction Welding

Setelah semua bahan sudah diberikan variasi bentuk yang dinginkan untuk dilakukannya penelitian mengenai *rotary friction welding*, selanjutnya dilakukan lah proses pengelasan dengan mempergunakan mesin bubut yang ada di lab proses manufaktur. Sebelum melakukan proses pengelasan *rotary friction welding*, mesin bubut di persiapkan terlebih dulu mengenai komponen pendukung dalam melakukan proses pengelasan ini. Komponen pendukung yang di maksud adalah *chuck* bor yang sudah terpasang pada *tail stock* mesin bubut. Dalam hal ini *chuck* digunakan sebagai pencengkram bahan pengelasan yang sifat nya *statis* (diam). Berikut adalah gambar 3.26 yang menunjukkan *chuck* bor telah terpasang pada *tail stock* mesin bubut



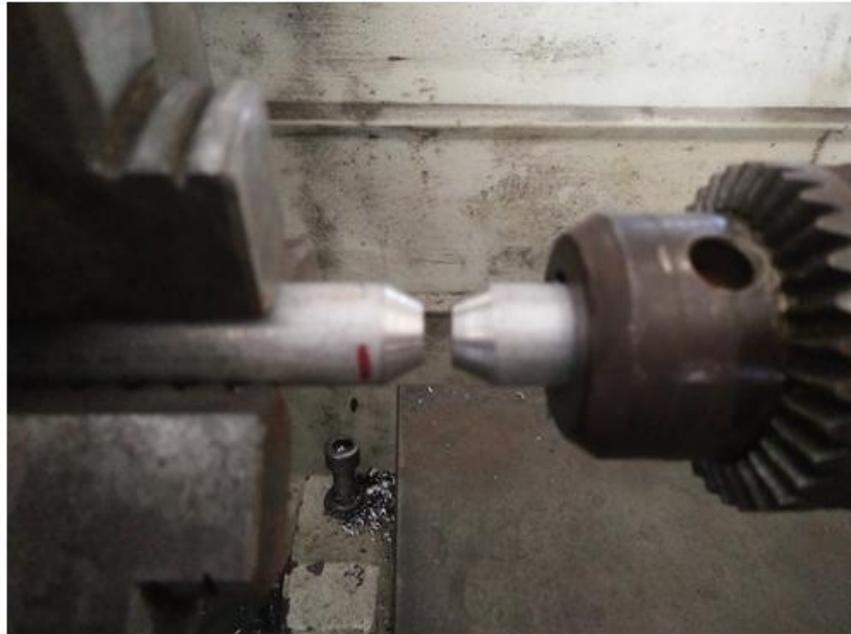
Gambar 3.26 Chuck bor yang di pasang pada tail stock

Digunakan juga kunci – kunci untuk memasang bahan penelitian ke *chuck* bor dan ke *spindle* pada mesin bubut. Kunci – kunci tersebut harus sudah di persiapkan agar proses pengelasannya dapat dilakukan secara terus – menerus. Kunci – kunci yang di gunakan dapat dilihat pada gambar 3.27 berikut.



Gambar 3.27 A. Kunci spindle, B. Kunci chuck bor

Pemasangan bahan penelitian yaitu aluminium silinder pejal dengan diameter 16 mm ke *chuck* bor dan juga ke *spindle* dilakukan dengan mempergunakan kunci yang telah disiapkan sebelumnya. Bahan penelitian yang sudah siap dipasang harus dipastikan tercengkram kuat oleh *spindle* dan *chuck*. Berikut gambar 3.28 yang menunjukkan bahan penelitian telah terpasang pada *chuck* dan *spindle*.



Gambar 3.28 Pemasangan bahan ke chuck dan spindle

Parameter dalam pengelasan *rotary friction welding* ini diberikan agar mendapatkan hasil pengelasan yang seimbang dengan variasi bentuk yang diberikan, karena nantinya dari hasil pengelasan tersebut diteliti mengenai sifat fisik dan sifat mekanik yang dimiliki dari tiap bahan yang telah diberikan variasi bentuk. Parameter yang diberikan dalam pengelasan *rotary friction welding* dapat dilihat pada table 3.2 berikut ini.

Table 3.2 Parameter pengelasan *rotary friction welding*

Putaran <i>Spindel</i> mesin bubut	1170 RPM
Jarak Penekanan	10 mm = 7mm saat <i>spindle</i> berputar konstan + 3mm saat <i>spindle</i> diberhentikan

Bahan penelitian yang sudah terpasang di *spindle* dan *chuck*, kemudian di dekatkan satu sama lain dengan menggerakkan *tail stock* maju dan juga di berikan jarak 1mm terhadap bahan *dinamis* dan bahan *statis*. Pemberian jarak 1mm ini bertujuan untuk menghindari gesekan yang terjadi sebelum *spindle* berputar konstan. Pengaturan kecepatan putar *spindle* yang diberikan yaitu 1170 RPM , pemberian kecepatan tersebut dapat dilihat pada gambar 3.29 berikut.



Gambar 3.29 Kecepatan putar spindle 1170 RPM

Tachometer digunakan dalam hal ini untuk memastikan kecepatan putar yang sebenarnya. Kecepatan yang ditunjukkan tachometer pada saat putaran konstan tanpa adanya penekanan / beban adalah 1169,7 RPM. Pada saat putaran *spindle* sudah konstan barulah dilakukan pergerakan maju untuk menekan bahan *statis* terhadap bahan yang berputar, penekanan yang dilakukan ini memberikan pembebanan yang mengakibatkan perubahan kecepatan putar spindle dari 1169,7 RPM menjadi 1147,6 RPM dan juga terjadi gesekan antara material yang saling ditekan. Gesekan yang terjadi dapat menimbulkan panas sehingga pada kedua ujung bahan yang saling bergesek tersebut panas dan dapat membentuk suatu sambungan karena adanya jarak penekanan yang diberikan. Jarak penekanan yang diberikan yaitu 7mm pada saat kecepatan putaran konstan, dan 3mm pada saat kecepatan putar *spindle* mulai di hentikan. Pemberian jarak

penekanan dilakukan dengan cara memutar tuas pada *tail stock*. Berikut gambar 3.30 tuas pemutar untuk memberikan jarak penekanan.



Gambar 3.30 Tuas putar pada tail stock agar bahan statis bergerak maju

Dalam pengelasan *rotary friction welding* ini dilakukan dengan dua orang agar dapat mempermudah melakukan penelitian, karena pada penelitian mengenai *rotary friction welding* ini dicatat waktu pengelasan dan suhu yang terjadi pada saat proses pengelasan. Untuk penelitian ini diperlukan dua orang yang satu memperhatikan suhu dan waktu yang didapat pada saat pengelasan, dan orang yang satu lagi menggerakkan bahan penelitian agar bergesekan dan memberikan jarak penekanan pada saat proses pengelasan. Berikut gambar 3.31 proses pengelasan *rotary friction welding* yang dilakukan dua orang.



Gambar 3.31 Proses pengelasan rotary friction welding

3.5 Pengujian Dye Penetrant

Hasil pengelasan dari *rotary friction welding* dilakukan pengecekan adanya cacat atau *porositas* yang terjadi dengan mempergunakan pengujian *dye penetrant*. Sebelum dilakukannya pengecekan oleh *dye penetrant* ini, bahan yang telah dilakukan pengelasan *rotary friction welding* hasil lasnya masih terdapat *flash*. *Flash* tersebut harus di bersihkan terlebih dulu agar pengecekan *porositas* mendapatkan hasil yang akurat atau jelas. *Flash* dibersihkan dengan mempergunakan mesin bubut, sehingga hasil las yang telah dihilangkan *flash* nya itu dapat lebih teliti untuk diamati hasil yang terjadi mengenai adanya *porositas* atau tidak nya dari suatu hasil las *rotary friction welding* dengan variasi bentuk.

Setelah dibersihkan *flash*nya bahan dilakukan *pretreatment* yang dilakukan dengan mempergunakan cairan *cleaner*. *Pretreatment* ini bertujuan untuk membesihkan pada bagian las yang diharapkan tidak adanya material penghambat proses pemberian *penetrant* nantinya. *Pretreatment* yang diberikan pada bahan yang sudah di las dapat di lihat pada gambar 3.32 berikut.



Gambar 3.32 Pretreatment dye penetrant

Setelah dilakukan *pretreatment* untuk membersihkan hasil las dari kotoran yang menempel, kemudian dilakukan pemberian cairan *penetrant* yang berwarna merah. *Cairan penetrant* di berikan pada bagian hasil lasan. Setelah diberikan menyeluruh pada bagian lasan, di tunggu selama 10 menit agar cairan penetrant dapat meresap kedalam jika terdapat *porositas*. Pemberian cairan *penetrant* dapat dilihat pada gambar 3.33 berikut



Gambar 3.33 Pemberian cairan penetrant

Setelah 10 menit cairan *penetrant* yang diberikan pada hasil lasan, maka selanjutnya cairan penetrant yang ada pada permukaan dibersihkan kembali dengan *cleaner*. Pembersihan *penetrant* dengan *cleaner* dilakukan menggunakan lap bersih yang di semprotkan cairan *cleaner* kemudian diusapkan pada bagian las yang terdapat cairan *penetrant* sampai permukaan hasil lasan benar – benar bersih. Pembersihan hasil lasan dari cairan penetrant dengan menggunakan lap yang diberi cairan *cleaner* dapat dilihat pada gambar 3.34.



Gambar 3.34 Pembersihan cairan penetrant setelah 10 menit

Setelah cairan *penetrant* yang ada pada permukaan hasil lasan benar – benar bersih dengan menggunakan lap yang sudah diberikan cairan *penetrant*, maka selanjutnya dilakukan pemberian cairan *developer*. Cairan *developer* adalah cairan yang dapat mengangkat cairan penetrant yang terjebak jika adanya *porositas* pada hasil lasan. Untuk mendapatkan hasil yang akurat cairan ini di diamkan selama 10 menit, dari 10 menit itulah dapat dilihat dan disimpulkan ada atau tidaknya *porositas* pada hasil lasan tersebut. Berikut adalah gambar 3.35 pemberian cairan *developer*.



Gambar 3.35 Pemberian cairan developer

3.6 Pengujian Metallografi

Metallografi adalah ilmu yang mempelajari tentang cara pemeriksaan logam untuk mengetahui sifat, struktur, temperatur dan persentase campuran logam tersebut. Pada pengujian *metallografi* ini dilakukan di Laboratorium Pengujian Material jurusan Teknik Mesin UGM.

Pengujian *metallografi* terbagi menjadi pengujian makro dan mikro. Pengujian makro adalah proses pengujian bahan yang dilakukan dengan pengamatan mata langsung, atau alat bantu seperti kaca pembesar atau kamera. Perbesaran yang dimiliki pengujian makro berkisar antara 0.5 hingga 50 kali. Sedangkan pengujian mikro adalah proses pengujian bahan yang mengamati bentuk kristal yang dimiliki logam sangat halus, sehingga kristal yang sedemikian halus itu haruslah menggunakan perbesaran yang sangat tinggi. Agar struktur pada material dapat terlihat dengan jelas dipergunakanlah lensa mikroskop yang memiliki kualitas perbesaran antara 50 sampai 3000 kali. Berikut adalah gambar 3.36 alat pengujian makro dan gambar 3.37 alat pengujian mikro.



Gambar 3.36 Alat pengujian makro



Gambar 3.37 Alat pengujian mikro

Sebelum melakukan pengujian makro dan pengujian mikro tersebut ada beberapa hal yang harus di persiapkan terhadap bahan yang akan di uji. Persiapan tersebut yaitu :

a. Pemotongan Bahan

Pemotongan bahan pengujian dilakukan untuk melihat sambungan yang terjadi dari hasil pengelasan *rotary friction welding*. Pemotongan dilakukan secara melintang dengan mempergunakan gergaji dan juga gerinda untuk mengurangi panjang bahan uji. Berikut gambar 3.38 proses pemotongan spesimen



Gambar 3.38 Pemotongan bahan uji

b. Mounting

Melakukan pelapisan bahan uji dengan resin agar dapat dengan mudah diletakkan pada saat pengujian dilakukan. Berikut gambar 3.39 pelapisan bahan uji dengan resin.



Gambar 3.39 Proses mounting

c. Pengampelasan

Proses ini menggunakan kertas ampelas yang dimulai dari kertas ampelas yang paling kasar hingga yang paling halus. Tingkat kehalusan kertas ampelas ditentukan oleh ukuran serbuk *silicon karbida* yang menempel pada kertas ampelas. Pengerjaan ampelas dilakukan dari kertas ampelas yang paling kasar hingga kertas ampelas yang paling halus bertujuan untuk memperjelas struktur material dan juga meminimalkan goresan yang ada. Berikut gambar 3.40 proses pengampelasan bahan uji.



Gambar 3.40 Proses pengampelasan

d. Pemolesan

Pemolesan bahan uji dilakukan dengan mempergunakan *autosol* untuk mengkilapkan segala jenis logam. Berikut gambar 3.41 proses pemolesan bahan uji.



Gambar 3.41 Proses pemolesan

e. Pengetsaan

Proses pengetsaan adalah proses yang dilakukan untuk menimbulkan garis – garis struktur logam dengan cara membiarkan logam tersebut terkena korosi. Untuk bahan aluminium seri 4017 digunakan bahan kimia HF (*hydrogen fluoride*) agar struktur dapat terlihat jelas. Berikut 3.42 proses pengetsaan.



Gambar 3.42 Proses etsa

Setelah bahan uji selesai sampai proses etsa kemudian dilakukan pengujian mikro dan pengujian makro. Dalam pengujian makro dapat juga dilakukan hanya dengan pengamatan mata, akan tetapi tingkat ketelitiannya tidaklah akurat. Untuk lebih akuratnya dipergunakanlah lensa makro. Sedangkan untuk pengujian mikro di pergunakan *mikroskop optic* yang dapat melakukan perbesaran yang berkisar, 50, 100, 200, 400, dan 1000. Namun pada pengujian ini yang digunakan adalah perbesaran 200 kali. Perbesaran 200 kali dianggap sudah cukup untuk mengamati struktur pada bahan uji dan hasilnya dapat terlihat jelas.

3.7 Pengujian Kekerasan

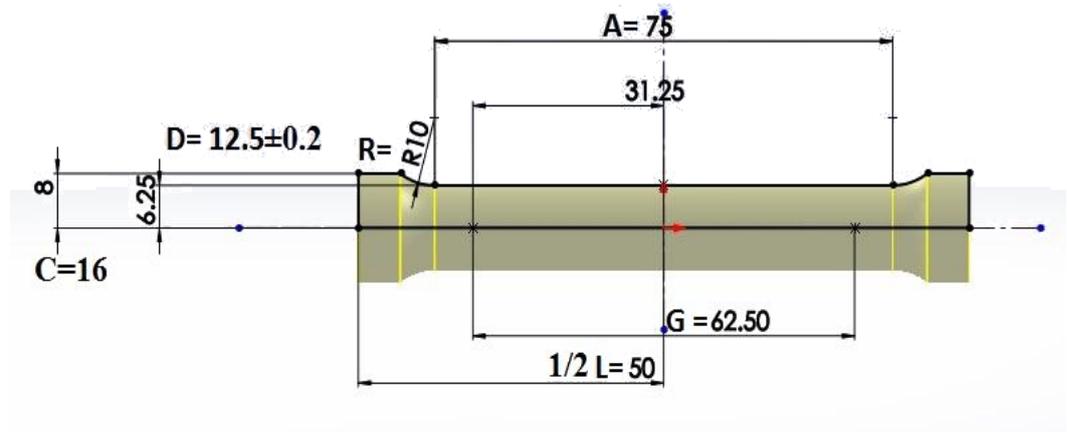
Pengujian kekerasan ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan suatu bahan uji yang telah dilakukan pengelasan. Pengujian kekerasan ini menggunakan metode kekerasan mikro *Vickers*, yang mana metode pengujian kekerasan mikro *Vickers* ini mempergunakan indenter berbentuk piramida intan terbalik yang memiliki sudut puncak 136° . Indentor tersebut di tekan kan terhadap bahan uji yang diberikan beban sebesar 200 gf, sehingga menghasilkan jejak yang dapat di ukur oleh *lensa mikroskop optic*. *Lensa optic* ini digunakan ,karena hasil penjejakkan sangat lah kecil sehingga hanya dapat dibaca dengan lensa mikroskop optic. Pengujian kekerasan dengan metode *Vickers* ini dilakukan sebanyak 9 titik setiap bahan uji. 9 titik uji ini adalah 3 titik pada *base metal*, 3 titik pada *Heat Affect Zone (HAZ)*, dan 3 titik pada daerah las. Nilai yang didapat pada pengujian kekerasan dengan metode *Vickers* mempunyai satuan yaitu VHN (*Vickers Hardness Number*). Alat yang digunakan untuk pengujian kekerasan dengan metode *Vickers* dapat dilihat pada gambar 3.43.



Gambar 3.43 Alat pengujian kekerasan

3.8 Pengujian Tarik

Dalam melakukan penelitian ini, bahan yang telah dilakukan pengelasan *rotary friction welding* ingin diketahui kekuatannya dengan melakukan pengujian tarik di Laboratorium Pengujian Material Teknik Mesin UGM. *Standart* pengujian yang digunakan dalam pengujian tarik adalah ASTM E-8M. Bentuk dan dimensi material uji tarik dapat dilihat pada gambar 3.44 berikut.



Gambar 3.44 Bentuk dan dimensi uji tarik bahan silinder pejal

Keterangan ukuran standart ASTM E-8M dengan bahan silinder pejal.

A = panjang yang berkurang = 75mm

L = panjang keseluruhan bahan uji = 100mm

R = Radius = R10mm

C = diameter bahan yang di cekam = 16mm

D = diameter standart uji tarik = 12,5 ± 0,2 mm

G = panjang yang diukur = 62,5 ± 0,1 mm

Pengujian tarik ini dilakukan dengan mesin pengujian tarik *Universal Testing Machine*. Alat pengujian tarik ini dapat dilihat pada gambar 3.45 dan juga peletakan bahan uji tarik dapat dilihat pada gambar 3.46.



Gambar 3.45 Alat uji tarik

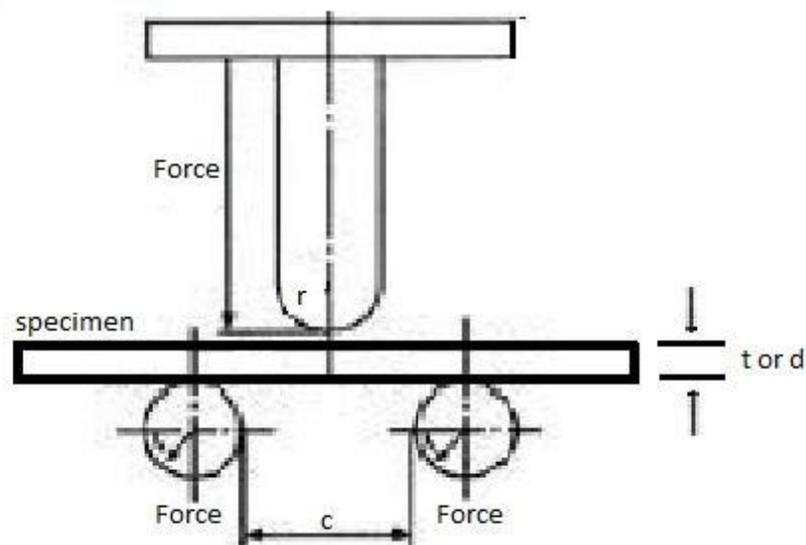


Gambar 3.46 Peletakkan bahan uji tarik

3.9 Pengujian Bending

Pengujian *bending* menggunakan mesin yang sama seperti pengujian tarik yaitu *Universal Testing Machine*. Pada pengujian *bending* ini dilakukan dengan 3 titik yang dibagi menjadi 2 titik tumpu dan 1 titik pembebanan yang berada di tengah tepat di atas hasil lasan pada bahan pengujian. Pengujian *bending* yang dilakukan menggunakan standart ASTM E 290 dengan memperhatikan aturan jarak pemberian titik tumpu. Adapun rumus untuk menentukan jarak 2 titik tumpu dapat dilihat persamaan 3.3 dengan memperhatikan gambar 3.47 untuk menyesuaikan persamaan dalam mencari titik tumpu.

$$C = 2r + 3t \pm \frac{t}{2} \dots\dots\dots(3.3)$$



Gambar 3.47 Menentukan jarak 2 titik tumpu

Keterangan :

- C = jarak antara 2 titik tumpu
- r = jari – jari pembebanan
- t = tebal specimen
- d = diameter specimen

Dari persamaan 3.3 diatas dapat diperhitungkan jarak dua titik tumpu yang akan digunakan dalam pengujian bending ini, dengan diketahuinya diameter (d) dari spesimen adalah 16mm dan jari – jari (r) dari titik pembebanannya adalah 10mm. berikut adalah perhitungan untuk mencari jarak dua titik tumpu :

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

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

$$C = 20 + 48 \pm 8$$

$$C_1 = 76 \text{ mm}$$

$$C_2 = 60 \text{ mm}$$

Dari perhitungan tersebut di ketahui jarak dua titik tumpu adalah $\pm 76 \text{ mm}$ dan $\pm 60 \text{ mm}$, namun titik tumpu yang digunakan yaitu $\pm 76 \text{ mm}$. perhitungan kedua titik tumpu tersebut hanya jarak antara titik tumpu bagian dalam saja. Sedangkan jarak yang seharusnya diterapkan adalah pada bagian tengah antara dua titik tumpu, maka dari itu ditambahkan dengan $\pm 2 \text{ mm}$ dari setiap tumpu sehingga jarak yang dipakai adalah $\pm 80 \text{ mm}$.

Setelah didapat jarak yang akan digunakan dalam pengujian bending yaitu $\pm 80 \text{ mm}$, langkah selanjutnya adalah menerapkan ukuran titik tumpu. Pada gambar 3.48 menerapkan perhitungan ukuran jarak dua titik tumpu terhadap mesin bending.



Gambar 3.48 Pemberian jarak dua titik tumpu

Setelah dilakukan pemberian jarak dua titik tumpu, maka selanjutnya memasang bahan pengujian bending diatas dua titik tumpu tersebut. Hasil lasan pada bahan uji di pasang tepat dibawah titik pembebanan dan pengujian

bending pun dilakukan sebanyak 9 kali. Untuk pemasangan bahan uji dapat dilihat pada gambar 3.49 berikut.



Gambar 3.49 Memasang bahan pengujian bending

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengelasan Rotary Friction Welding

Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan mengenai pengelasan rotary friction welding, ada beberapa perbedaan dan juga masukan dari penelitian sebelumnya. Perbedaan penelitian yang dilakukan dengan penelitian sebelumnya yaitu mengenai mesin dan material yang digunakan, pada penelitian Partomuan & Yohanes (2016) mereka mempergunakan mesin rotary friction welding dan material yang digunakan adalah *mildsteel*. Sedangkan dalam penelitian ini di pergunakan mesin bubut dan material aluminium 6061. Kemudian dalam penelitian Partomuan & Yohanes (2016) mereka mengungkapkan hasilnya yang membahas tentang variasi sudut *chamfer*, bahwa dari pemberian variasi sudut *chamfer* dengan pemberian ukuran diameter *forging*, dan panjang *chamfer* mempengaruhi nilai kekuatan tarik dari baja *mild steel*. Diameter *forging* yang sama dan variasi sudut *chamfer* yang diberikan mempengaruhi kekuatan tarik yang semakin meningkat dengan semakin besarnya sudut *chamfer* yang diberikan, sedangkan untuk panjang *chamfer* yang sama dan variasi sudut *chamfer* yang diberikan akan mempengaruhi kekuatan tarik yang meningkat dengan semakin kecilnya sudut *chamfer* yang diberikan. Hasil yang didapat dari penelitian Partomuan & Yohanes (2016) dijadikan sebagai masukan dalam penelitian ini.

Perbedaan dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Setyawan & Dwilaksana (2014) terletak pada bahasan penelitiannya. Penelitian yang dilakukan oleh mereka adalah membahas mengenai variasi kecepatan putar *spindle* mesin bubut dalam melakukan pengelasan *rotary friction welding*, sedangkan bahasan dalam penelitian adalah mengenai variasi bentuk profil sambungan yang diberikan. Namun dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Setyawan & Dwilaksana (2014) yang mengungkapkan bahwa pada pengujian makro yang dilakukan dapat diketahui adanya cacat pada variasi kecepatan pengelasan 867 rpm dan 1675 rpm. Hasil pengujian tarik diperoleh bahwa rata – rata *ultimate*

tensile strength untuk pengelasan dengan kecepatan 867 rpm adalah 16.38 MPa, kecepatan 1169 rpm adalah 18.67 MPa, dan kecepatan 1675 rpm adalah 16.93 MPa, jadi untuk kekuatan tarik yang terbesar yaitu pada kecepatan 1169 rpm. Kemudian hasil kekerasan yang terendah yaitu di daerah HAZ untuk variasi kecepatan putar 867 rpm dengan hasil 52.28 VHN dan kekerasan paling tinggi terjadi di base metal dengan hasil 114.5 VHN. Hasil yang dipaparkan oleh F. W. & Dwilaksana (2014) itulah saya mempertimbangkan untuk melakukan penelitian *rotary friction welding* ini dengan parameter kecepatan putar 1170 RPM.

Perbedaan selanjutnya dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Wicaksana, Mulyadi, dan Syuhri (2017) yaitu variasi yang diberikan dalam penelitiannya. Dalam penelitian mereka, dibahas mengenai variasi sudut chamfer. Sedangkan dalam penelitian ini dibahas mengenai bentuk profil sambungan. Namun dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Wicaksana, Mulyadi, dan Syuhri (2017) mereka mengungkapkan hasil sambungan bahwa sifat mekanis yang terbaik untuk pengelasan Aluminium 6061 dengan metode *friction welding* terjadi pada variasi sudut *chamfer* 30⁰ dan waktu gesek 120 detik. Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Wicaksana, Mulyadi, dan Syuhri (2017) saya dapat mempertimbangkan sudut *chamfer* yang diberikan dalam penelitian ini.

Pengelasan yang telah dilakukan untuk menyambungkan logam aluminium seri 4017 dengan metode penyambungan yaitu *Rotary Friction Welding* (RFW). Parameter yang digunakan dalam proses pengelasan ini yaitu kecepatan putar *spindle* sebesar 1170 RPM, dan juga jarak penekanan yaitu 10mm (penekanan 7mm pada saat putaran *spindle* konstan lalu diberhentikan dengan pemberian penekanan 3mm). Hasil pengelasan RFW dapat dilihat pada gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 (A) Hasil pengelasan RFW bentuk profil sambungan rata, (B) hasil pengelasan RFW bentuk profil sambungan penutup, (C) hasil pengelasan RFW bentuk profil sambungan *chamfer*

Pada saat melakukan proses pengelasan RFW di catat juga mengenai waktu yang dibutuhkan dalam pengelasan dan juga panas yang terjadi pada saat pengelasan terjadi. Untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan pengelasan RFW dengan parameter kecepatan 1170 dan jarak penekanan 10mm yaitu menggunakan *stopwatch handphone*. Sedangkan untuk mengetahui suhu yang terjadi pada saat sambungan mulai terjadi digunakan *thermogun*. Data mengenai waktu yang dibutuhkan selama proses pengelasan dapat dilihat pada tabel 4.1, sedangkan data mengenai suhu yang terjadi dapat dilihat pada tabel 4.2.

Table 4.1 Data waktu saat pengelasan

Variasi Bentuk Spesimen	Waktu 1	Waktu 2	Waktu 3	Waktu rata – rata
Chamfer	37,32 detik	38,65 detik	40,33 detik	38,77 detik
Rata	67,24 detik	66,09 detik	66,40 detik	66,58 detik
Penutup	52,33 detik	52,14 detik	53,56 detik	52,68 detik

Table 4.2 Suhu yang terjadi

Variasi Bentuk Spesimen	Suhu 1 (°C)	Suhu 2 (°C)	Suhu 3 (°C)	Suhu rata – rata (°C)
Chamfer	105,6	100,5	99,3	101,8
Rata	122	124,1	129,9	125,33
Penutup	114,9	114,1	112,4	113,8

Pada tabel 4.1 dan tabel 4.2 mengenai waktu dan suhu, waktu rata – rata yang tercepat dalam melakukan proses pengelasan RFW ini yaitu spesimen dengan bentuk variasi *chamfer* yang waktu rata – ratanya adalah 33,77 detik, dan untuk suhu semua variasi bentuk specimen yang diberikan, rata – rata lebih dari 100°C pada saat pengelasan terjadi. Untuk melakukan proses RFW dengan parameter kecepatan putar 1170 dan jarak penekanan 10mm tidak membutuhkan waktu yang lama berkisar antara ± 30 detik sampai dengan ± 1 menit 30 detik, kemudian suhu yang terjadi juga sangat kecil karena pengelasan ini adalah pengelasan yang bersifat *solid state* (tidak memerlukan suhu tinggi dalam pengelasan).

Kegagalan dalam melakukan pengelasan ini juga pernah terjadi yaitu pada saat melakukan percobaan sebelum di tentukannya parameter pada penelitian ini. Berikut gambar 4.2 hasil pengelasan RFW yang gagal di karenakan masih belum menentukan parameter yang digunakan dalam pengelasan RFW.



Gambar 4.2 Hasil sambungan pengelasan rotary friction welding gagal

Pada gambar 4.2 dapat dilihat bahwa hasil pengelasan RFW diatas adalah pengelasan yang belum diberikan parameter pengelasan yang tepat sehingga hasil sambungannya mudah patah. Hasil sambungan yang mudah patah ini dapat terjadi dikarenakan pada proses akhir penekanan saat putaran *spindle*

diberhentikan tidak diberikan lagi penekanan, sehingga setelah selesai menyambungkan secara pengamatan hasil telah tersambung namun ketika di benturkan sambungan dengan mudah patah.

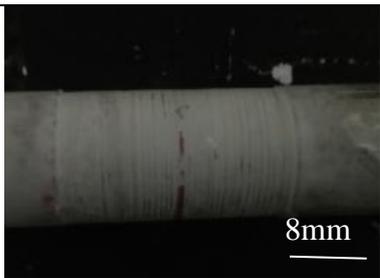
Pengelasan *rotary friction welding* ini mempunyai keuntungan dalam melakukan pengelasannya dibandingkan dengan pengelasan lainnya. Keuntungan pengelasan *rotary friction welding* adalah sebagai berikut :

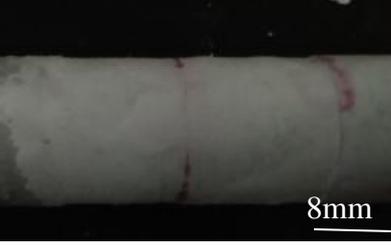
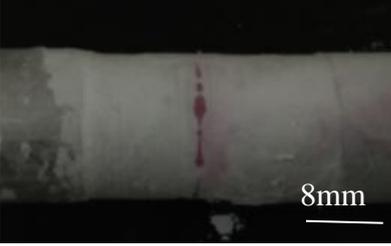
- a. Proses yang ramah lingkungan karena tidak menghasilkan asap, gas atau asap
- b. Cocok untuk jumlah produksi yang banyak
- c. Kemungkinan terjadinya porositas dan inklusi terak dapat dihindarkan
- d. Bahan berbeda karakteristiknya dapat dilakukan dengan las gesek ini
- e. Proses las gesek ini konsisten dan berulang-ulang
- f. Mengonsumsi energi yang rendah dan tegangan las rendah
- g. Tidak ada bahan tambahan yang dibutuhkan
- h. Mengurangi biaya untuk tempa kompleks atau coran
- i. Memiliki kontrol yang akurat pada toleransi lasan
- j. Tidak ada fluks atau *filler* logam atau gas yang diperlukan dalam kasus las gesek

4.2 Analisis dan Pembahasan Hasil Pengujian Dye Penetrant

Pengujian *dye penetrant* adalah pengujian fisik yang mendeteksi adanya *porosity* yang terdapat pada hasil pengelasan. Pengujian ini dilakukan sebanyak 3 spesimen dengan variasi bentuk yang berbeda yaitu bentuk *chamfer*, bentuk rata, dan bentuk penutup. Berikut adalah data hasil dari pengujian *Dye Penetrant* yang diberikan pada tabel 4.3.

Table 4.3 Hasil pengujian dye penetrant

Chamfer			
---------	---	--	---

Rata			
Penutup			

Pada data tabel 4.3 hasil pengujian *dye penetrant* terlihat bahwa hasil menunjukkan adanya porositas yang terjadi di semua variasi bentuk, yang mana di tunjukkan dengan adanya cairan penetrant yang berwarna merah keluar ke permukaan daerah las. Hal tersebut terjadi dikarenakan pada saat pengelasan terjadi getaran pada *chuck* (pemegang bahan yang statis) yang digesekkan dengan bahan yang berputar pada *spindle*. Porositas yang di perlihatkan dari cairan penetrant yang keluar dari permukaan setelah diberikan cairan developer ini belum dapat menyatakan hasil lasnya tersambung dengan baik atau tidaknya.

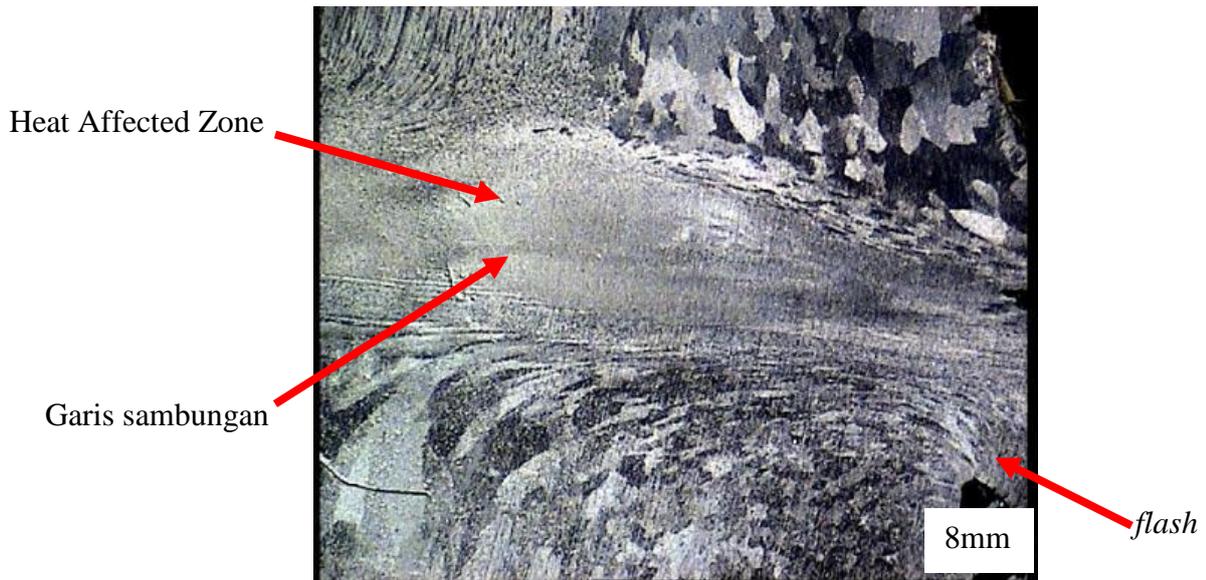
4.3 Analisis dan Pembahasan Hasil Pengujian Metallografi

Metallografi adalah ilmu yang mempelajari tentang cara pemeriksaan logam untuk mengetahui sifat, struktur, temperatur dan prosentase campuran logam tersebut. Pada pengujian Metallografi yang di lakukan dalam penelitian ini ada dua pengujian yang dilakukan yaitu pengujian metallografi makro dan pengujian metallografi mikro.

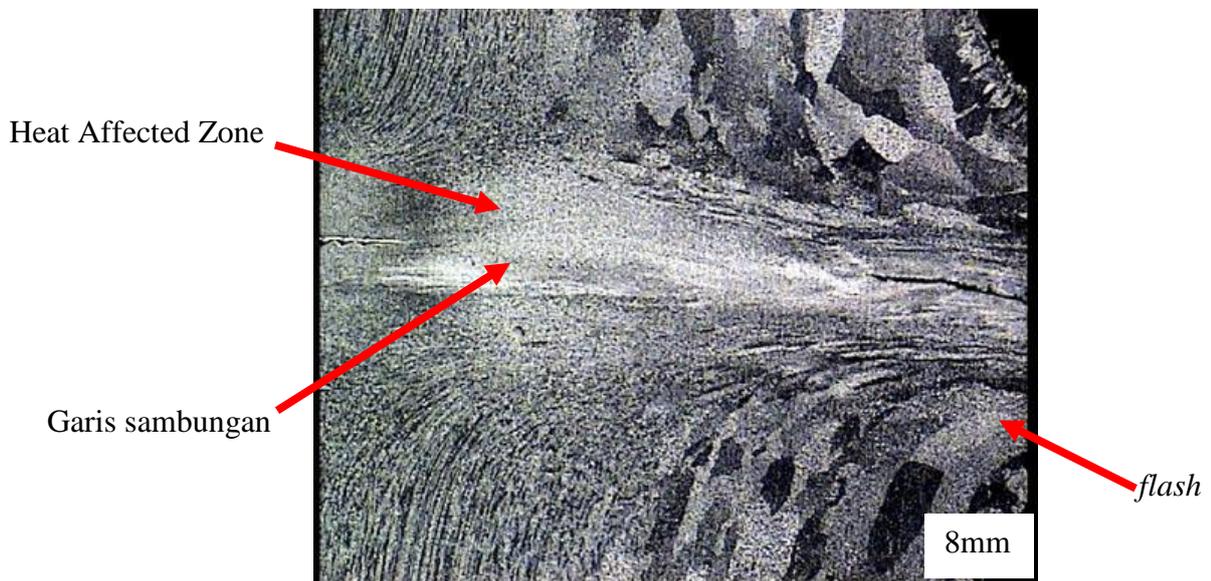
a. Pengamatan Metallografi Makro

Pengujian metallografi makro ini dilakukan dengan mempergunakan lensa optic yang mempunyai kekuatan makro. Pengujian metallografi makro bertujuan untuk mengamati daerah pengelasan. Variasi bentuk spesimen yang sudah di sambung dilakukan pengujian metallografi makro. Adapun hasil pengujian

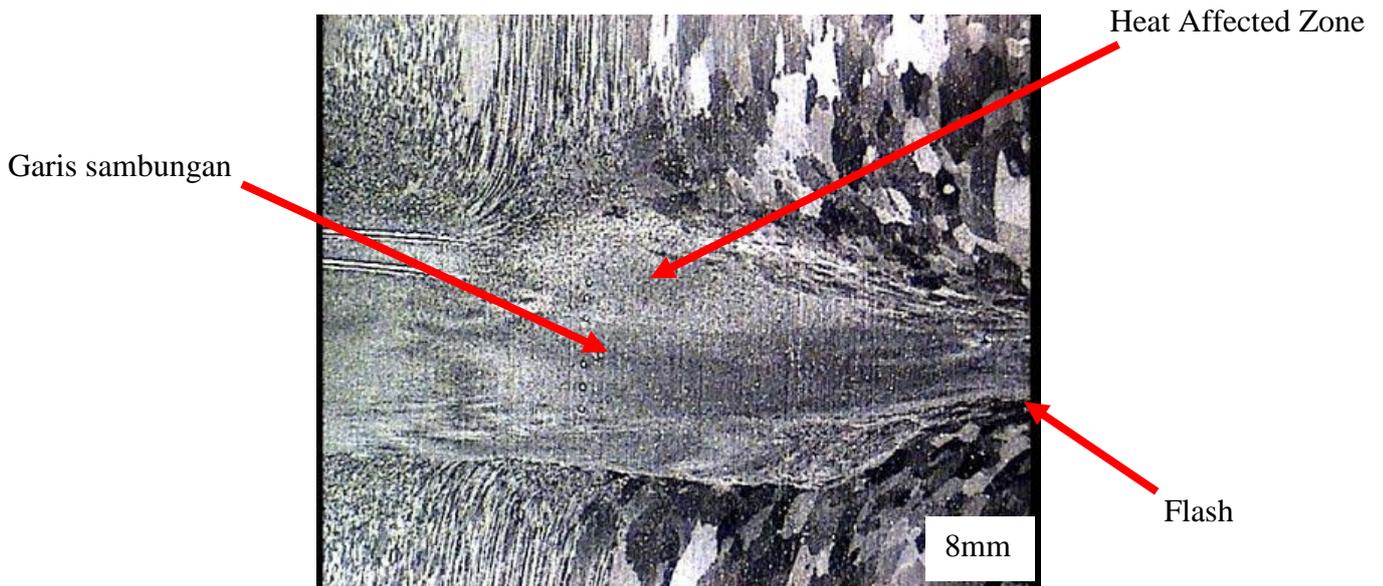
metallografi makro dapat dilihat pada gambar 4.3 untuk bentuk *chamfer*, gambar 4.4 untuk bentuk rata, dan gambar 4.5 untuk bentuk penutup.



Gambar 4.3 Pengujian metallografi makro chamfer



Gambar 4.4 Pengujian metallografi makro rata



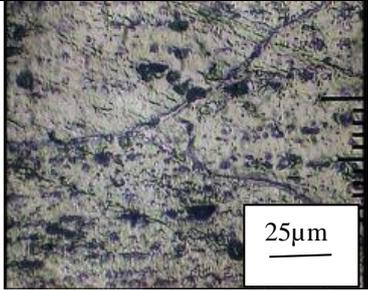
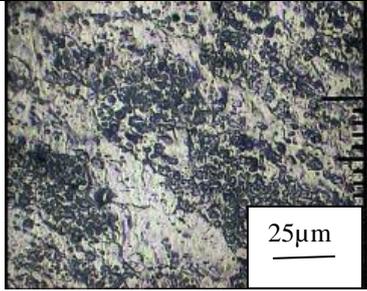
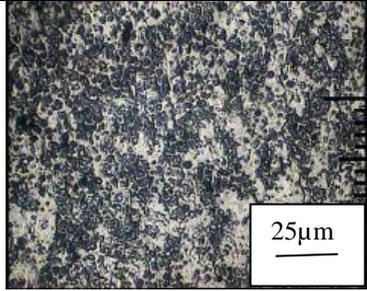
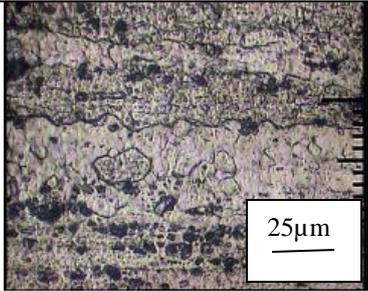
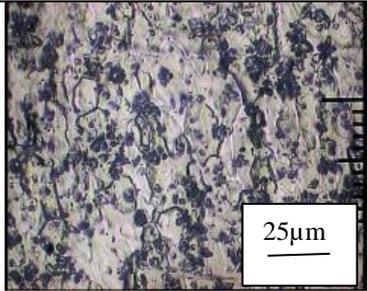
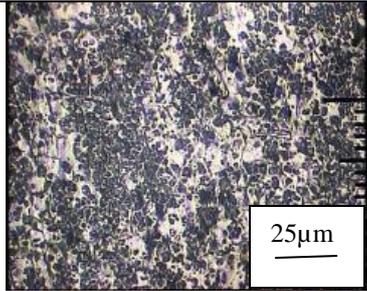
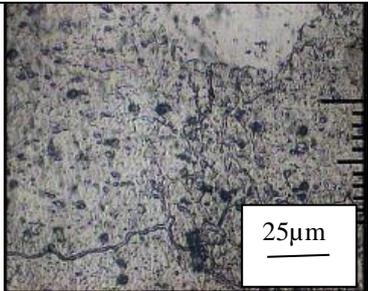
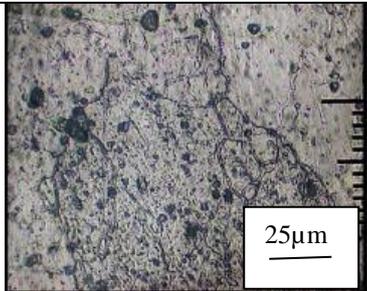
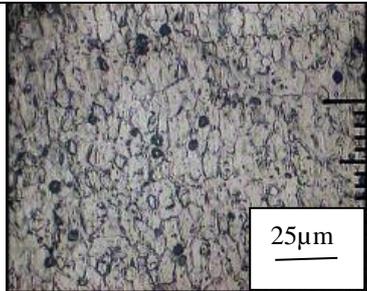
Gambar 4.5 pengujian metallografi makro penutup

Dari hasil yang telah didapatkan dalam pengujian metallografi makro ini terlihat pada daerah hasil las tersambung dengan baik, namun struktur material yang terjadi pada daerah sekitar hasil las berubah. Perubahan struktur material ini dikarenakan panas yang terjadi akibat gesekan antar spesimen. Pengelasan seperti ini sangat cocok untuk melakukan penyambungan material silinder pejal yang peyambungannya menyeluruh dari dalam hingga luar lapisan. Dengan mempergunakan mesin bubut sebagai pelaksanaan pengelasan RFW, parameter yang diberikan sudah sesuai dengan hasil sambungan.

b. Pegujian Metallografi

Pengujian metallografi dilakukan menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran 200 kali, untuk 1 strip skala pada foto mikro menunjukkan 5 μm . Pengambilan data hasil pengujian metallografi mikro pengelasan dilakukan pada base metal, HAZ, dan daerah las. Variasi bentuk spesimen yang diberikan ada 3 macam, yaitu bentuk *chamfer*, bentuk rata, dan bentuk penutup, sehingga banyaknya pengambilan data mengenai pengujian metallografi mikro ini sebanyak 9 kali. Data hasil pengujian metallografi mikro ini dapat dilihat pada tabel 4.4 berikut ini.

Table 4.4 hasil pengujian metallografi mikro

Variasi bentuk specimen	Base metal	HAZ (Heat Affected Zone)	Daerah Las
Chamfer			
Rata			
Penutup			

Dari data hasil pengujian metallografi mikro diatas, terlihat bahwa variasi bentuk yang diberikan dapat menghasilkan perubahan struktur material yang berbeda – beda. Perubahan struktur yang terjadi ini menyebabkan peningkatan kekerasan yang dimiliki suatu material, karena dilakukannya pengelasan. Pada gambar terlihat hasil bentuk chamfer dan rata memiliki warna struktur yang gelap, hal tersebut menunjukkan nilai kekerasannya rendah. Sedangkan untuk bentuk penutup memiliki struktur yang lebih terang, hal itu menunjukkan bahwa bentuk penutup mempunyai kekerasan yang lebih tinggi. Untuk bahasan mengenai kekerasan akan dijelaskan pada sub bab selanjutnya.

4.4 Analisis dan Pembahasan Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan yang telah dilakukan dengan menggunakan metode Vickers ini menghasilkan data berupa dua angka diagonal bekas indentasi piramida intan pada permukaan spesimen uji. Kedua angka diagonal tersebut kemudian di rata – rata kan dan kemudian di masukkan kedalam persamaan untuk mendapatkan nilai kekerasan spesimen uji. Persamaan yang digunakan adalah persamaan 2.10, dengan menggunakan data diagonal yang telah di ketahui maka data mengenai kekerasan akan didapat. Berikut ini di jelaskan mengenai perhitungan dalam mencari nilai kekerasan yang menggunakan data diagonal dari spesimen chamfer pada daerah base metal dengan titik uji 1.

$$VHN = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{d^2} \quad \text{dimana, } 2\sin(\theta/2) = 1.854$$

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

Diketahui : D1 = 82

D2 = 82

$$Drata - rata = \frac{82 + 82}{2} = 82$$

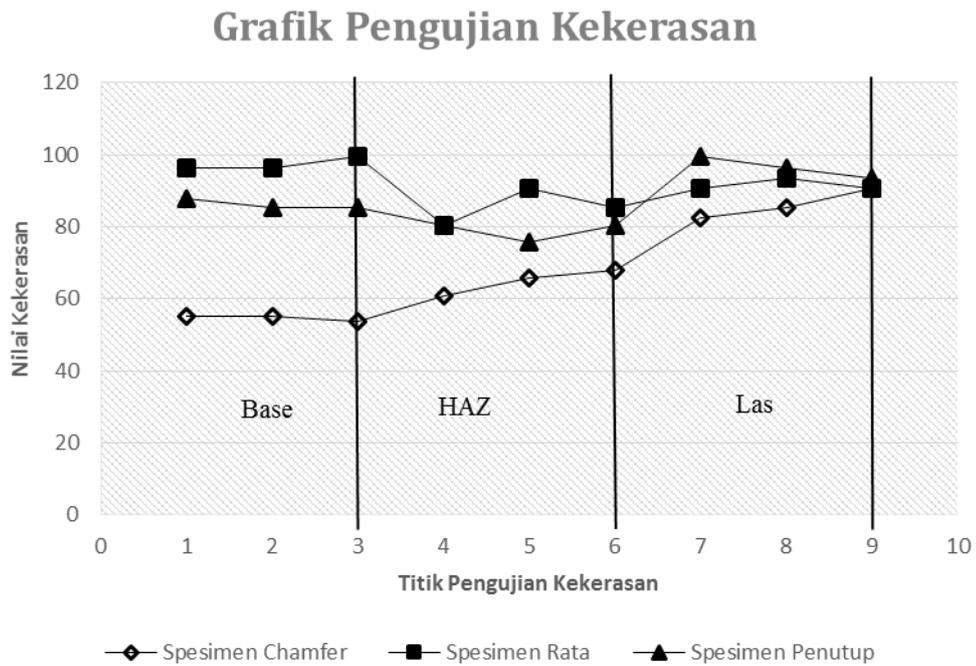
P = 200 gf

Ditanyakan : VHN ?

$$VHN = \frac{1.854 \times 200 \times 1000}{82^2}$$

$$VHN = 55,14 = 55$$

Untuk hasil perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada lampiran mengenai data nilai kekerasan yang terjadi setelah dilakukan pengelasan RFW dengan bentuk profil sambungan *chamfer*, rata, dan penutup. Kemudian dari hasil yang telah didapat mengenai nilai kekerasan spesimen pengelasan *rotary friction welding* maka dibuatlah grafik perbandingan nilai kekerasan dari variasi bentuk yang diberikan. Grafik nilai kekerasan tersebut dapat dilihat pada gambar 4.6



Gambar 4.6 Grafik nilai kekerasan spesimen pengelasan rotary friction welding

Pada grafik pengujian kekerasan diatas terlihat bahwa nilai kekerasan dari profil sambungan *chamfer* mengalami peningkatan nilai kekerasan, yang mana pada logam induk mempunyai nilai kekerasan 55 VHN dan terus naik nilai kekerasannya yaitu 91 VHN pada daerah las. Adapun dari hasil pengujian kekerasan ini yang mempunyai nilai tertinggi kekerasannya yaitu profil penutup, dengan nilai VHN pada hasil lasnya adalah 96 VHN. Kekerasan yang paling tinggi pada profil penutup ini juga ditunjukkan pada struktur yang dimiliki profil penutup, bahwa struktur yang dimiliki profil penutup mempunyai butir yang rapat dibandingkan dengan profil chamfer dan profil rata.

4.5 Analisis dan Pembahasan Hasil Pengujian Tarik

Table 4.5 Hasil pengujian tarik

Spesimen	F max	Lo	ΔL	A
Chamfer_1	9.60	62.50	8.24	123.25
Chamfer_2	12.62	62.50	11.54	126.21
Chamfer_3	17.44	62.50	14.83	123.64

Spesimen	Fmax	Lo	ΔL	A
Rata_1	15.32	62.50	10.55	124.63
Rata_2	7.76	62.50	6.92	124.23
Rata_3	14.04	62.50	11.54	122.66
Penutup_1	7.56	62.50	9.05	124.43
Penutup_2	8.46	62.50	8.11	123.84
Penutup_3	8.77	62.50	8.90	124.43

Data hasil pengujian tarik spesimen pengelasan RFW dihasilkan suatu nilai beban maksimal dan juga pertambahan panjang yang dapat diterima spesimen uji. Dari data tersebut dapat digunakan untuk mencari nilai tegangan tarik maximum dan nilai regangan yang dimiliki bahan uji. Penggunaan rumus yang ada pada bab 2 dengan persamaan 2.1 dan 2.2 dapat digunakan untuk mencari nilai tegangan maksimal dan nilai regangan. Berikut digunakan data hasil pengujian dengan bentuk *chamfer_1* sebagai contoh perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Diketahui : } F_{\max} &= 9.6 \text{ kN} & L_0 &= 62.50 \text{ mm} \\ A &= 123.25 \text{ mm}^2 & \Delta L &= 8.24 \text{ mm} \end{aligned}$$

Nilai tegangan tarik maximum

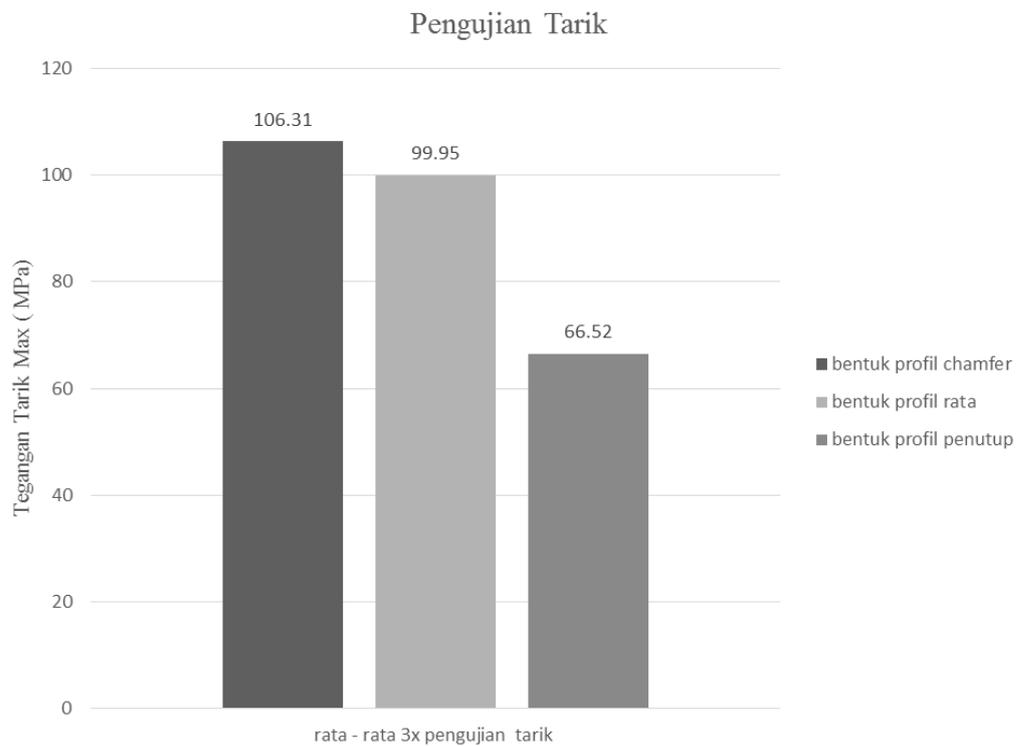
$$\begin{aligned} \sigma_{\max} &= \frac{F_{\max}}{A} \\ \sigma_{\max} &= \frac{9600 \text{ N}}{123.25 \text{ mm}^2} \\ \sigma_{\max} &= 77.89 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Nilai regangan

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \\ \varepsilon &= \frac{8.24 \text{ mm}}{62.50 \text{ mm}} \times 100\% \\ \varepsilon &= 13.19\% \end{aligned}$$

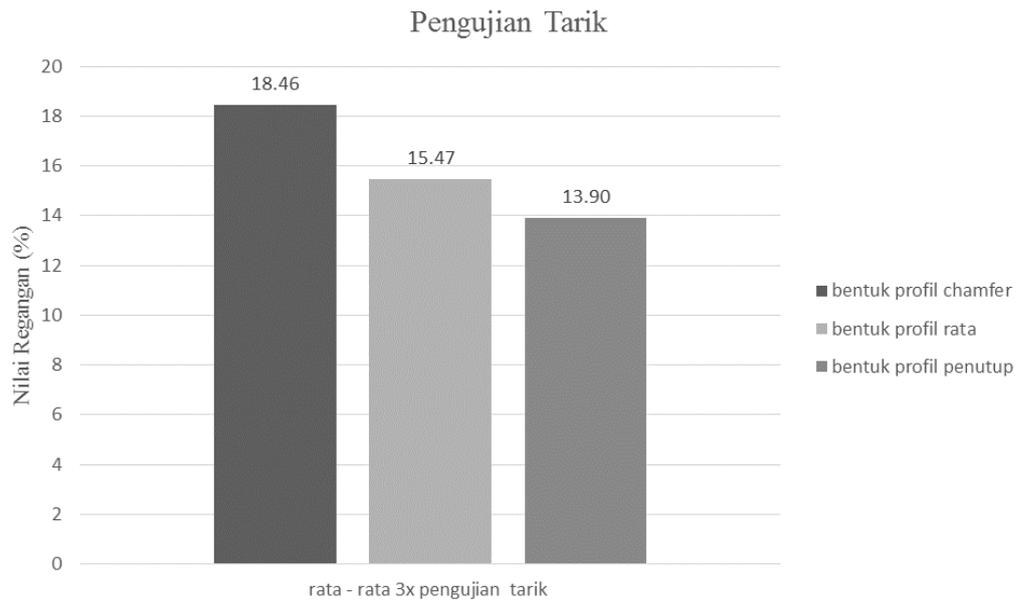
Untuk hasil perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada lampiran mengenai data tegangan regangan. Dari hasil yang telah didapat mengenai nilai tegangan maksimal dan nilai regangan spesimen pengelasan *rotary friction welding* maka dibuatlah grafik perbandingan nilai tegangan dan nilai regangan dari variasi

profil sambungan yang diberikan. Grafik nilai tegangan dapat dilihat pada gambar 4.7, sedangkan grafik nilai regangan dapat dilihat pada gambar 4.8.



Gambar 4.7 Grafik Tegangan Maksimal

Dari hasil pengujian didapatkan nilai rata – rata tegangan tarik maksimal yang paling besar adalah pada spesimen pengelasan dengan profil sambungan chamfer yaitu 106,31 MPa, dan pengelasan dengan profil sambungan penutup mendapatkan nilai rata – rata tegangan tarik yang paling rendah yaitu 66,52 MPa.



Gambar 4.8 Grafik Regangan

Hasil regangan tarik yang ditunjukkan oleh gambar 4.8 yaitu grafik pengujian tarik mengenai regangan, mendapatkan hasil yang berbanding lurus dengan nilai tegangan maksimal. Pada tegangan maksimal, nilai tertinggi adalah bentuk profil *chamfer*, sehingga regangan yang tertinggi juga terjadi pada profil sambungan *chamfer* dengan nilai rata – rata regangan nya yaitu 18,46%. Nilai rata – rata regangan terendah terjadi pada profil sambungan penutup dengan nilai regangan nya yaitu 13,90 %.

Dari data hasil pengujian tarik yang telah dilakukan, profil sambungan *chamfer* memiliki kekuatan tarik yang paling tinggi dengan nilai sebesar 106,31 MPa. Hal tersebut dikarenakan panas yang terjadi merata dan kepadatan hasil lasan yang rapat sehingga membentuk struktur yang ulet.

4.6 Analisis dan Pembahasan Hasil Pengujian Bending

Pengujian bending dilakukan untuk mengetahui kekuatan suatu bahan dengan cara memberikan beban gaya tepat di tengah area las karena mempergunakan metode *three point bending*. Penentuan jarak titik tumpu dalam pengujian bending ini dibuat mengacu pada *manual book of ASTM standards 2003* dan mengacu pada standar ASTM E290. Untuk hasil dari pengujian bending dapat dilihat pada tabel 4.6.

Table 4.6 Hasil pengujian *Bending*

P max (KN)	Δl (mm)
2.64	7.59
2.44	6.55
2.72	7.36
3.31	12.89
3.20	5.98
2.72	4.56
2.40	7.87
2.55	7.12
0.95	5.71

Data yang diberikan pada Table 4.6 adalah hasil dari pengujian bending. Untuk mencari nilai tegangan bending maka di gunakan persamaan 2.3 yang kemudian di gabungkan dengan persamaan 2.4, persamaan 2.5, dan persamaan 2.6 sehingga didapat persamaan yang lebih ringkas untuk mencari nilai tegangan bending yang dimiliki spesimen. Berikut adalah pembahasannya :

$$\sigma = \frac{M \times c}{I}$$

$$M = \frac{P \times L}{4}$$

$$I = \frac{\pi \times r^4}{4}$$

$$c = r$$

Persamaan diatas kemudian di gabungkan untuk menjadi persamaan yang ringkas

$$\sigma = \frac{\frac{P \times L}{4} \times r}{\frac{\pi \times r^4}{4}}$$

$$\sigma = \frac{P \times L \times r}{\pi \times r^4}$$

$$\sigma = \frac{P \times L}{\pi \times r^3}$$

Setelah didapat persamaan yang ringkas diatas, dapat dilihat contoh perhitungan berikut yang menggunakan data dari bentuk chamfer_1 :

Diketahui : Pmax = 2.64 kN = 2640 N

L(panjang jarak titik tumpu) = 80mm

d = 16.93mm

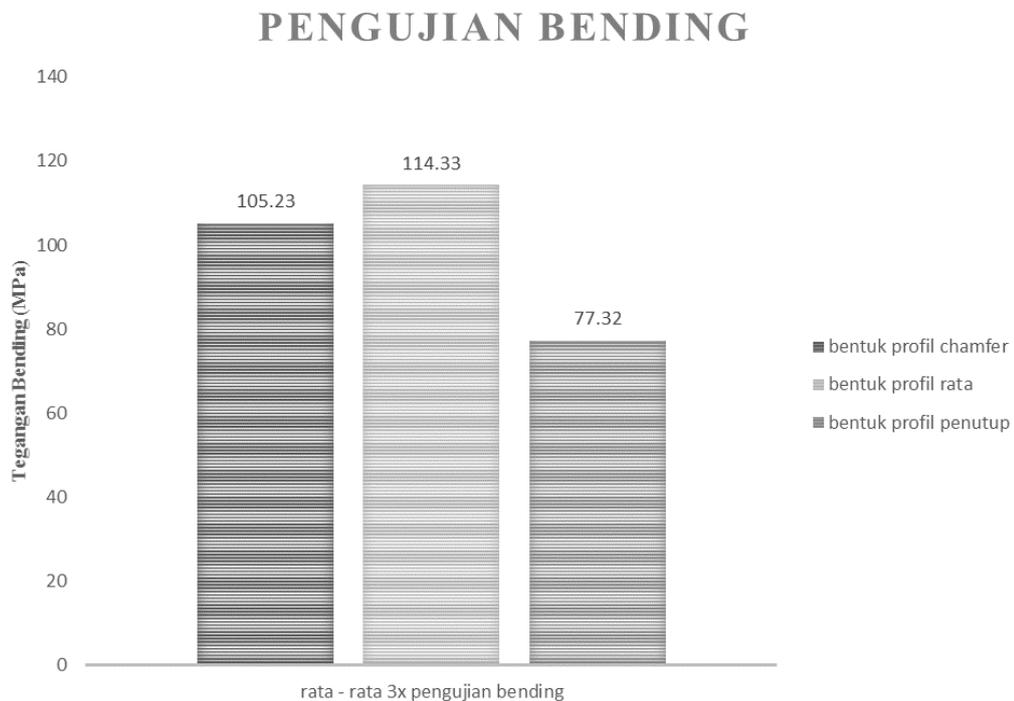
$$\sigma_{\max} = \frac{P_{\max} \times L}{\pi \times r^3}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{2.64kN \times 80mm}{3.14 \times \left(\frac{16.93mm}{2}\right)^3}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{211200}{1904.6296}$$

$$\sigma_{\max} = 110.89Mpa$$

Untuk hasil perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada lampiran mengenai data tegangan bending. Dari hasil yang telah didapat mengenai nilai tegangan bending spesimen pengelasan *rotary friction welding* maka dibuatlah grafik perbandingan nilai tegangan bending dari variasi profil sambungan yang diberikan. Grafik nilai tegangan dapat dilihat pada gambar 4.7



Gambar 4.9 Grafik tegangan pengujian bending

Berdasarkan hasil pengujian yang dapat dilihat pada gambar 4.9 mengenai grafik pengujian bending, untuk hasil tegangan bending yang paling tinggi dimiliki oleh profil sambungan rata dengan nilai rata – rata tegangannya adalah

114,33 MPa. Sedangkan tegangan *bending* terendah dimiliki oleh profil sambungan penutup dengan nilai rata - rata tegangannya adalah 77,32 MPa. Rendahnya nilai tegangan *bending* yang dimiliki oleh profil sambungan penutup disebabkan oleh pemanasan yang tidak merata sehingga aluminium 4017 mempunyai sifat yang mudah patah saat dilakukan pengujian bending.

4.7 Penerapan RFW Dalam Industri

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai RFW ini dengan mempergunakan bahan aluminium yang telah dilas yang mempunyai nilai kekerasan, kekuatan tarik, dan kekuatan bending dari hasil lasannya, kemudian dibandingkan dengan hasil standar kekerasan, kekuatan tarik, dan kekuatan bending yang dimiliki oleh produk dari aplikasi RFW ini. Hal ini bertujuan untuk menentukan apakah hasil las RFW yang dilakukan dengan menggunakan mesin bubut sebagai alat pelaksana RFW dapat memenuhi standar nilai kekerasan, kekuatan tarik, dan kekuatan bending dari produk aplikasi RFW dalam industri. Berikut adalah tabel 4.7 perbandingan kekuatan tarik produk aplikasi RFW dengan hasil kekuatan tarik dari penelitian, kemudian tabel 4.8 perbandingan kekerasan, dan tabel 4.9 perbandingan nilai kekuatan bending.

Table 4.7 perbandingan kekuatan tarik standar industri dengan kekuatan tarik hasil penelitian

No.	Produk RFW	Standar	Rata	Chamfer	Penutup
1	Aluminium Hub (Aluminium 2017)	179 MPa (Boyer and Gall, 1985)	99,95 MPa	106,31 MPa	66,52 MPa
2	Casting Clamp (Aluminium 1100)	110 MPa (Boyer and Gall, 1985)	99,95 MPa	106,31 MPa	66,52 MPa

Table 4.8 perbandingan kekerasan standar industri dengan kekerasan hasil penelitian

No	Produk RFW	Standar	Rata	Chamfer	Penutup
1	Aluminium Hub (Aluminium 2017)	118 VHN (Boyer and Gall, 1985)	93 VHN	91 VHN	100 VHN
2	Casting Clamp (Aluminium 1100)	28 VHN (Boyer and Gall, 1985)	93 VHN	91 VHN	100 VHN

Table 4.9 perbandingan nilai kekuatan bending standar industri dengan kekuatan bending hasil penelitian

No	Produk RFW	Standar	Rata	Chamfer	Penutup
1	Aluminium Hub (Aluminium 2017)	319 MPa (Boyer and Gall, 1985)	114,33 MPa	105,23 MPa	77,32 MPa
2	Casting Clamp (Aluminium 1100)	215 MPa (Boyer and Gall, 1985)	114,33 MPa	105,23 MPa	77,32 MPa

Dari data tabel 4.7 yang diberikan, dapat ditentukan nilai kekuatan tarik RFW dari berbagai variasi bentuk profil sambungan masih belum memenuhi standar dari kekuatan tarik yang dibutuhkan dalam produk aplikasi RFW (aluminium hub, dan casting clamp) yang dibandingkan. Hal tersebut di mungkinkan karena perbedaan seri bahan aluminium yang digunakan, dan penurunan nilai kekuatan tarik yang terjadi akibat hasil lasan. Nilai kekuatan tarik rata – rata pada material aluminium tanpa di las mempunyai nilai 260,53 MPa.

Dari tabel 4.8 menunjukkan data mengenai kekerasan yang dimiliki bahan pembuatan produk RFW industri kemudian dibandingkan dengan nilai kekerasan yang dimiliki hasil las RFW dengan mesin bubut. Hasil perbandingan tersebut menunjukkan bahwa nilai kekerasan hasil RFW dengan semua variasi bentuk profil sambungan memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dari bahan produk aplikasi RFW (casting clamp). Namun nilai kekerasan hasil RFW dengan semua variasi bentuk profil sambungan memiliki nilai lebih rendah dari nilai kekerasan bahan produk aplikasi RFW (aluminium hub).

Perbandingan nilai kekuatan bending antara nilai standar produk aplikasi RFW industry dengan nilai hasil pengelasan RFW dengan mesin bubut yang di lihat pada tabel 4.9, menunjukkan bahwa nilai kekuatan bending hasil las RFW dengan mesin bubut mempunyai nilai kekuatan bending yang lebih rendah dari pada nilai kekuatan bending standar bahan produk aplikasi RFW industri.

Dari variasi bentuk profil sambungan yang diberikan, bentuk profil sambungan *chamfer* adalah bentuk profil sambungan yang paling memungkinkan untuk dapat di gunakan / diterapkan dalam dunia industri yang memiliki nilai kekuatan tarik tertinggi dan nilai kekerasan yang semakin meningkat. Faktor

yang menyebabkan kekuatan tertinggi dalam penelitian ini adalah faktor bentuk dan juga suhu rendah dalam pengelasan. Bentuk dari profil yang diberikan dengan bentuk chamfer ini memiliki suhu pengelasan yang lebih rendah dibandingkan dengan variasi bentuk profil sambungan lainnya. Peningkatan kekuatan dapat dilakukan dengan menggunakan metode *aging* yang menjelaskan bahwa kekuatan dapat ditingkatkan dengan cara memanaskan dengan suhu tidak terlalu tinggi agar terjadi *difusi* fasa alpha pada jarak membentuk *prehipitate*. Suhu yang tidak terlalu tinggi ini dapat mengakibatkan pendinginan cepat agar dapat mempertahankan struktur mikro fasa padat *homogeny* agar tidak terjadi *difusi*.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka terdapat beberapa kesimpulan yang dapat diambil. Adapun kesimpulan tersebut sebagai berikut :

1. Dari hasil pengamatan hasil pengujian dye penetrant memperlihatkan bahwa dari berbagai variasi bentuk profil sambungan yang diberikan masih terjadi porositas pada hasil sambungan. Kemudian pengamatan metallografi makro menunjukkan hasil sambungan terlihat sudah tersambung dengan baik yang dilakukan berbagai variasi bentuk profil sambungan. Pengujian metallografi mikro menunjukkan perubahan struktur dari variasi bentuk profil sambungan yang diberikan, struktur yang sangat terlihat perubahannya adalah profil sambungan chamfer.
2. Pada pengujian kekerasan menunjukkan hasil peningkatan kekerasan pada daerah las dari berbagai variasi bentuk profil sambungan, namun bentuk chamferlah yang memiliki nilai kekerasan yang sangat meningkat dari 55 VHN pada logam induk sampai 91 VHN pada daerah las. Kemudian dari hasil pengujian tarik, nilai rata – rata tegangan maksimum & nilai rata – rata regangan tertinggi yaitu dengan bentuk chamfer, dengan nilai rata – rata tegangan tarik maksimum nya adalah 106.31 Mpa dan nilai rata – rata regangan nya adalah 18.46 %. Sedangkan dari hasil pengujian bending di peroleh tegangan rata – rata tertinggi adalah bentuk rata yang nilainya adalah 114.33 Mpa.
3. Bentuk yang paling optimum dalam melakukan RFW dengan menggunakan mesin bubut adalah bentuk profil sambungan chamfer, karena bentuk profil sambungan chamfer memiliki nilai rata – rata kekuatan tarik yang tertinggi, dan juga memiliki nilai kekerasan yang semakin meningkat pada hasil lasannya, dari sifat mekanik yang dimiliki hasil las bentuk profil sambungan chamfer memungkinkan untuk dapat digunakan dalam dunia industri

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

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

1. Membuat komponen pembantu agar dapat meredam getaran pada spesimen yang statis saat melakukan pengelasan rotary friction welding.
2. Memastikan centering tail stock sebagai pemegang spesimen yang statis terhadap spesimen yang berputar pada spindle.
3. Membuat alat penekanan yang dapat diletakkan pada mesin bubut yang dapat dilepas pasang, agar dapat mengukur seberapa baik penekanan yang diberikan dalam melakukan pengelasan rotary friction welding.

DAFTAR PUSTAKA

- Mishra, R. S., dan Z. Y. Ma. "Friction stir welding and processing." *Materials Science and Engineering: R: Reports* 50, no. 1 (31 Agustus 2005): 1–78. <https://doi.org/10.1016/j.mser.2005.07.001>.
- Partomuan, Putra, dan Yohanes '. "Pengaruh Variasi Bentuk Permukaan Forging Sambungan Las Gesek Rotary terhadap Kekuatan Tarik Baja Mild Steel." *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau* 3, no. 2 (Oktober 2016): 1–5.
- Jones, David. "Pengertian Pengelasan Adalah dan Macam Macam Jenis Pengelasan." Diakses 11 September 2018. <http://www.pengelasan.com/2014/06/pengertian-pengelasan-adalah.html>.
- F. W., Setyawan, dan Dedi Dwilaksana. "Analisis Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Aluminium Paduan Al-Mg-Si Hasil Pengelasan Friction Welding Dengan Variasi Kecepatan Putar." *ROTOR*, no. 2 (2014): 1-4% V 7.
- Wicaksana, Hendry, Santoso Mulyadi, dan Ahmad Syuhri. "SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO SAMBUNGAN LAS ALUMINIUM 6061 HASIL FRICTION WELDING." *ROTOR; Vol 9 No 1 (2016)*, 31 Januari 2017. <https://jurnal.unej.ac.id/index.php/RTR/article/view/3988>.
- Surdia, T., Chijiwa, K., 2000, *Teknik Pengecoran Logam*, Cetakan Ke-8, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Surdia, T., Saito, S., 1985, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Cetakan Ke-3, PT. Padnya Paramita, Jakarta.
- Wirjosumarto, Harsono dan Okumura, Toshie. 1994. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Bhamji, M. P., R. J. Moat, P. L. Threadgill, dan A. C. Addison. 2012. Linier friction welding of aluminium to magnesium. *Journal science and technology of welding and joining* Vol 17. Halm 368-378.
- "Automotive Archives." *MTI Welding* (blog). Diakses 12 Desember 2018. <https://www.mtiwelding.com/industries/automotive/>.
- "(Friction Welding Product Examples) | Izumi Machine Mfg. JAPAN." Diakses 7 Januari 2019. http://www.en.izumi-mfg.co.jp/fw/examples/index_2_1.html.

- “ Numerical and Experimental Residual Stresses Study of Linear Friction Welded Composite.” ResearchGate. Diakses 15 Januari 2019. https://www.researchgate.net/publication/261483143_Numerical_and_experimental_residual_stresses_study_of_linear_friction_welded_composite.
- Alves, L. M., C. M. A. Silva, dan P. A. F. Martins. “End-to-end joining of tubes by plastic instability.” *Journal of Materials Processing Technology* 214, no. 9 (1 September 2014): 1954–61. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2014.04.011>.
- Sastranegaran Azhari, 2009, mengenal uji tarik, Universitas Indonesia, Depok Diakses pada tanggal 21 oktober 2018, jam 20.35 wib
- “A statistical analysis of rotary friction welding of steel with varying carbon in workpieces.” Diakses 15 Januari 2019. https://www.researchgate.net/publication/251353405_A_statistical_analysis_of_rotary_friction_welding_of_steel_with_varying_carbon_in_workpieces.

LAMPIRAN

1. Data hasil pengujian bending di UGM



LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

HASIL PENGUJIAN BENDING

Spesimen Pengelasan FSW

No	Spesimen	Diameter (mm)	Tegangan Bending, σ_b (MPa)	Δl saat patah (mm)
1	Chamver 1	16.93	110.89	7.59
2	Chamver 2	17.19	97.91	6.55
3	Chamver 3	17.31	106.89	7.36
4	Rata 1	17.95	116.65	12.89
5	Rata 2	17.82	115.26	5.98
6	Rata 3	17.09	111.07	4.56
7	Penutup 1	17.16	96.81	7.87
8	Penutup 2	17.34	99.69	7.12
9	Penutup 3	17.61	35.46	5.71

Keterangan:
1. Pengujian dilakukan tanggal 21 Oktober 2018
2. Pengujian menggunakan standar ASTM E290

Lembar asli, tidak untuk digandakan

Pengujian & Analisa Material
Lab. Bahan Teknik
Departemen Teknik Mesin
Sekolah Vokasi UGM

Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281 Telpn : (0274) 747632, 548637, 6492269. Fax. (0274) 546400
E-mail: lab.bahanteknik@yahoo.co.id

2. Pengujian kekerasan



LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

HASIL UJI KEKERASAN

Spesimen Chamver

No	Daerah Uji	Titik Uji	D1 (µm)	D2 (µm)	Drata-rata (µm)	Kekerasan (VHN)
1	Base	1	82	82	82	55
2		2	82	82	82	55
3		3	83	83	83	54
4	HAZ	4	78	78	78	61
5		5	75	75	75	66
6		6	74	74	74	68
7	Las	7	67	67	67	83
8		8	66	66	66	85
9		9	64	64	64	91

Spesimen Rata

No	Daerah Uji	Titik Uji	D1 (µm)	D2 (µm)	Drata-rata (µm)	Kekerasan (VHN)
1	Base	1	62	62	62	96
2		2	62	62	62	96
3		3	61	61	61	100
4	HAZ	4	68	68	68	80
5		5	64	64	64	91
6		6	66	66	66	85
7	Las	7	64	64	64	91
8		8	63	63	63	93
9		9	64	64	64	91

Spesimen Penutup

No	Daerah Uji	Titik Uji	D1 (µm)	D2 (µm)	Drata-rata (µm)	Kekerasan (VHN)
1	Base	1	65	65	65	88
2		2	66	66	66	85
3		3	66	66	66	85
4	HAZ	4	68	68	68	80
5		5	70	70	70	76
6		6	68	68	68	80
7	Las	7	61	61	61	100
8		8	62	62	62	96
9		9	63	63	63	93

Keterangan: Pengujian dilaksanakan tanggal 21 Oktober 2018



Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281 Telpn : (0274) 747632, 548637, 6492269. Fax. (0274) 546400
 E-mail: lab.bahanteknik@yahoo.co.id

Lembar asli, tidak untuk digandakan

3. Pengujian Tarik



LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

HASIL PENGUJIAN TARIK

Spesimen: Pengelasan FSW

No	Spesimen	Diameter (mm)	Tegangan, σ (MPa)	Regangan (%)
1	Chamver_1	12.53	77.89	13.19
2	Chamver_2	12.68	99.99	18.46
3	Chamver_3	12.55	141.06	23.73
4	Rata_1	12.60	122.93	16.88
5	Rata_2	12.58	62.46	11.08
6	Rata_3	12.50	114.47	18.46
7	Penutup_1	12.59	60.76	14.48
8	Penutup_2	12.56	68.32	12.98
9	Penutup_3	12.59	70.48	14.24

Lembar asli, tidak untuk dipindai

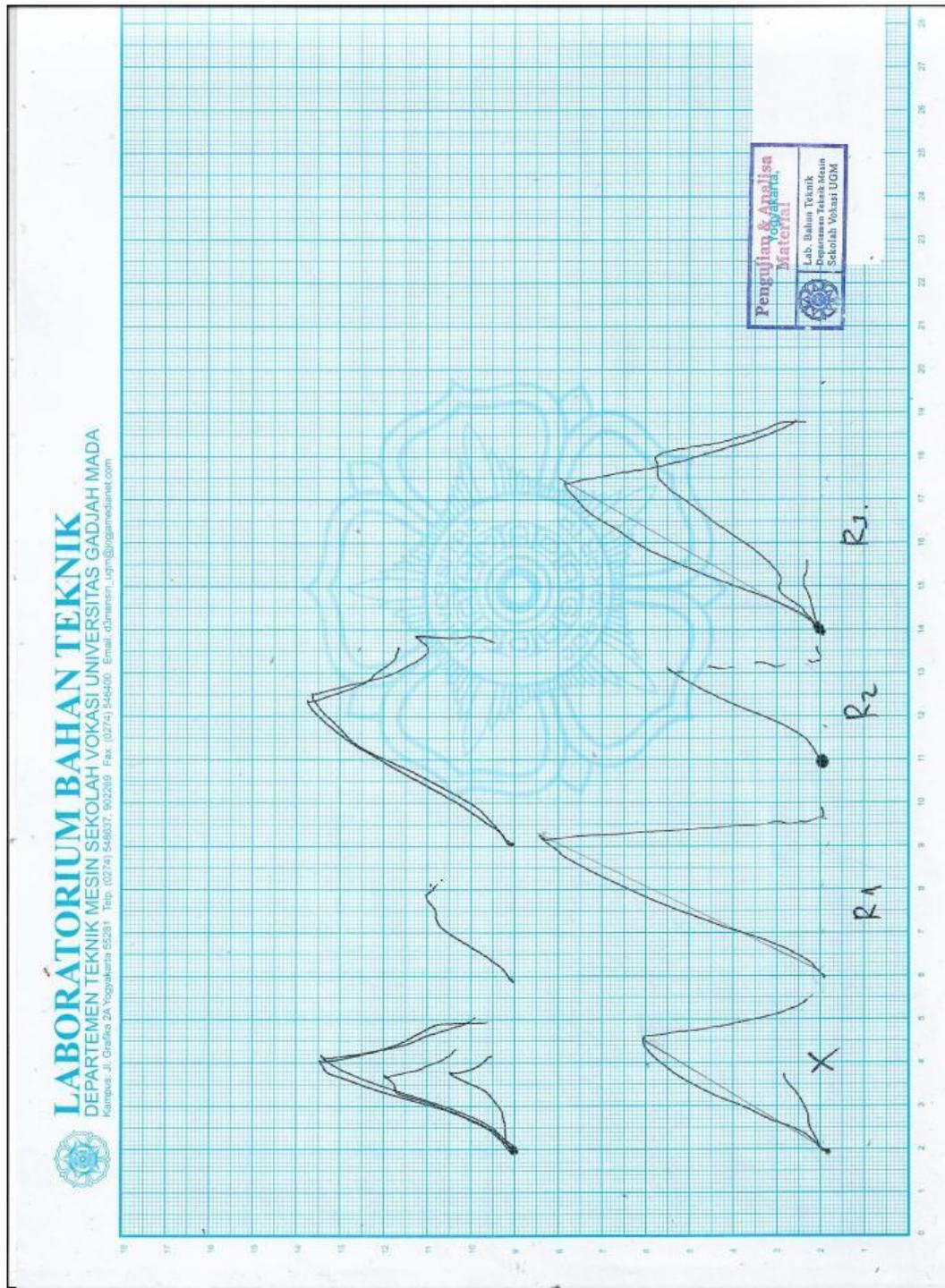
Keterangan:

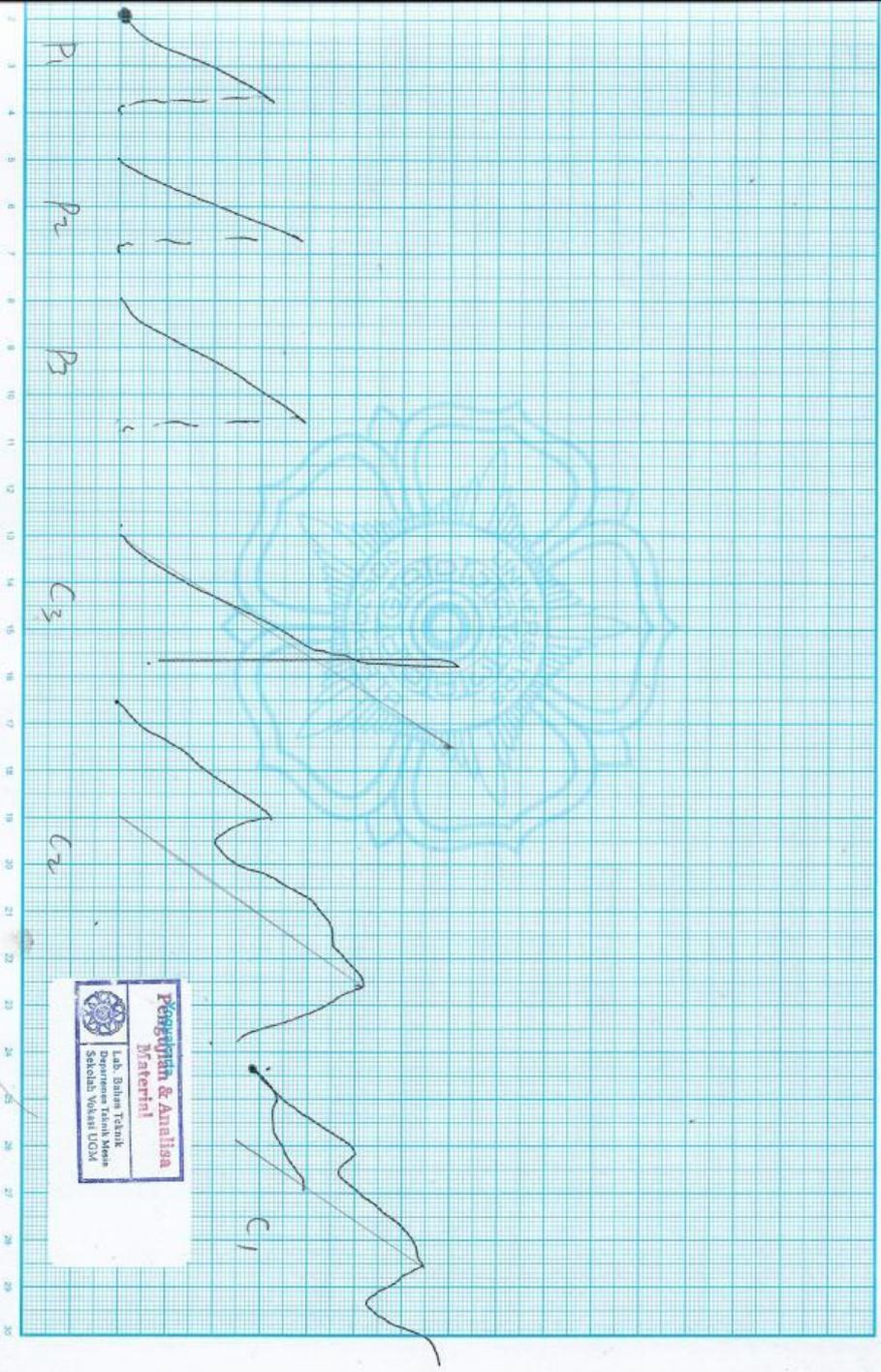
1. Pengujian dilakukan tanggal 21 Oktober 2016
2. Pengujian menggunakan standar ASTM E-8M

Pengujian & Analisis Material
Laboratorium Bahan Teknik
Departemen Teknik Mesin
Sekolah Vokasi
Universitas Gadjah Mada

Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281 Telpun : (0274) 747632, 548637, 6492269; Fax : (0274) 548400
E-mail : lab.bahanteknik@yahoo.co.id

4. Data grafik uji tarik





Pengetahuan & Analisa
Material
Lab. Bahan Teknik
Departemen Teknik Mesin
Sekolah Vokasi UGM

5. Grafik uji bending



7. Pengecekan hasil pengujian komposisi

Choose up to 3 Material Compositions (Optional)

Set the range by entering the minimum and/or maximum values for each selected property.

Aluminum, Al ▼
 Min: Max: Unit: % ▼

Silicon, Si ▼
 Min: Max: Unit: % ▼

Magnesium, Mg ▼
 Min: Max: Unit: % ▼

4017 Aluminum Composition Spec

Categories: [Metal](#); [Nonferrous Metal](#); [Aluminum Alloy](#); [4000 Series Aluminum Alloy](#)

Material Notes: This data sheet has only a limited amount of property data. Most MatWeb aluminum entries, especially entries with a specific temper in the name, have much more property data. Data points with the AA note have been provided by the Aluminum Association, Inc. and are NOT FOR DESIGN.

Composition Notes:
 Composition information provided by the Aluminum Association and is not for design.

Key Words: UNS A94017; Aluminium 4017; AA4017; Al4017

Vendors: No vendors are listed for this material. Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

[Printer friendly version](#) [Download as PDF](#) [Download to Excel \(requires Excel and Windows\)](#)
[Export data to your CAD/FEA program](#)

Add to Folder: My Folder ▼ 0/0

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	2.72 g/cc	0.0983 lb/in ³	AA, Typical

Component Elements Properties	Metric	English	Comments
Aluminum, Al	95.1 - 98.6 %	95.1 - 98.6 %	As remainder
Copper, Cu	0.10 - 0.50 %	0.10 - 0.50 %	
Iron, Fe	<= 0.70 %	<= 0.70 %	
Magnesium, Mg	0.10 - 0.50 %	0.10 - 0.50 %	
Manganese, Mn	0.60 - 1.2 %	0.60 - 1.2 %	
Other, each	<= 0.05 %	<= 0.05 %	
Other, total	<= 0.15 %	<= 0.15 %	
Silicon, Si	0.60 - 1.6 %	0.60 - 1.6 %	
Zinc, Zn	<= 0.20 %	<= 0.20 %	

8. Hasil uji tarik dan bending raw material



LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

HASIL PENGUJIAN TARIK

Spesimen Raw Material

No	Spesimen	Diameter (mm)	Tegangan, σ (MPa)	Regangan (%)
1	Al_1	12.32	267.56	45.90
2	Al_2	12.30	255.97	42.42
3	Al_3	12.47	258.05	47.54

Keterangan:

1. Pengujian dilakukan tanggal 22 Desember 2018
2. Pengujian menggunakan standar ASTM E-8M

HASIL PENGUJIAN BENDING

Spesimen Raw Material

No	Spesimen	Diameter (mm)	Tegangan Bending, σ_b	Δ saat P max (mm)
1	Al_1	16.03	407.73	39.54
2	Al_2	16.02	396.60	37.37
3	Al_3	16.00	397.09	36.03

Keterangan:

1. Pengujian dilakukan tanggal 22 Desember 2018
2. Pengujian menggunakan standar ASTM E-290

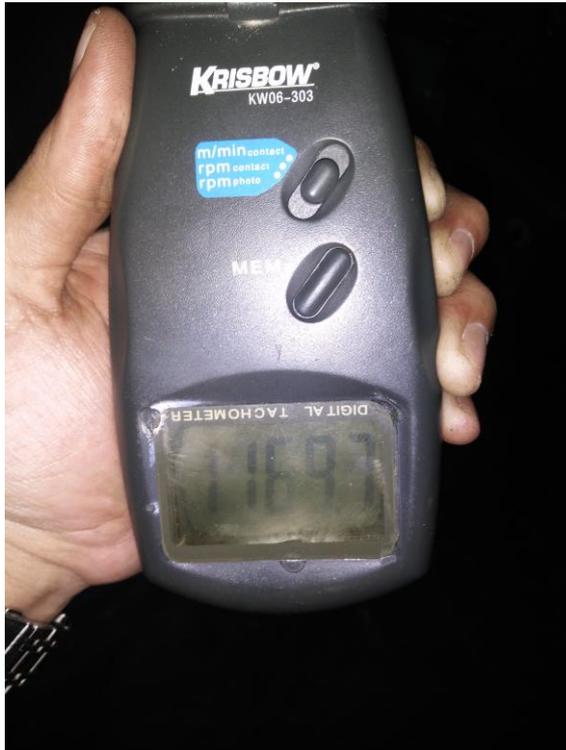


Lembar asli, tidak untuk digandakan

Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281 Telpn : (0274) 747632, 548637, 6492269. Fax. (0274) 546400
E-mail: lab.bahanteknik@yahoo.co.id

9. Tachometer

- Putaran spindle tanpa penekanan



- Putaran spindle saat penekanan

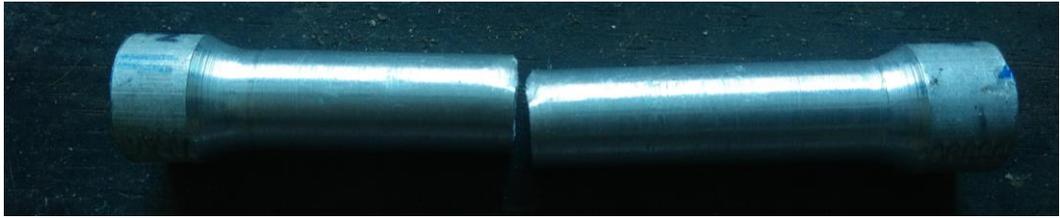


10. Patahan uji tarik

- Bentuk profil penutup



- Bentuk profil chamfer



- Bentuk profil rata

