ANALISIS SIFAT FISIK DAN MEKANIK HASIL PENGELASAN *ROTARY FRICTION WELDING* PADA SAMBUNGAN *DISSIMILAR* ALUMINIUM T6061-AISI 1012 DENGAN VARIASI BENTUK SAMBUNGAN

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin

Disusun Oleh :

Nama : Renovian Dwi Saputra
No. Mahasiswa : 16525072
NIRM : 2016070537

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA

2020

PERNYATAAN KEASLIAN

Demi Allah saya akui karya tulis yang saya buat ini adalah hasil karya saya sendiri kecuali kutipan ataupun ringkasan yang saya ambil sebagai referensi telah saya cantumkan sumbernya. Apabila dikemudian hari terbukti pengakuan saya tidak benar serta melanggar peraturan yang sah dalam hak kekayaan intelektual, maka saya bersedia mengikuti hukuman ataupun sanksi apapun sesuai hukum yang diberlakukan Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 30 Desember 2020



Renovian Dwi Saputra

16525072

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

Analisis Sifat Fisik dan Mekanik Hasil Pengelasan *Rotary Friction Welding* pada Sambungan Disimilar Aluminium T6061-AISI 1012 dengan Variasi Bentuk Sambungan

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Renovian Dwi Saputra

No. Mahasiswa : 16525072

NIRM : 2016070537

Yogyakarta, 21 Desember 2020

Pembimbing



Yustiasih Purwaningrum S.T.,M.T

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

Analisis Sifat Fisik dan Mekanik Hasil Pengelasan *Rotary Friction Welding* pada Sambungan Disimilar Aluminium T6061-AISI 1012 dengan Variasi Bentuk Sambungan

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Renovian Dwi Saputra
No. Mahasiswa : 16525072
NIRM : 2016070537

Tim Penguji

Yustiasih Purwaningrum, S.T.,M.T.
Ketua — Tanggal : 30 Desember 2020

Santo Ajie Dhewanto, S.T.,M.M.
Anggota I — Tanggal : 30 Desember 2020

Muhammad Ridlwan, S.T.,M.T.
Anggota II — Tanggal : 30 Desember 2020

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin

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

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillahi Robbil' Alamin saya ucapkan rasa syukur kepada Allah SWT atas nikmat dan rahmatnya saya dapat menyelesaikan skripsi tugas akhir saya dengan lancar.

Saya persembahkan hasil tugas akhir ini kepada kedua orangtua saya yang senantiasa memberikan dukungan dan do'a sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Karena sesungguhnya tiada syair yang indah selain do'a yang terucap dari orang tua.

Saya ucapkan terimakasih kepada kakak saya yang telah menjadi teladan serta rival untuk membahagiakan kedua orangtua kita.

HALAMAN MOTTO

عَلَّمَ الْاِنْسَانَ مَا لَمْ يَعْلَمْۗ

“Allamal-insāna mā lam ya'lam”
Artinya: "Dia mengajarkan manusia apa yang tidak diketahuinya."

إِفَإِنَّ مَعَ ٱلْعُسْرِ يُسْرًا إِنَّ مَعَ ٱلْعُسْرِ يُسْرًا

“Fa inna ma’al-‘usri yusrā, inna ma’al-‘usri yusrā”
Artinya: “Karena sesungguhnya sesudah kesulitan ada kemudahan, sesungguhnya sesudah kesulitan ada kemudahan”

“Ketika kamu terus mencoba kamu akan berhasil, kamu gagal ketika menyerah”

KATA PENGANTAR

"Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarokatuh"

Alhamdulillahi Robbil' Alamin, puji dan syukur kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunianya sehingga laporan tugas akhir ini dapat terselesaikan. Shalawat serta salam tidak lupa kita panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah menuntun kita dari zaman jahiliyah menuju kehidupan yang lebih baik melalui ajaran islam. Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar sarjana pada Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.

Proses pelaksanaan dan penyusunan laporan tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan lancar tak lepas dari bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Kedua orangtua, ayah dan bunda serta kakak yang selalu memberikan do'a dan dukungan serta motivasi kepada penulis.
2. Bapak Dr.Eng. Risdiyono, S.T., M.Eng. selaku Ketua Prodi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia.
3. Ibu Yustiasih Purwaningrum, S.T,.M.T. selaku dosen pembimbing penulis yang tidak lelah memberikan semangat dan arahan ketika bimbingan laporan tugas akhir ini.
4. Seluruh Dosen Teknik Mesin FTI UII yang telah banyak mengajarkan ilmunya dengan sepenuh hati.
5. Pak Lilik selaku pembimbing dalam pelaksanaan pengujian spesimen di Lab Pengujian Material Jurusan D3 Teknik Mesin UGM.
6. Dyan Ahmad Halym Moek'arriharsjah selaku rekan dalam melakukan penelitian Tugas Akhir ini.
7. Teman-teman seperjuangan Teknik Mesin UII Angkatan 2016.

Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini telah disusun dengan sebaik-baiknya, namun karena adanya keterbatasan yang memungkinkan masih terjadi kesalahan maupun kekurangan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini. Oleh karena itu, segala macam kritik dan saran bersifat membangun sangat diharapkan

demi kesempurnaan laporan ini. Harapan besar dengan adanya laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semuanya.

"Wabillahitaufiq walhidayah"

"Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuhu"

Yogyakarta, 2020

Penulis,



Renovian Dwi Saputra

16525072

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik variasi bentuk sambungan terhadap pengelasan *Rotary Friction Welding* (RFW). Pada penelitian kali ini menyambungkan material AISI 1012 dengan aluminium T-6061 dengan metode RFW. Pada penelitian kali ini juga menggunakan variasi ujung sambungan yaitu sambungan datar, sambungan *fins*, dan sambungan *cone*. Proses penyambungan menggunakan mesin bubut dengan kecepatan putar 1170 rpm. Aluminium T-6061 diletakan pada spindel putar sedangkan AISI 1012 diletakan pada arbor statis yang tersambung dengan *tail stock*. Proses penyambungan dilakukan selama 60 detik dan digesekan sepanjang 3 mm ditambah 2 mm. Selanjutnya spesimen akan dilakukan pengujian tarik, tekan, pengamatan mikro-makro, Vickers mikro hardness, dye penetrant, dan korosi. Hasilnya semua spesimen dapat tersambung dengan baik yang dibuktikan dengan pengamatan makro dimana tidak ada cacat penyambungan. Dari pengamatan struktur mikro semua variasi bentuk sambungan terjadi perubahan bentuk ferit yang semakin mengecil dan bertambahnya perlit pada daerah HAZ dan sambungan akibat terkena panas yang terjadi. Hal tersebut meningkatkan kekerasan dimana daerah HAZ dan sambungan mengalami peningkatan kekerasan daripada daerah logam induk. Peningkatan terbesar terjadi pada daerah las sambungan datar dimana nilainya 231,75 HVN sedangkan variasi *fins* dan *cone* memiliki nilai yang sama sebesar 220,58 HVN. Pada pengujian tarik variasi datar dan *fins* memiliki nilai tegangan tertinggi sebesar 93,27 MPa tetapi sambungan datar memiliki nilai regangan lebih tinggi sebesar 6,73% dimana sambungan datar lebih ulet daripada sambungan *fins*. Pada pengujian bending sambungan *fins* memiliki nilai tertinggi sebesar 74,17 MPa disbanding sambungan *cone* 36,68 MPa dan datar 23,91 MPa. Berdasarkan pengujian korosi semua variasi memiliki ketahanan korosi yang tinggi bila dibandingkan dengan standard Fontana.

Kata kunci : Rotary friction welding, dissimilar, Aluminium T-6061, AISI 1012, Variasi Ujung Sambungan

DAFTAR ISI

Halaman Judul i
Pernyataan Keaslian ii
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing iii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji iv
Halaman Persembahan v
Halaman Motto vi
Kata Pengantar vii
Abstrak ix
Daftar Isi x
Daftar Tabel xii
Daftar Gambar xiii
Daftar Notasi xiv
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 4
2.1 Kajian Pustaka 4
2.2 Dasar Teori 6
2.2.1 Pengelasan 6
2.2.2 Pengelasan Material *Dissimilar* 7
2.2.3 Pengelasan *Rotary Friction Welding* (RFW) 7
2.2.4 Material Aluminium 9
2.2.5 Material *Steel* 11
2.2.6 Pengujian tarik 14
2.2.7 Pengujian *Bending* 16
2.2.8 Pengamatan Makro-Mikro 17

2.2.9 Pengujian *Vickers Mikrohardness* 18
2.2.10 Pengujian Dye Penetrant 18
2.2.11 Pengujian Korosi 19
Bab 3 MetodE Penelitian 20
3.1 Alur Penelitian 20
3.2 Peralatan dan Bahan 21
3.3 Proses Pembuatan Spesimen 22
3.3.1 Pemotongan spesimen 22
3.3.2 Proses Penyambungan 22
3.4 Pengujian Tarik 25
3.5 Pengujian *Bending* 26
3.6 Pengujian Mikro-Makro 28
3.7 Pengujian Vickers Mikrohardnes 29
3.8 Pengujian Korosi 30
3.9 Pengujian Komposisi 30
Bab 4 Hasil dan Pembahasan 31
4.1 Hasil Pengelasan 31
4.2 Uji Komposisi 32
4.3 Struktur Mikro dan Makro 34
4.4 Uji Tarik 38
4.5 Uji Bending 40
4.6 Uji Kekerasan 42
4.7 Uji Dye Penetrant 44
4.8 Uji Korosi 45
Bab 5 Penutup 47
5.1 Kesimpulan 47
5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya 48
Daftar Pustaka 49
LAMPIRAN hasil pengujian 50
pengujian 50

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1: Sifat makanik aluminium (Surdia dan Saito, 1992) 10
Tabel 2.2: Tabel klasifikasi baja (Suarsana, 2017)..... 12
Tabel 3.1: Daftar alat yang digunakan……..21
Tabel 3.2: Daftar bahan yang digunakan..... 21
Tabel 4. 1: Suhu saat penyambungan ……...31
Tabel 4.2: Komposisi Aluminium 32
Tabel 4.3: Komposisi Baja 33
Tabel 4.4: Hasil pengamatan makro 34
Tabel 4.5: Hasil pengamatan mikro..... 36
Tabel 4. 6 Deviasi Data Spesimen..... 38
Tabel 4. 7 Deviasi Data Spesimen..... 40
Tabel 4.8: Hasil pengukuran berat..... 45
Tabel 4.9: Hasil laju korosi 45
Tabel 4.10: Standar laju korosi material (Fontana,1986) 46

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1: Gambar las busur listrik 6
Gambar 2.2: Proses RFW 8
Gambar 2.3: Aplikasi RFW dalam industry A (Elektrical Connector) B (Gear Cluster) C (Pump Shaft) D (Counter Gear) E (Drive Pulley) 9
Gambar 2.4: Gambar benda uji bertambah panjang ketika diberi beban 15
Gambar 2.5: Kurva tegangan-regangan 15
Gambar 2.6: Gambar skema three point banding dan four point banding 16
Gambar 2.7: Mikroskop elektron 17
Gambar 2.8: Gambar proses penetrant test 19
Gambar 3.1: Diagram alur penelitian 20
Gambar 3.2: Proses pemotongan spesimen 22
Gambar 3.3: Mesin bubut 22
Gambar 3.4: Gambar Teknik sambungan fins 23
Gambar 3.5: Gambar Teknik sambungan cone 23
Gambar 3.6: Phytagoras 24
Gambar 3.7: Gambar dimensi spesimen JIZ Z 2201 25
Gambar 3.8: Mesin UTM hidrolik 26
Gambar 3.9: Three Point Banding 26
Gambar 3.10: Menentukan jarak 2 titik tumpu 27
Gambar 3.11: Mesin Gripo 2M 28
Gambar 3.12: Proses autosol dan hasilnya 28
Gambar 3.13: *Vickers test* MHV M3 29
Gambar 3.14: Mesin Spectro Meter model 3560 30
Gambar 4.1: A (sambungan datar), B (sambungan fins), C (sambungan cone) 31
Gambar 4.2: Grafik tegangan-regangan 39
Gambar 4.3: Grafik uji bending 41
Gambar 4.4: Hasil pembebanan pada daerah las Cone 42
Gambar 4.5: Grafik perbandingan variasi sambungan 43
Gambar 4.6: Hasil pengujian Dye Penetrant (A) sambungan datar (B) sambungan fins (C) sambungan cone 44

DAFTAR NOTASI

RFW : *Rotary Friction Welding*

HAZ : *Heat Affected Zone*

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengelasan merupakan suatu proses penyambungan material yang sering digunakan saat ini. Pengelasan dapat menggabungkan dua material yang sama atau berbeda dengan cara pemakaian panas dan atau ditekan sehingga menghasilkan suatu ikatan kimia. Pengelasan memiliki kelebihan dimana sambunganya lebih kuat, dan ruang lingkup yang luas. Dalam industri penerbangan, militer, otomotif, dan manufaktur proses pengelasan sering dijumpai untuk menyambungkan material yang sama maupun berbeda (Alves et. al., 2019).

Material *steel* merupakan material utama dalam industri-industri manufaktur dikarenakan kekuatanya yang tinggi. Seiring dengan perkembangan zaman material aluminium mulai digunakan karena sifatnya yang ringan dan tahan karat sesuai dengan kebutuhan industri. Oleh karena itu penyambungan kedua material ini dibutuhkan agar mendapatkan paduan sifat yang diinginkan. Akan tetapi aluminium merupakan material yang tidak dapat di las (*unweldable*) dengan las cair (Alves et. Al., 2010). Selain itu pengelasan *dissimilar* tidak bisa dilakukan dengan pengelasan konvensional dikarenakan perbedaan titik leleh antara aluminium dan *steel*. Untuk mengatasi hal tersebut digunakanlah metode pengelasan *Rotary Friction Welding* (RFW).

RFW marupakan metode pengelasan yang cocok untuk menyambungkan material *dissimilar*. Kelebihan dari metode RFW yaitu tidak perlu menggunakan *filler* dan tanpa meleleh. Hal ini menjadi keuntungan dimana las RFW cocok untuk menyambungkan material *dissimilar* karena material *dissimilar* memiliki titik leleh yang berbeda. Dalam metode RFW panas dihasilkan dari gesekan permukaan kedua benda yang diputar dan diberikan tekanan. Pada RFW proses penyambungan terjadi pada fase padat *(Solid State)* karena panas yang dihasilkan dibawah titik lebur (maksimal 0,8 dari titik lebur) (Chainarong et. al., 2017). Pengelasan RFW meningkatkan sifat mekanik hasil las, tegangan sisa, dan

distorsinya kecil. Dalam metode RFW panas dan kekuatan dari sambungan dipengaruhi oleh kecepatan putar, *burn out*, waktu gesekan, besarnya tekanan, dan bentuk ujung sambungan. Disini penulis ingin meneliti pengaruh bentuk ujung sambungan dalam menghasilkan sifat fisik dan mekanik sehingga didapatkan kekuatan sambungan yang paling baik.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, maka penulis merumuskan masalah pada tugas akhir ini yaitu bagaimana pengaruh bentuk ujung sambungan dalam pengelasan *Rotary Friction Welding* dengan material *dissimilar* terhadap sifat fisik dan mekanik hasil pengelasan?

1.3 Batasan Masalah

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

1. Pengelasan menggunakan metode *Rotary Friction Welding* dengan menggunakan mesin bubut.
2. Kecepatan rotasi 1170 rpm, burn out 3 mm + 2mm, waktu 60 detik dan diameter spesimen 16 mm.
3. Besarnya tekanan diabaikan.
4. Material menggunakan aluminium T-6061 yang disambung dengan AISI 1012 .
5. Pengelasan menggunakan variasi bentuk ujung sambungan datar, *cone* pada AISI 1012, dan *fins* pada AISI 1012.
6. Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian Tarik, pengujian *bending*, pengujian *Vickers mikro hardnes*, pengujian penetrant, pengamatan mikro-makro, dan pengujian korosi.

1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disampaikan maka penulis menentukan tujuan dari penelitian yaitu :

1. Penelitian tugas akhir ini bertujuan untuk mengetahui proses pengelasan RFW.
2. Penelitian tugas akhir ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh bentuk ujung sambungan terhadap hasil sambungan las RFW dengan material *dissimilar*.
3. Penelitian tugas akhir ini bertujuan untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik hasil sambungan las RFW.

1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini yaitu :

1. Penelitian tugas akhir ini memiliki manfaat untuk mengetahui pengaruh bentuk ujung sambungan terhadap sifat fisik dan mekanik hasil pengelasan.
2. Penelitian tugas akhir ini memiliki manfaat untuk mengetahui bentuk ujung sambungan yang paling baik untuk menyambungkan material *dissimilar*.

1.6 Sistematika Penulisan

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

BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Berikut beberapa kajian pustaka dari penelitian-penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya sebagai bahan acuan penelitian kali ini.

Pada peneitian yang dituis oleh (Alves et.al., 2019) dituliskan bahwa metode yang sering digunakan untuk menyambungkan material dissimilar adalah metode *Rotary Friction Welding* (RFW). Jurnal ini bertujuan untuk meneliti distribusi panas pada penyambungan aluminium AA 6351-T6 dengan *stainless steel* AISI 304 L. Pada jurnal ini menggunakan variasi ujung sambungan dengan bentuk datar dan bentuk *cone.* Pada jurnal ini didapatkan hasil dimana ujung sambungan dengan bentuk *cone* distribusi panasnya lebih merata sehingga kekuatan tariknya lebih baik daripada sambungan dengan bentuk datar.

Jurnal yang lain yang ditulis oleh (Alves et.al., 2010) juga menggabungkan antara aluminium AA1050 dengan *stainless steel* AISI 304. Dalam jurnal ini variasi yang digunakan yaitu kecepatan putar 3200 rpm, tekanan P_1: 2,1 MPa dan P_2: 1,4 MPa, waktu proses t_1: 32 detik dan t_2: 2 detik. Setelah disambungkan, spesimen dilakukan pengujian tarik, *Vickers microhardness test*, dan foto mikro-makro. Dalam hasilnya grafik pengujian tarik didapatkan kesimpulan bahwa kekuatan tarik akan meningkat seiring besarnya tekanan yang diberikan tetapi akan menurun ketika sudah melewati batas maksimum.

Jurnal selanjutnya yang ditulis oleh (Chainarong et.al, 2017). Pada jurnal ini penulis menyambungkan dua aluminium yang berbeda kandungan dengan metode RFW. Dalam jurnal ini menggunakan variasi putaran 1550 rpm, 1700 rpm, 1850 rpm, dengan *burn out* 2mm, 2,5mm, dan 3mm, serta waktu penyambungan 15 detik. Selanjutnya spesimen dilakukan pengujian foto mikro-makro, uji tarik, dan uji kekerasan. Dalam jurnal ini juga disimpulkan bahwa grafik uji tarik dan uji kekerasan semakin meningkat dengan variasi kecepatan dan *burn out* yang lebih tinggi, tetapi menurun ketika sudah melewati batas maksimum.

Jurnal yang ditulis oleh (Shubhardhan and Surendran. 2012). Sama dengan jurnal pertama dan kedua, dalam jurnal ini penulis meneliti tentang penyambungan AISI304 *stainless steel* dengan AA6082 aluminium *alloy.* Parameter yang digunakan besarnya tekanan P_1 65 MPa, 104 MPa, 156 Mpa. waktu gesek 3 detik, 5 detik, dan 7 detik. Tekanan $P_2$210 MPa dengan waktu 6 detik. Kecepatan putar 1400 rpm. Hasilnya spesimen dengan P_1: 104 MPa dengan waktu gesek 5 detik memiliki nilai tegangan tarik tertinggi sebesar 185 Mpa. Dalam pengujian kekerasan *Vickers mikrohardnes* daerah las memiliki kekerasan tertinggi daripada logam induk *stainlees steel* dan aluminium.

Peneitian yang diakukan oleh (Shubhardhan and Surendran. 2012) dituliskan bahwa penelitian menggunakan parameter tekanan P_1 80 MPa dengan waktu gesek 5 detik. kemudian dilanjutkan dengan tekanan P_2: 150 MPa, 175 MPa, 200 Mpa, dan 300 Mpa. Kemudian kecepatan putar 1500 rpm. Hasilnya spesimen dengan parameter p2 180 MPa memiliki nilai tarik sebesar 192,4 MPa.

Dari seluruh jurnal diatas pengelasan RFW menggabungkan material *dissimilar* antara aluminium dengan *stainless steel*. Selanjutnya parameter yang digunakan yaitu tekanan, waktu gesek, *burn out*, kecepatan putar, dan bentuk ujung sambungan. Oleh karena itu penulis dalam penelitian ini akan mencoba menggabungkan antara aluminium *alloy* 3000 dengan AISI 1012 *steel* dengan parameter ujung sambungan berbentuk datar, cone, dan fins pada steel. Parameter konstan berupa kecepatan putar 1170 rpm, waktu 60 detik dan *burn out* 3 mm. Selanjutnya spesimen dilakukan pengujian tarik, pengujian tekan, pengujian *Vickers microhardness*, pengujian mikro-makro, pengujian penetrant, dan pengujian korosi. Pengujian dilakukan untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik hasil sambungan pengelasan RFW.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Pengelasan

Pengelasan adalah proses penggabungan dua material yang sama atau berbeda dengan cara pemakaian panas dan atau ditekan sehingga menghasilkan suatu ikatan kimia. Kelebihan dari pengelasan yaitu kontruksinya yang ringan, dapat menahan kekuatan yang tinggi, ruang lingkupnya yang luas, dan bisa dilakukan secara manual atau otomatis. Namun pengelasan juga memiliki kelemahan dimana untuk membongkar sambungan berarti merusak sambungan, terdapat distorsi, dan yang paling utama terjadi perubahan sifat fisik maupun mekanik dari material yang dilas. Secara umum pengelasan digolongkan menjadi 5 jenis yaitu:

1. Pengelasan busur
2. Pengelasan gas
3. Pengelasan *solid state*
4. Pengelasan sinar energi tinggi
5. Pengelasan resistansi



Gambar 2.1: Gambar las busur listrik

Untuk mendapatkan hasil sambungan las yang baik terdapat beberapa faktor yang harus dipenuhi. Yang pertama pengaturan panas, tegangan, kuat arus dan besarnya tekanan yang diberikan harus disesuaikan dengan material yang akan disambungkan. Yang kedua sebelum dilakukan pengelasan harus dibersihkan terlebih dahulu baik material ataupun alatnya agar tidak terjadi kontaminasi. Yang ketiga mengetahui struktur material yang akan dilas sehingga bisa menentukan metode yang cocok untuk dilakukan penyambungan. Selain itu

saat dilakukan penyambungan dengan metode las menyebabkan material terbagi menjadi tiga zona yaitu:

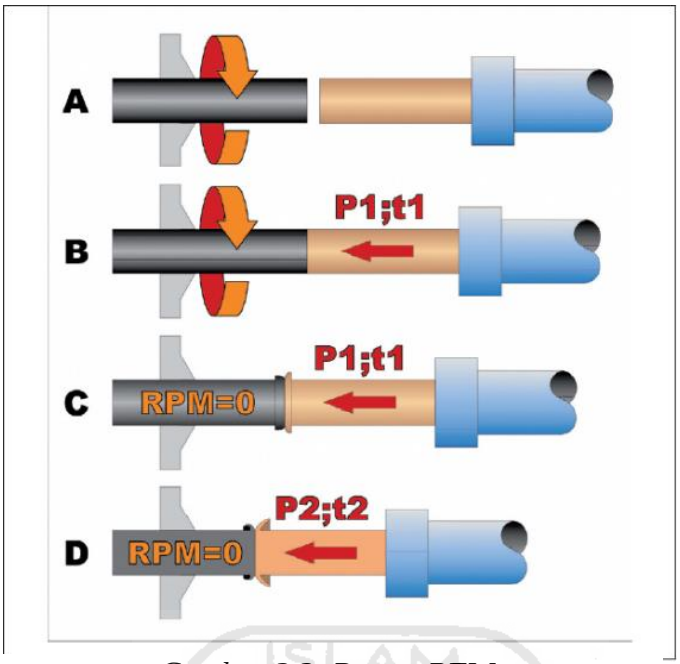
1. Zona las dimana terjadi perubahan struktur mikro karena terdapat penambahan *filler* dan panas yang terjadi melebihi titik kritis.
2. Zona HAZ dimana daerah terpengaruh panas las dan terjadi perubahan struktur mikro.
3. Daerah logam induk dimana daerah terkena panas las tetapi tidak terjadi perubahan struktur mikro.

2.2.2 Pengelasan Material *Dissimilar*

Pengelasan dengan material *dissimilar* adalah pengelasan yang menggabungkan dua material yang berbeda seperti aluminium dan *steel*. material *steel* sejak dulu dibutuhkan dalam banyak industri, tetapi karena sifatnya yang tidak tahan karat dan berat penggunaanya mulai dikurangi. Sebagai gantinya material aluminium mulai digunakan karena sifatnya yang ringan, tahan karat, dan dapat dilakukan daur ulang. Tetapi aluminium tidak bisa menggantikan sepenuhnya material *steel* karena kekuatanya yang rendah. Oleh karena itu penggabungan antara *steel* dan aluminium dilakukan dengan pengelasan *dissimilar* sehingga menciptakan paduan yang baru dan mengurangi biaya produksi (Shubhavardhan et.al., 2012).

2.2.3 Pengelasan *Rotary Friction Welding* (RFW)

Pengelasan RFW diklasifikasikan oleh *American Welding Society* (AWS) termasuk pengelasan *solid state*. Prinsip kerja dari RFW yaitu kedua benda digesekan dan diberikan tekanan sehingga muncul panas yang membuat kedua material ini tersambung. Panas yang dihasilkan lebih rendah dari titik leleh (maksimal 0,8) dari titik lelehnya, sehingga saat disambungkan benda masih dalam fase plastis (Shubhardhan and Surendran, 2012). Oleh Karena itu pengelasan RFW sangat cocok untuk melakukan pengelasan dengan material *dissimilar* dikarenakan panas yang dihasilkan hanya bersumber dari gesekan kedua benda kerja. Prinsip kerja RFW ditunjukan pada gambar 2-2



Gambar 2.2: Proses RFW

Sumber : Alves et.al, 2010

Pengelasan RFW memiliki kelebihan diantaranya sebagai berikut :

1. Tidak menggunakan filler
2. Dapat las dengan material *dissimilar*
3. Dapat mengelas aluminium
4. Dilakukan secara otomatis dan cepat
5. Memiliki sifat mekanis yang baik
6. Distorsi pada sambungan kecil

Selain memiliki kelebihan, RFW juga memiliki kekurangan sebagai berikut:

1. Tidak dapat digunakan untuk material berjenis *high strength*
2. Pada akhir las menyisakan logam
3. Terjadi penyusutan panjang benda yang dilakukan las RFW
4. Terbatas pada bentuk silinder (yang memiliki diameter)
5. Alat yang digunakan untuk las RFW tidak portable

Dalam industri penggunaan metode RFW sudah banyak digunakan untuk menyambungkan komponen yang berbentuk silinder baik itu dari material yang sama maupun material yang berbeda. Gambar 2-3 menunjukan penerapan RFW dalam dunia industri



Gambar2.3: Aplikasi RFW dalam industry A (Elektrical Connector) B (Gear Cluster) C (Pump Shaft) D (Counter Gear) E (Drive Pulley)

Sumber: Uzkut et.al,2008

2.2.4 Material Aluminium

Aluminium ditemukan oleh Sir Humprey Davy dalam tahun 1809 sebagai suatu unsur. Alumunium disimbolkan dengan huruf Al dengan nomor atom 13 pada tabel periodik. Sumber utama aluminium berasal dari bijih bauksit yang dimurnikan. Penggunaan aluminium sebagai logam berada pada urutan kedua di dunia setiap tahunya setelah logam besi dan baja (Surdia dan Saito, 1992).

Terdapat beberapa kelebihan aluminium sehingga banyak digunakan seperti :

1. Penghantar listrik dan panas yang baik (konduktor).
2. Mudah difabrikasi.
3. Ringan.
4. Tahan korosi dan tidak beracun.
5. Kekuatanya rendah, tetapi dapat diatasi dengan melakukan paduan unsur yang lainya.
6. Dapat didaur ulang.

Aluminium dalam pengaplikasianya banyak digunakan sebagai peralatan dapur, bahan kontruksi, dan elektronik. Selain itu aluminium yang dapat didaur ulang dari bahan bekas pakai menjadi bahan baru merupakan suatu kelebihan yang paling penting. Hal ini dikarenakan dapat mencegah adanya sampah, mengurangi penggunaan bahan baku baru, mengurangi polusi, dan pencemaran lingkungan. Untuk mendaur ulang aluminium cukup dilakukan peleburan. Saat dilakukan daur ulang berat aluminium tidak berkurang secara signifikan sehingga dapat menghemat biaya produksi.

Tabel 2.1: Sifat makanik aluminium (Surdia dan Saito, 1992)

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

Secara umum aluminium diklasifikasikan menjadi dua yaitu :

a. Aluminium Murni

Aluminium 99% tanpa padan unsur lainya hanya memiliki kekuatan tarik sebesar 90 Mpa (Surdia dan Saito, 1992). Sehingga terlalu lunak untuk penggunaan yang luas. Oleh karena itu seringkali aluminium dipadukan dengan unsur-unsur yang lain untuk manambah sifat fisik dan mekanik aluminium murni.

b. Aluminium Paduan

Unsur-unsur tambahan yang sering digunakan pada aluminium adalah silicon, magnesium, tembaga, seng, mangan, dan juga lithium. Secara umum penambahan unsur-unsur tersebut dapat meningkatkan kekuatan tarik dan kekerasan aluminium tergantung konsentrasi paduan (Surdia dan Saito, 1992). Berikut adalah fungsi paduan untuk meningkatkan aluminium:

1. Tembaga untuk meningkatkan kekuatan dan kekerasan.
2. Magnesium untuk meningkatkan kekerasan dan perlindungan terhadap korosi.
3. Mangan untuk meningkatkan kekuatan.
4. Silicon untuk meningkatkan *castability* (kemampuan untuk dikerjakan dengan cara pengecoran).
5. Seng untuk meningkatkan kekuatan dan kekerasan.
6. Titanium untuk meningkatkan kekuatan dan *ductility*.

2.2.5 Material *Steel*

Baja karbon merupakan perpaduan antara Fe dan C dengan sedikit unsur tambahan seperti Si, Mn, P, S dan Cu, baja juga banyak digunakan sehingga memiliki bentuk dan jenis yang beragam. Berdasarkan komposisi kimianya, baja karbon dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok besar yaitu, baja karbon dan baja paduan.(Suarsana, 2017)

a. Baja Karbon

Baja karbon adalah jenis baja yang tidak hanya mengandung Fe dan C yang pembuatannya mengandung unsur lain yang ditekan hingga kadar paling kecil seperti Mn, Si, S, P, O_2, Ni dan lainnya. Unsur tersebut berasal dari sisa pembuatan baja, baja dengan kadar Mn kurang dari 0.8% dan Si kurang dari 0.5% dianggap sebagai baja karbon. Unsur mangan dan silikon sengaja ditambahkan dalam proses pembuatan baja sebagai *deoxidiser* untuk mengurangi pengaruh buruk dari beberapa unsur pengotoran (Suarsana, 2017). Klasifikasi baja dapat dilihat dari tabel 2-2 berikut :

Tabel 2.2: Tabel klasifikasi baja (Suarsana, 2017)

Jenis	% C	σ_Y (MPa)	σ_u (MPa)	Perpanjangan % EL	Kekerasan Brinell HB	Penggunaan
Baja Karbon Rendah	0.08	18-28	32-36	30-40	95-100	Pelat tipis
	0.08-0.12	20-29	36-42	30-40	80-120	Batang kawat
	0.12-0.20	22-30	38-48	24-36	100-130	Kontruksi umum
	0.20-0.30	24-36	44-55	22-32	112-145	
Baja Karbon Sedang dan TInggi	0.30-0.40	30-40	50-60	17-30	140-170	Alat-alat mesin
	0.40-0.50	34-46	58-70	14-26	160-200	Perkakas
	0.50-0.80	36-47	65-100	11-20	180-235	Rel

- **Baja Karbon Rendah**

Baja karbon rendah adalah baja dengan kandungan karbon dibawah 0.2%, biasanya baja karbon rendah ini digunakan sebagai kontruksi umum seperti rangka bangunan, baja tulangan, beton, rangka kendaraan, mur dan pipa. Baja jenis ini memiliki kekuatan yang relatif rendah tetapi nilai keuletannya tinggi, mudah dibentuk dan dilakukan proses permesinan. Baja jenis ini tidak dapat dikeraskan (Suarsana, 2017).

- **Baja Karbon Sedang**

Baja karbon sedang adalah baja dengan kandungan karbon kisaran 0.25-0.55%. baja jenis ini lebih kuat, keras dan dapat dikeraskan. Pengaplikasiannya hampir sama dengan baja karbon rendah, biasanya digunakan untuk material yang memerlukan kekuatan dan ketangguhan yang tinggi seperti untuk poros, roda gigi dan kontruksi mesin (Suarsana, 2017).

- **Baja Karbon Tinggi**

Baja karbon tinggi adalah baja dengan kandungan karbon diatas 0.55%. baja jenis ini lebih kuat dan keras, tetapi keuletan dan ketangguhannya rendah. Biasanya digunakan untuk perkakas yang membutuhkan ketahanan aus, seperti mata bor, palu dan perkakas tangan lainnya (Suarsana, 2017) karena memiliki sifat sulit dibengkokkan, dilas dan dipotong.

b. Baja paduan

Baja paduan ini adalah baja yang sengaja ditambahkan unsur tertentu untuk mendapatkan sifat yang diinginkan, seperti tahan karat, tahan korosi, tahan panas dan lainnya. Pengelompokan baja paduan terbagi dua, yaitu *low alloy steel* dan *high alloy steel.*

- ***Low alloy steel***

Low alloy steel adalah jenis baja paduan dengan kadar unsur paduan yang rendah, kurang dari 2.5%. Baja jenis ini memiliki kekuatan dan ketangguhan yang tinggi dibanding dengan baja karbon dengan kadar karbon yang sama. Biasanya baja jenis ini memiliki sifat tahan korosi dan dapat dikeraskan. Baja jenis ini banyak digunakan pada kontruksi mesin (Suarsana, 2017).

- ***High alloy steel***

High alloy steel adalah jenis baja paduan dengan kadar unsur paduan yang tinggi biasanya diatas 10%, mempunya sifat yang tahan karat *(stainless steel)*, baja perkakas *(High speed steel)* dan baja tahan panas *(heat resisting steel)* (Suarsana, 2017).

2.2.6 Pengujian tarik

Pengujian tarik digunakan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi suatu bahan (Dieter, 1987). Pada pengujian tarik, benda diberikan gaya aksial secara kontinyu dan dilakukan pengamatan penambahan panjang yang dialami benda uji. Selanjutnya kurva tegangan regangan diperoleh dari pengukuran perpanjangan benda uji.

Tegangan yang digunakan pada kurva adalah tegangan rata-rata dari pengujian tarik yang diperoleh dengan membagi beban dengan luas penampang benda uji.

$$\sigma = \frac{P}{A} \tag{2.1}$$

Dimana:

σ : Tegangan (N/m^2)

P : Beban (N)

A : Luas penampang (m^2)

Regangan yang digunakan untuk kurva tegangan regangan adalah besarnya penambahan panjang yang dibagi dengan panjang awal benda uji.

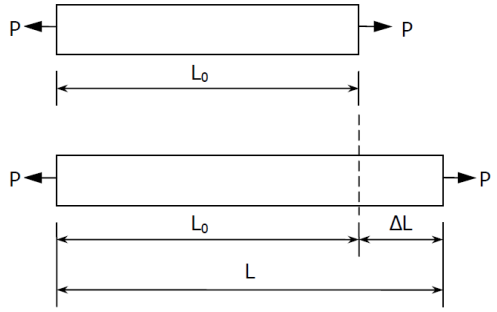
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{Lo} = \frac{L - \mathrm{Lo}}{Lo} \tag{2.2}$$

Dimana:

ε : Regangan (%)

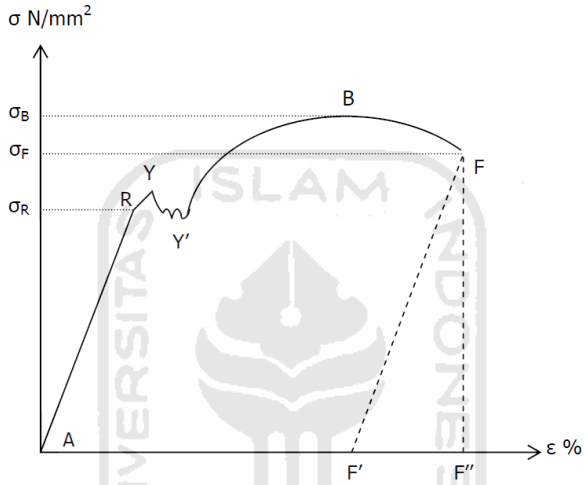
ΔL : Penambahan panjang (m)

Lo : Panjang awal (m)



Gambar2. 4: Gambar benda uji bertambah panjang ketika diberi beban

sumber : (Surdia dan Saito, 1992)



Gambar 2.5: Kurva tegangan-regangan

sumber : (Surdia dan Saito, 1992)

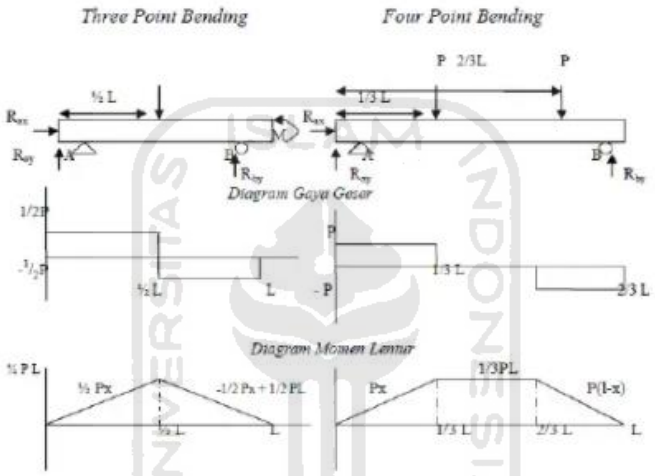
Dimana :

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

2.2.7 Pengujian *Bending*

Pengujian *bending* bertujuan untuk mengetahui besarnya nilai kekuatan lentur dari spesimen. Pengujian dilakukan dengan memberikan beban secara kontinyu secara perlahan sampai spesimen mencapai titik lelah. (Nurharuddin, 2015)

Metode pengujian bending salah satunya adalah *three point bending* dan *four point bending* seperti yang terlihat pada gambar 2-5 . Tetapi pada penelitian ini penulis menggunakan metode *three point bending*.



Gambar 2.6: Gambar skema three point banding dan four point banding

Persamaan tegangan bending dapat dihitung sebagai berikut :

$$s = \frac{3\ x\ P\ x\ L}{2\ x\ b\ x\ d^2} \qquad (2.3)$$

Dimana :

S : Tegangan (Mpa)

P : Beban (N)

L : Panjang (m)

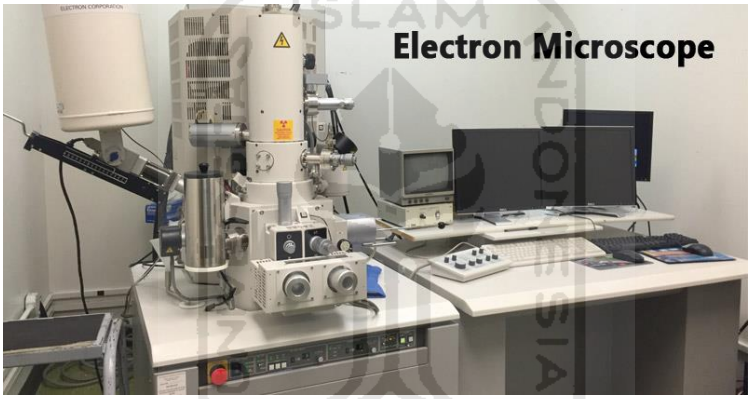
b : Lebar (m)

d : Tebal (m)

2.2.8 Pengamatan Makro-Mikro

Pengamatan *metallografi* terhadap suatu material dilakukan untuk mendukung analisis sifat-sifat yang ada. Material khususnya logam saat mengalami perlakuan fisik dan termal akan mengalami perubahan struktur (Dieter, 1987). Oleh karena itu diperlukan pemeriksaan struktur ulang agar mengetahui sifat-sifat yang terjadi.

Pemeriksaan fisis dapat dibedakan menjadi dua, yaitu pemeriksaan makro dan mikro. Pemeriksaan mikro membutuhkan alat bantu berupa mikroskop *optic*, *Scanning Electron Microscope* (SEM), atau *Transmission Elektron Mikcroscope* (TEM). Sedangkan pemeriksaan makro dapat dilakukan dengan mata biasa atau lensa pembesar.



Gambar 2.7: Mikroskop elektron

a. Pengujian Makro

Pengujian makro dilakukan untuk mengecek jenis pekerjaan mekanis yang telah dilakukan pada suatu benda. Pekerjaan mekanis seperti tempaan, *roll*, tekanan, dan gesekan dapat menyebabkan benda berubah bentuk. Untuk mengetahui perubahan lebih jelas, benda dapat dilapisi dengan larutan etsa asam klorida.

b. Pengujian Mikro

Pengujian mikro bertujuan untuk mengetahui struktur mikro suatu benda setelah dikenakan proses mekanis maupun termal. Dalam pengujian mikro digunakan alat bantu mikroskop dikarenakan struktur benda tidak dapat diliat secara langsung oleh mata. Dalam pengujian mikro terlihat ukuran butir, arah dan susunan butir, dan fasa-fasa yang terbentuk. Sebelum dilakukan pengujian mikro benda kerja harus dihaluskan dengan amplas sampai tidak ada goresan kemudian dilakukan etsa sesuai dengan jenis materialnya.

2.2.9 Pengujian *Vickers Mikrohardness*

Pengujian *vickers* menggunakan indentor berbahan intan dan memiliki bentuk piramida bujur sangkar dengan sudut 136° kemudian ditekan ke permukaan benda uji dalam waktu 10s-30s, kemudian diukur diagonal yang terbentuk akibat penekanan. Nilai kekerasan *vickers* dapat dihitung dengan rumus :

$$HV = \{2F(\propto/2)\}/d^2 = 1.854F/d^2 \quad (2.4)$$

Dimana :

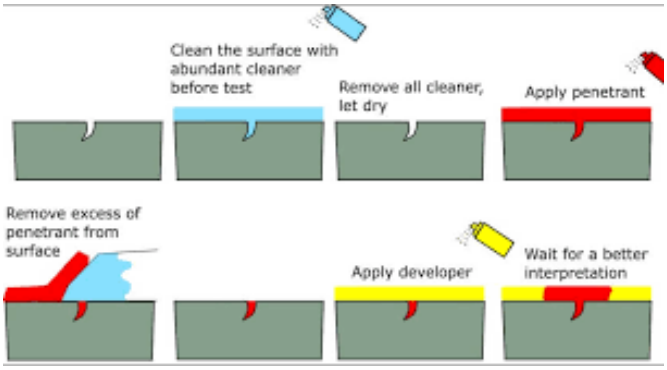
F = gaya tekan (Kg)

d = diagonal tekan rata-rata (mm)

$\propto = \text{sudut puncak } (136°)$

2.2.10 Pengujian Dye Penetrant

Pengujian penetrant adalah pengujian yang tidak merusak, tujuan dari pengujian ini adalah untuk melihat cacat permukaan pada material hasil las. Pada pengujian ini menggunakan prinsip kapilaritas, yaitu dengan cara permukaan hasil las dibersihkan terlebih dahulu dengan menggunakan *cleaner*, kemudian cairan penetrant disemprotkan kepermukaan benda hasil las, kemudian setelah kering, permukaan yang sudah disemprot tadi dibersihkan menggunakan *cleaner*, dan yang terakhir akan disemprot menggunakan *developer* untuk melihat apakah di permukaan hasil las ada cacat las atau tidak (Achmadi,2020). Proses dapat dilihat pada gambar 2-8 berikut:



Gambar 2.8: Gambar proses penetrant test

2.2.11 Pengujian Korosi

Korosi didefenisikan sebagai reaksi kimia dari logam dengan lingkungan baik itu berupa padat, cair dan gas (Scully, 1975). Korosi juga didefinisikan sebagai kerusakan logam yang terbentuk oleh reaksi mekanik berupa kimia atau elektrokimia dengan lingkungannya (Schweitzer, 1987). Korosi terbagi menjadi dua jenis, yaitu korosi logam dan non logam.

Laju korosi adalah kecepatan logam mengalami kehilangan berat persatuan luas dinyatakan dalam satuan mmpy (*millimeter per year*). Besar laju korosi dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$\text{Laju Korosi } (mmpy) = \frac{k\ x\ w}{D\ x\ A\ x\ T} \qquad (2.5)$$

Dimana :

K = konstanta (8.76×10^4)

W = massa yang hilang (g)

D = massa jenis sampel uji (g/cm^3)

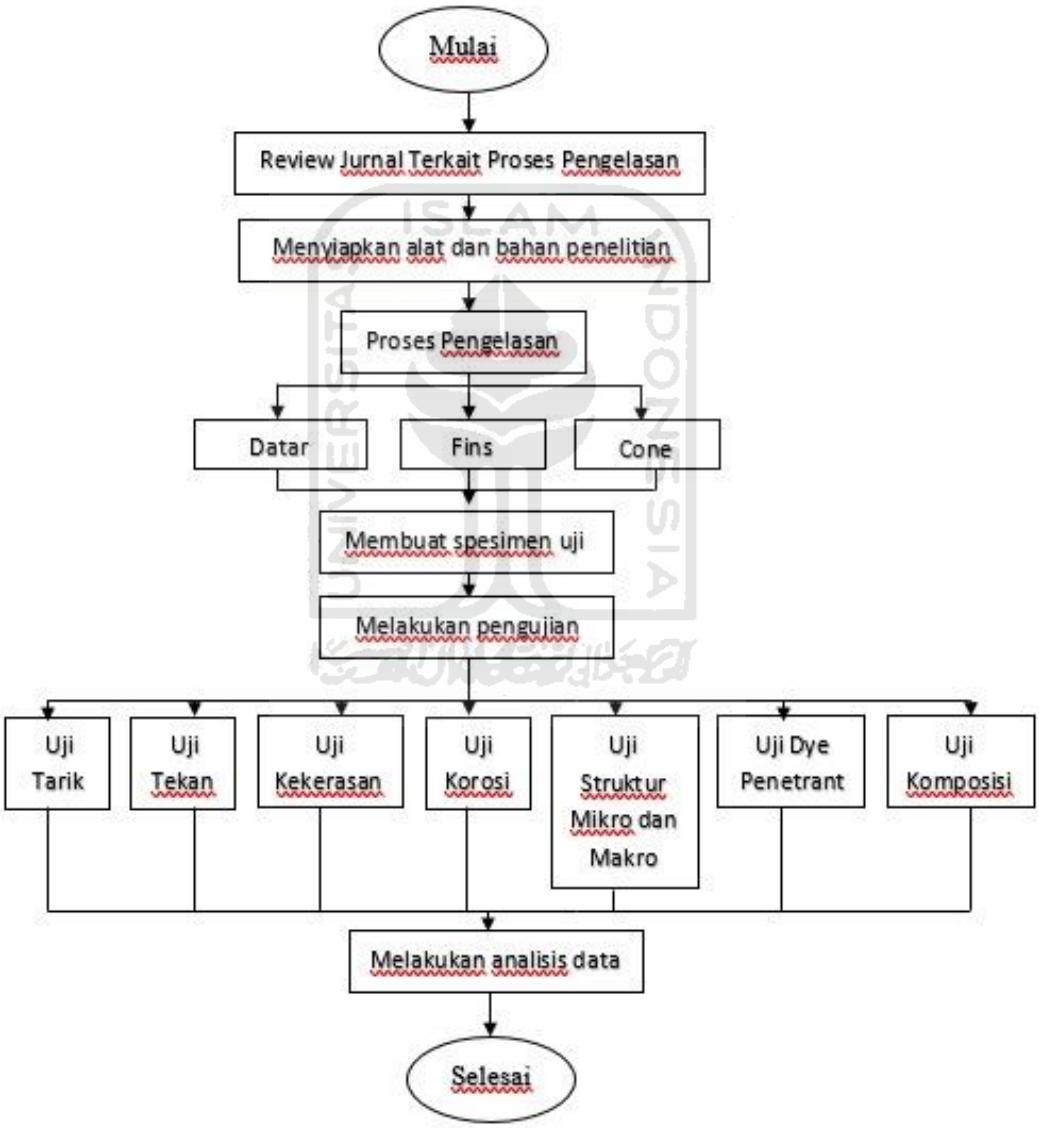
A = luas penampang (cm^2)

T = waktu pengujian (jam)

BAB 3
METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Dalam penelitian tugas akhir ini tentunya melalui tahapan-tahapan penelitian dari awal hingga selesai. Tahapan-tahapan penelitian tugas akhir ditunjukan oleh gambar 3-1.



Gambar 3.1: Diagram alur penelitian

3.2 Peralatan dan Bahan

Dalam melakukan pengerjaan penelitian tugas akhir ini, digunakan beberapa peralatan dan bahan untuk mendukung penelitian ini. Berikut adalah daftar alat dan bahan dalam penelitian :

Tabel 3.1: Daftar alat yang digunakan

No.	Nama Alat	Fungsi
1	Mesin Bubut	Untuk menyambungkan 2 logam yang berbeda dengan metode RFW
2	Jangka Sorong	Untuk melakukan pengukuran yang dilakukan
3	Gerinda	Untuk melakukan pemotongan spesimen uji
4	Laptop	Untuk melakukan pengolahan data
5	Thermo Gun	Untuk mengukur suhu saat dilakukan penyambungan
6	Tachometer	Untuk mengukur kecepatan putar mesin
7	Mesin Gripo 2M	Untuk mengamplas spesimen sebelum dilakukan uji foto mikor-makro
8	Mikroskop Optik	Untuk melakukan pengujian foto mikro-makro
9	Mesin UTM Hidrolik	Untuk melakukan pengujian tarik dan tekan
10	*Vickers test* MHV M3	Untuk melakukan pengujian *Vickers Microhardness*

Tabel 3.2: Daftar bahan yang digunakan

No.	Nama Bahan
1	AISI 1012
2	Alumunium T-6061
3	Resin
4	Air Laut
5	Autosol
6	Cleaner
7	Developer
8	Penetrant
9	Cairan Etsa HNO_3 dan NaOH 50%

3.3 Proses Pembuatan Spesimen

3.3.1 Pemotongan spesimen

Spesimen yang digunakan adalah aluminium T-6061 dan AISI 1012 dengan diameter 16 mm. Sebelum dilakukan proses penyambungan, spesimen dipotong dengan panjang 100 mm menggunakan mesin gerinda potong.



Gambar 3.2: Proses pemotongan spesimen

Sumber : Laboratorium Proses Produksi Teknik Mesin UII

3.3.2 Proses Penyambungan

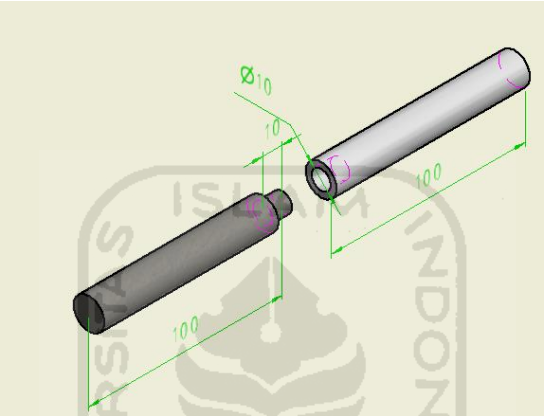
Dalam proses penyambungan dengan metode las RFW menggunakan mesin bubut CM6241 yang berada pada laboratorium proses produksi. Sebelum dilakukan proses penyambungan, spesimen yang telah dipotong dengan panjang 100 mm dilakukan proses *facing*. Proses *facing* bertujuan untuk meratakan ujung spesimen agar memudahkan untuk proses penyambungan. Setelah semua spesimen dilakukan proses *facing*, dilanjutkan dengan proses bubut permukaan spesimen menjadi datar, *cone*, dan *fins* pada AISI 1012 *steel*.



Gambar 3.3: Mesin bubut

Sumber : Laboratorium Proses Produksi Teknik Mesin UII

Dalam pembuatan *fins* pada AISI 1012, diameter *fins* 10 mm dan panjang *fins* 10 mm. Pembuatan *fins* menggunakan mata pahat yang diletakan pada eretan atas. Pengikisan spesimen dilakukan secara perlahan dan diukur menggunakan jangka sorong secara berkala agar mendapatkan ukuran yang presisi. Setelah itu pada spesimen aluminium dilakukan pembuatan rumah *fins*nya. Dimensi ukuran lubang diameter 10 mm dan kedalaman lubang 10 mm. Untuk membuat lubang digunakan bor *center* yang dikenakan pada titik *center* aluminium. Fungsi pembuatan bor *center* agar memudahkan mata bor dalam membuat lubang.



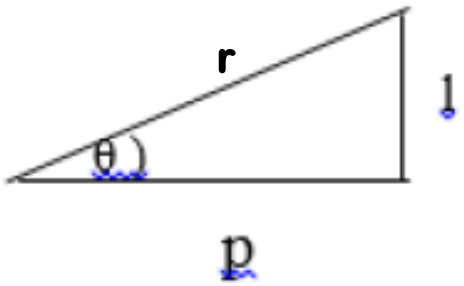
Gambar 3.4: Gambar Teknik sambungan fins

Dalam pembuatan ujung spesimen *cone*, dimensi panjang cone 3 mm dengan dimensi depan 14 mm. Dalam pembuatanya, mata pahat yang berada di eretan atas diatur posisinya dengan membentuk sudut 33° menggunakan bantuan busur. Untuk menentukan besaran sudut pemakanan dapat dilihat pada rumus 3-2. Setelah itu spesimen *steel* dikikis secara perlahan hingga dimensinya sesuai.



Gambar 3.5: Gambar Teknik sambungan cone

Dalam variasi sambungan *cone*, penentuan besaran sudut pemakaan dapat dihitung melalui rumus *phytagoras* yang ditunjukan dibawah ini:



Gambar 3.6: Phytagoras

Keterangan :

p = panjang pemakanan = 3 mm

l = lebar pemakanan = 2 mm

Θ = sudut pemakanan

r = panjang kemiringan

untuk mencari nilai r digunakan persamaan *phytagoras* yang ditunjukan dalam rumus 3-1 berikut:

$$r = \sqrt{p^2 + l^2} \tag{3.1}$$

$$r = \sqrt{3^2 + 2^2}$$

$$r = \sqrt{13}$$

Seteah didapatkan niai r maka selanjutnya digunakan persamaan 3-2 untuk mencari nilai Θ.

$$\theta = sin^{-1}\, x\, \frac{2}{r} \tag{3.2}$$

$$\theta = sin^{-1}\, x\, \frac{2}{\sqrt{13}}$$

$$\theta = 33^0$$

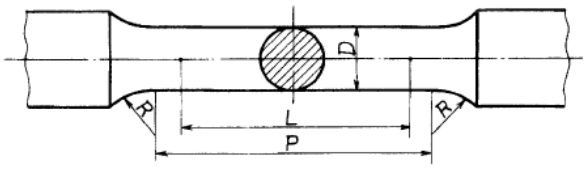
Setelah semua spesimen siap, maka tahap selanjutnya melakukan penyambungan. Dalam Proses penyambungan dengan metode RFW, parameter yang digunakan yaitu:

1. Kecepatan putar 1170 rpm
2. *Burn out* 3 mm
3. Waktu penyambungan 60 detik
4. Bentuk ujung sambungan datar, *cone*, *fins* pada AISI 1012
5. Aluminium T-6061 ditempatkan pada *spindle* putar dan AISI 1012 pada arbor kepala lepas

Setelah proses penyambungan, spesimen didiamkan hingga dingin pada udara terbuka. Setelah itu spesimen dilakukan pengecekan apakah hasil sambungan baik atau perlu dilakukan proses penyambungan ulang. Setelah semua spesimen sambungan siap maka tahap selanjutnya yaitu proses pengujian.

3.4 Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan pada spesimen dengan tujuan untuk mengetahui sifat mekanik dari hasil penyambungan las RFW dengan material *dissimilar* aluminium-steel. Pengujian tarik yang dilakukan menggunakan standart **JIS Z 2201.** Sebelum dilakukan pengujian, spesimen dilakukan pembubutan sesuai dengan dimensi yang ditunjukan oleh gambar 3-7.



Unit : mm

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

Gambar 3.7: Gambar dimensi spesimen JIZ Z 2201

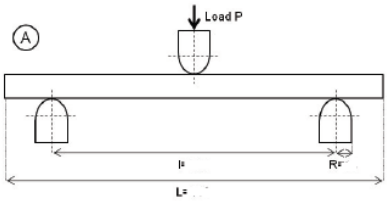
Setelah dimensi pengujian tarik sesuai dengan standart JIZ Z 2201 maka spesimen siap dilakukan pengujian tarik. Spesimen dijepit dengan posisi vertikal pada mesin UTM Hidrolik yang ditunjukan pada gambar 3-8. Pada mengujian tarik spesimen akan dikenakan beban aksial secara kontinyu hingga spesimen patah.



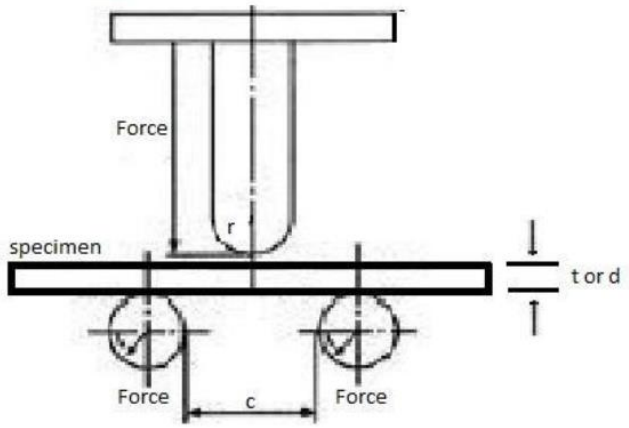
Gambar 3.8: Mesin UTM hidrolik
Sumber :Laboratorium Teknik Mesin UGM

3.5 Pengujian *Bending*

Pengujian *bending* dilakukan pada spesimen untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik hasil penyambungan las RFW dengan material *dissimilar* aluminium T6061-AISI 1012. Pengujian *bending* menggunakan standart ASTM E 290 dengan memperhatikan aturan jarak pemberian titik tumpu.Sebelum dilakukan pengujian, spesimen dibubut terlebih dahulu untuk menghilangkan sisa las. Spesimen dibubut sampai diameter 16 mm. metode yang digunakan untuk melakukan uji tekan yaitu *Three Point Bending* yang ditunjukan oleh gambar 3-9.



Gambar 3.9: Three Point Banding
Sumber : (Ricardo and Brancheriau., 2011)



Gambar 3.10: Menentukan jarak 2 titik tumpu

c = jarak antara 2 titik tumpu

r = jari-jari pembebanan

t = tebal spesimen

d = diameter spesimen

diketahui diameter pembebanan 20 mm

Untuk menghitung nilai c digunakan rumus 3-3 seseuai standart ASTM E 290.

$$c = 2r + 3t \pm \frac{t}{2} \tag{3.3}$$

$$c = 2x10 + 3x16 \pm \frac{16}{2}$$

$$c = 68 \pm 8$$

$$c = 76\ mm/60mm$$

Setelah didapatkan hasilnya dipilih titik tumpuan sebesar 76 mm.

3.6 Pengujian Mikro-Makro

Sebelum spesimen dilakukan pengamatan mikro dan makro, spesimen di potong menjadi dua sehingga bagian sambungan terlihat dengan jelas. Kemudian spesimen diberikan tambahan resin yang berfungsi sebagai dudukan. Dimensi dari dudukan ini panjang 50 mm, Lebar 30 mm, dan tebal 25 mm. Setelah itu spesimen di amplas hingga halus dengan menggunakan amplas kekasaran 100, 280, 600, 800 dan 1000 secara berurutan. Proses pengamplasan menggunakan mesin Gripo 2M yang ditunjukan oleh gambar 3-8.



Gambar 3.11: Mesin Gripo 2M

Sumber : Laboratorium Teknik Mesin UGM

Setelah dilakukan proses amplas, spesimen akan di polish menggunakan autosol agar permukan menglikap. Untuk pengamatan mikro, setelah permukaan selesai di polish, dilakukan proses pemberian cairan etsa Cairan Etsa HNO_3 untuk alumunium T-6061 dan NaOH 50% untuk AISI 1012. Setelah itu akan dilakukan pengamatan mikro menggunakan mikroskop Optik.



Gambar 3.12: Proses autosol dan hasilnya

Sumber : Laboratorium Teknik Mesin UGM

Spesimen uji untuk pengamatan makro dan makro menggunakan spesimen uji masing-masing satu buah untuk setiap variasi ditambah dengan spesimen sambungan AISI 1012 dan alumunium T-6061 sebagai pembanding.

3.7 Pengujian Vickers Mikrohardnes

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahi nilai kekerasan dari material. Pada uji kekerasan *vickers microhardness* menggunakan alat *Vickers test* MHV M3 Japan seperti pada gambar 3-10. Pengujian kekerasan dengan cara memberikan beban sebanyak 3 titik untuk setiap daerah pengelasan. Jarak antar titik uji setiap daerahnya adalah 0.01 mm dengan pembebanan sebesar 200 kgf. Spesimen yang diuji sebanyak 1 buah dari setiap variasi sambungan datarm *fins*, dan *cone* serta ditambah sambungan AISI 1012 dan alumunium T-6061 masing-masing satu buah.



Gambar 3.13: *Vickers test* MHV M3

Sumber : Laboratorium Bahan Teknik UGM

Sebelum dilakukan pengujian kekerasan, spesimen uji pengelasan *dissimilar* dibelah secara vertikal menjadi dua sehingga terlihat bagian dalam sambungan. Selanjunya spesimen tambahkan resin sebagai dudukan agar tidak goyang ketika dilakukan penekanan uji kekerasan. Setelah itu permukaan spesimen yang sudah diberi resin di haluskan menggunakan amplas dengan kekasaran 100, 280, 400, 600, 800 dan 1000.

3.8 Pengujian Korosi

Pengujian korosi dilakukan untuk mengetahui ketahanan material ketika menerima reaksi kimia dari lingkungan sekitar. Spesimen yang digunakan adalah AISI 1012, alumunium T-6061 dan sambungan *dissimilar* AISI 1012-alumunium T-6061. Pengujian korosi dilakukan dengan cara merendam ke air laut selama 40 hari. Setiap 10 hari spesimen diukur dengan cara ditimbang beratnya untuk mengetahui perubahan berat yang terjadi. Pengujian korosi ini menggunakan air laut yang diambil dari pantai Junwok, Gunung Kidul, Yogyakarta. Setelah data perubahan berat selama 40 hari didapatkan, perubahan berat yang terukur akan dimasukkan ke persamaan uji korosi. Hasil dari perhitungan data akan dibandingkan dengan tabel Fontana dan mendapatkan laju korosi dari material.

3.9 Pengujian Komposisi

Proses pengujian komposisi menggunakan alat *Spectro Meter* model 3560 ARL *Optical Emission.* Pengujian komposisi dilakukan di CV. Karya Hidup Sentosa. Spesimen uji yang dipersiapkan dengan luas penampang sebesar 20 mm x 20 mm.



Gambar 3.14: Mesin Spectro Meter model 3560

Sumber : CV. Karya Hidup Sentosa

BAB 4
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengelasan

Setelah dilakukan proses penyambungan semua spesimen dapat tersambung dengan baik. Hal ini dapat dilihat pada gambar 4-1.



Gambar4.1: A (sambungan datar), B (sambungan fins), C (sambungan cone)

Dalam proses penyambungan menggunakan kecepatan putar 1170rpm, tetapi setelah diukur dengan *tachometer* kecepatan aktualnya 1175 rpm dimana terdapat selisih 5 rpm. Kemudian saat proses penyambungan suhu tercatat oleh *thermogun* dapat dilihat pada tabel 4-1 dibawah ini.

Tabel 4. 1: Suhu saat penyambungan

Sambungan Datar	Suhu (^{0}C)	Sambungan Fins	Suhu (^{0}C)	Sambungan Cone	Suhu (^{0}C)	Sambungan AISI 1012	Suhu (^{0}C)	Sambungan Al T-6061	Suhu (^{0}C)
1	220,0	1	210,0	1	296,4	1	643,3	1	212,8
2	262,4	2	178,3	2	302,9	2	512,0	2	206,0
3	217,0	3	158,6	3	298,5	3	467,0	3	202,7
4	240,6	4	188,3	4	271,0	4	559,0	4	198,2
5	239,3	5	182,1	5	298,0				
6	241,8	6	208,9	6	305,0				
7	236,3	7	158,6	7	296,5				
8	204,8	8	170,8	8	334,7				

Dari tabel 4.1 diatas dapat dilihat suhu maksimal saat proses penyambungan terjadi. Dari suhu tersebut dapat dibuktikan bahwa proses penyambungan terjadi dalam keadaan solid state karena suhu penyambungan dibawah dari 0,8 titik leleh logam induknya.

4.2 Uji Komposisi

a. Hasil Pengujian Komposisi Aluminium

Pengujian komposisi aluminium menggunakan alat *Spectro Meter* model 3560 ARL *Optical Emission* yang dilakukan di CV. Karya Hidup Sentosa. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 4-2.

Tabel 4.2: Komposisi Aluminium

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

Setelah didapatkan hasil komposisinya, maka selanjutnya melakukan identifikasi no seri aluminium yang digunakan. Dari kandungan komposisinya didapatkan hasil no seri aluminium T-6061. Aluminium T-6061 memiliki paduan utama Si, Mg, dan Mn. Aluminium T-6061 memiliki sifat yang ringan, mudah difabrikasi, dan memiliki daya tahan terhadap korosi. Aluminium T-606 mempunyai titik cair *(melting point)* 582^0C - 682^0C. kekuatan tarik 324 MPa, dan tergolong aluminium *heat tradeable*. Aluminium T-6061 dapat dilakukan las dan dikeraskan dengan perlakuan panas 121°C-204°C. Pengaplikasian aluminium T-6061 digunakan pada pembuatan part-part otomotif.

b. Hasil Pengujian Komposisi Baja

Pengujian komposisi baja menggunakan alat *Spectro Meter* model 3560 ARL *Optical Emission* yang dilakukan di CV. Karya Hidup Sentosa. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 4-3.

Tabel 4.3: Komposisi Baja

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

Setelah didapatkan hasil komposisinya, maka selanjutnya melakukan identifikasi no seri baja yang digunakan. Dari kandungan komposisinya didapatkan hasil no serinya AISI 1012. AISI 1012 memiliki sifat mudah di mesin dan dibentuk. Selain itu AISI 1012 memiliki kekuatan yang relatif rendah, dan ulet. AISI 1012 hanya dapat dikeraskan dengan pengerasan permukaan. Secara umum, baja karbon memiliki kemampuan las yang baik jika memiliki nilai C_{ek} < 0,4-0,5. Berikut adalah proses perhitungan untuk mengetahui nilai C_{ek}

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

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

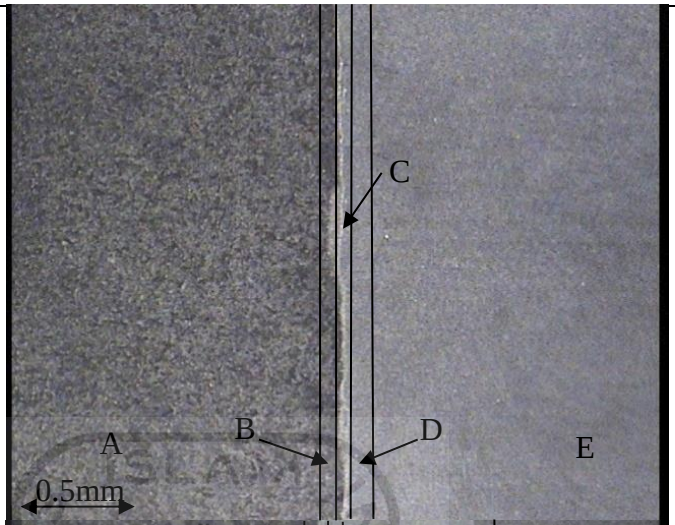
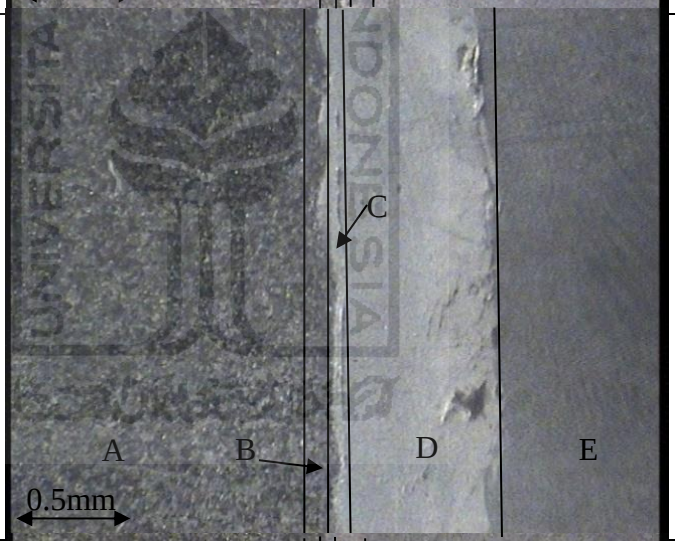
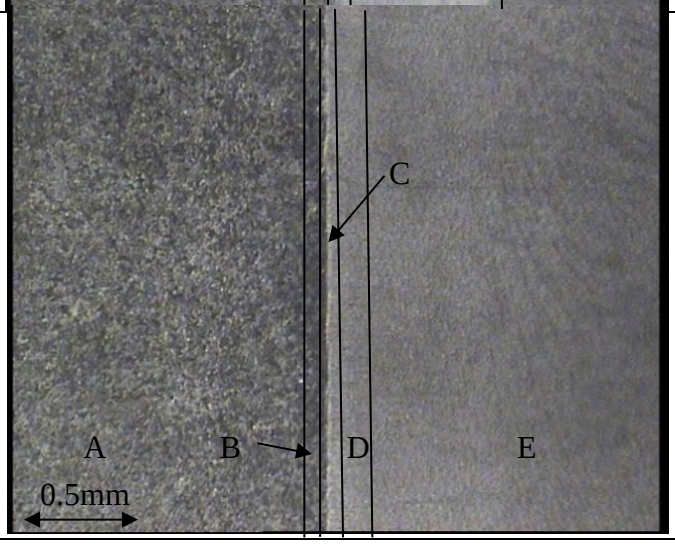
$$C_{ek} = 0{,}1057 + 0{,}0701 + 0{,}0014 + 0{,}0014$$

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

Berdasarkan perhitungan tersebut dapat dilhat bahwa nilai C_{ek}< 0,4-0,5. Jadi material baja yang digunakan termasuk kategori mampu las. Pengaplikasianya pada baja kontruksi umum, rangka kendaraan,dan pipa.

4.3 Struktur Mikro dan Makro

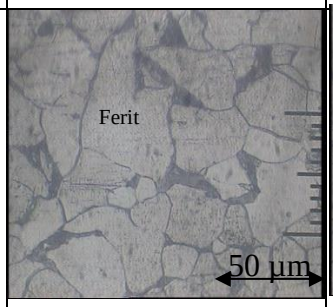
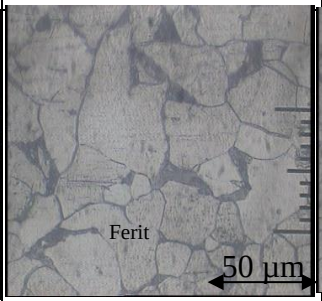
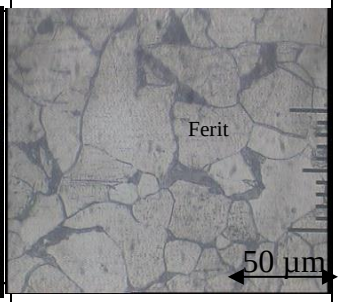
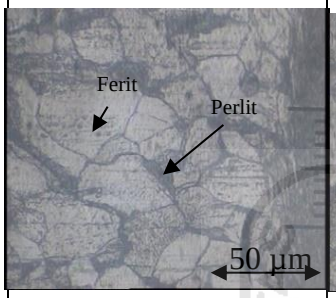
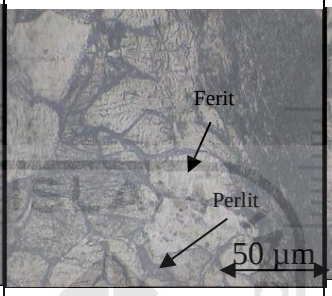
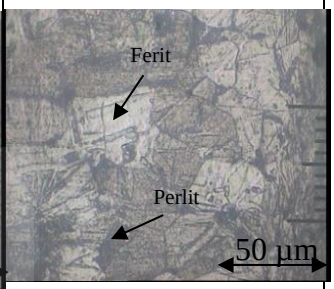
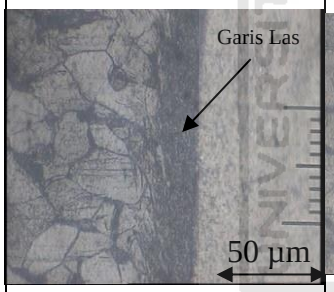
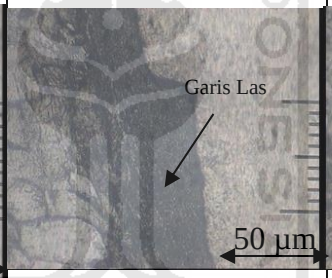
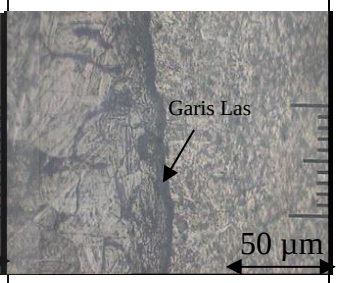
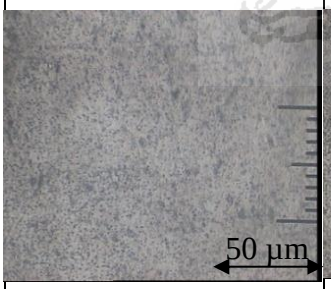
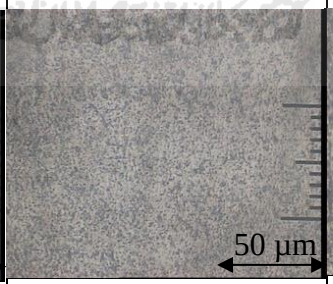
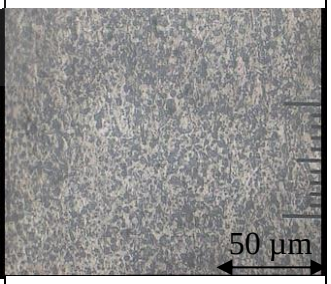
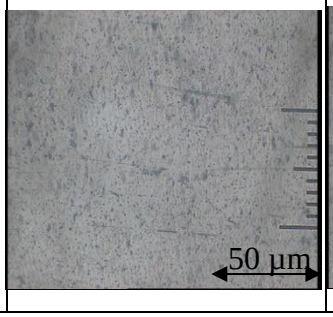
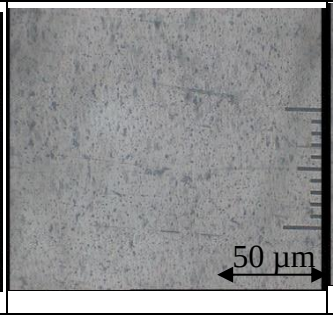
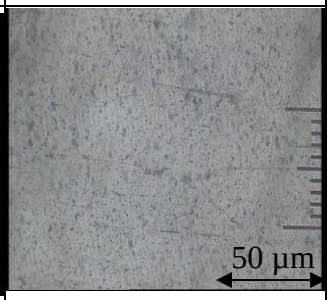
Tabel 4.4: Hasil pengamatan makro

Variasi Sambungan	Hasil Pengamatan Makro
Datar	
Fins	
Cone	

Pengamatan struktur makro diamati menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 20x. Pengamatan makro ini bertujuan untuk mengetahui bagian sambungan spesimen sudah tersambung dengan baik atau tidak. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 4-4 yang menunjukan hasil pengamatan struktur makro sambungan datar, *fins*, dan *cone.* Dari 4-3 terlihat bahwa ketiga spesimen tersambung dengan baik dimana tidak ada cacat pada daerah las.

Berdasarkan gambar 4-4, pada setiap variasi sambungan menghasilkan beberapa zona. Zona yang terbentuk adalah: A merupakan daerah logam induk AISI 1012, B merupakan daerah HAZ AISI 1012, C merupakan daerah las, D merupakan daerah HAZ aluminium T-6061 dan E merupakan daerah logam induk aluminium T-6061. Berdasarkan zona tersebut diamati struktur mikro dari material, yang terlihat seperti Tabel 4-4 berikut:

Tabel 4.5: Hasil pengamatan mikro

	Permukaan Datar	Permukaan *Fins*	Permukaan *Cone*
Induk AISI 1012			
HAZ AISI 1012			
Daerah Las			
HAZ T-6061			
Induk T-6061			

Pengamatan mikro dilakukan menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 200x. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 4-5 dimana terdapat hasil pengamatan stuktur mikro sambungan datar, *fins*, dan *cone*. Pada daerah sambungan las, struktur antara baja dan aluminium bercampur dikarenakan gesekan dan panas. Akibat panas pada daerah las membuat struktur baja dan aluminium mengecil sehingga membentuk garis hitam tebal. Pada garis sambungan datar terlihat lurus dan cukup besar dimensinya. Sedangkan pada garis sambungan *fins* garis hitam sedikit masuk ke dalam aluminium T-6061 dikarenakan bentuk ujung sambungan *fins* lebih menekan ke daerah aluminium T-6061. Pada daerah las *cone* garis sambungan hitam terlihat lebih tipis, hal ini mungkin disebabkan karena hanya ujung *cone* yang menempel dan menekan ke aluminium T-6061. Pada daerah las akibat panas meningkatkan nilai kekerasanya dikarenkana struktur yang mengecil dan memadat.

Pada daerah HAZ AISI 1012 dapat dilihat bahwa perlit pada sambungan *cone* lebih kecil dan rapat daripada sambungan datar dan *fins*. Hal ini bisa terjadi dikarenakan suhu yang tercatat saat menyambungkan *cone* berkisar 300°C sehingga struktur yang terbentuk lebih rapat akibat pengaruh panas yang lebih tinggi. Sedangkan suhu yang tercatat saat penyambungan datar dan *fins* antara 190°C - 240°C. hal ini juga terjadi pada daerah HAZ aluminium T-6061. Pada HAZ sambungan *cone* struktur aluminium juga terlihat lebih rapat daripada sambungan datar dan *fins*. Hal ini juga mengakibatkan nilai kekerasan daerah HAZ aluminium T-6061 *cone* lebih tinggi daripada dua variasi yang lainya. Struktur mikro suatu material juga dipengaruhi oleh proses pendinginan. Jika proses pendinginan dilakukan secara *anneling*, maka pada ferit batas butir terbentuk *austenite*. Jika proses pendinginan dilakukan secara normal ferit yang terbentuk adalah ferit *widmanstatten* yang tumbuh dari batas butir dan ferit *accicular*. Ferit *widmanstatten* ini terbentuk pada suhu 750℃-650℃ dan ferit *accicular* terbentuk pada suhu 600℃-650℃. Jika proses pendinginan *quenching*, *austenit* sulit terdifusi sehingga terbentuk *bainit*. *Bainit* terbentuk pada suhu 500℃-400℃. Dan jika proses pendinginan dilakukan dengan *quencing*, *austenite* tidak bisa terdifusi dan terbnetuk *martensit*. Karakteristik struktur *martensit* ini adalah keras dan getas.

4.4 Uji Tarik

Pada pengujian tarik spesimen akan diberikan beban P secara continyu oleh mesin UTM Hidrolik hingga mencapai P_{max} yang tercatat pada mesin. Besarnya P_{max} dan ΔL dapat dilihat pada lampiran.

Setelah diketahui besarnya P_{max} maka dapat dihitung nilai tegangan dengan rumus 2-1. Kemudian nilai regangan dapat dihitung dari besarnya penambambahan panjang dibagi dengan panjang awal sesuai dengan rumus 2-2. Contoh perhitungan pada spesimen permukaan datar.

Besarnya tegangan spesimen permukaan $datar_1$ dengan diketahui diameter 14,17 mm dan P_{max} : 17,33 KN

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{17{,}33\ x\ 10^3}{3{,}14\ x\ 0{,}25\ x\ 14{,}17^2} = \frac{17{,}33\ x\ 10^3}{157{,}619\ x\ 10^{-6}} = 109.95\ MPa$$

Untuk nilai regangan :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{Lo} = \frac{3{,}67}{50} x100\% = \ 7{,}34\ \%$$

Besarnya tegangan spesimen permukaan $datar_2$ dengan diketahui diameter 13,92 mm dan P_{max} : 11,65 KN

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{11{,}65\ x\ 10^3}{3{,}14\ x\ 0{,}25\ x\ 13{,}92^2} = \frac{11{,}65\ x\ 10^3}{152{,}106\ x\ 10^{-6}} = 76{,}59\ MPa$$

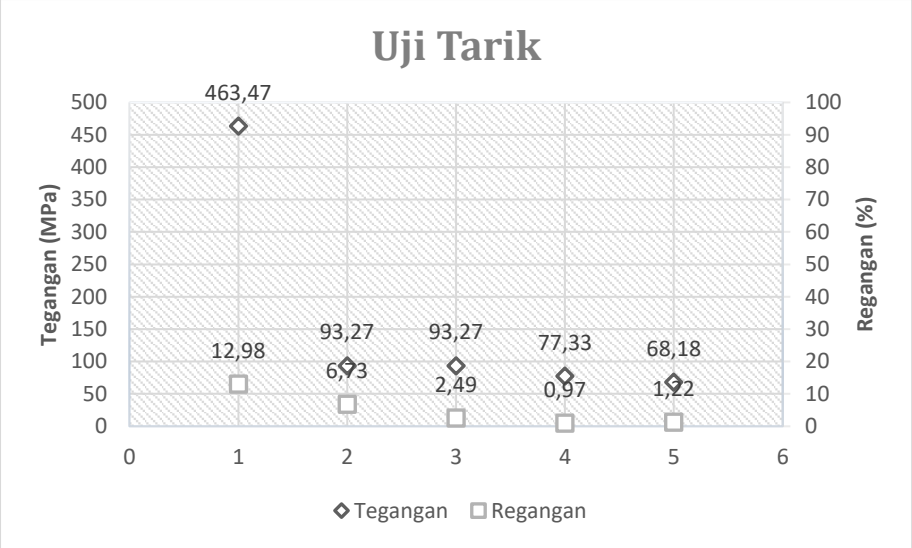
Untuk nilai regangan :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{Lo} = \frac{3{,}06}{50} x100\% = \ 6{,}12\ \%$$

Rata-rata sambungan datar $\sigma = \frac{109.95 + 76{,}59}{2} = 93{,}27$ $\varepsilon = \frac{7{,}34+6{,}12}{2} = 6{,}73$

Tabel 4. 6 Deviasi Data Spesimen

No.	Spesimen	Diameter (mm)	Pmax (KN)	ΔL (mm)	Tegangan (MPa)	Regangan (%)	Standar Deviasi
1	Fins	13,30	13,38	1,40	96,36	2,8	2,39
2	Fins	13,88	13,85	1,09	91,58	2,18	
3	Datar	14,17	17,33	3,67	109,95	7,34	16,68
4	Datar	13,92	11,65	3,06	76,59	6,12	
5	Cone	14,28	12,46	0,57	77,84	1,14	0,50
6	Cone	14,17	12,11	0,40	76,83	0,8	



Gambar 4.2: Grafik tegangan-regangan

Dari hasil pengujian didapatkan nilai rata-rata tegangan yang paling besar yaitu pada sambungan datar dan *fins* dengan nilai 93,27 Mpa. Sedangkan spesimen sambungan *cone* memiliki nilai paling rendah yaitu 77,33 MPa. Dari hasil pengujian nilai regangan sambungan datar memiliki rata-rata nilai tertinggi yaitu 6,73%. Kemudian sambungan fins memiliki rata-rata nilai 2,49% dan terendah pada sambungan cone dengan rata-rata nilai 0,97%. Berdasarkan hasil pengujian tarik sambungan datar lebih baik daripada sambungan *fins* walaupun nilai tegangan maksimalnya sama 93,27 MPa tetapi sambungan datar memiliki nilai regangan lebih besar 6,73%. Seharusnya nilai tegangan-regangan *fins* lebih besar daripada sambungan datar dan *cone*. Hal ini mengacu pada semakin luas penampang yang bergesekan dan menempel maka kekuatan sambungan semakin baik. Tetapi dalam penelitian kali ini pada sambungan *fins* kurang optimal. Hal ini disebabkan saat pembuatan lubang *fins* menggunakan mata bor sehingga terdapat ruang kerucut pada ujung lubang walaupun pada hasil pengamatan mikro-makro tetap tersambung tetapi ujung fins tidak tergesek dan menempel secara optimal. Selain itu pada bagian *fins* permukaan tabung memiliki selisih dimensi terhadap dinding lubang pada lubang aluminium sehingga saat dilakukan proses las RFW gesekan permukaan kurang optimal dan menyebabkan kekuatan sambungan tidak optimal.

4.5 Uji Bending

Pada pengujian *bending* spesimen akan diberikan beban P secara continyu oleh mesin UTM Hidrolik hingga mencapai P_{max} yang tercatat pada mesin. Besarnya P_{max} dapat dilihat pada lampiran. Setelah diketahui besarnya P_{max} maka dapat dihitung nilai tegangan bending dengan rumus 2-3. Berikut contoh perhitungan pada sambungan permukaan *fins.*

Besarnya tegangan spesimen permukaan *fins*$_1$ dengan diketahui diameter 16,22 mm dan P_{max}: 2,56 KN

$$S = \frac{3\ x\ P\ x\ L}{2\ x\ b\ x\ d^2} = \frac{3\ x\ 2{,}56\ x\ 10^3 x\ 75\ x\ 10^{-3}}{2\ x\ 16{,}22\ x\ 16{,}22^2\ x\ 10^{-9}} = \frac{576}{8{,}534\ x\ 10^{-6}} = 67{,}49MPa$$

Besarnya tegangan spesimen permukaan *fins*$_2$ dengan diketahui diameter 16,19 mm dan P_{max}: 3,05 KN

$$S = \frac{3\ x\ P\ x\ L}{2\ x\ b\ x\ d^2} = \frac{3\ x\ 3{,}05\ x\ 10^3 x\ 75\ x\ 10^{-3}}{2\ x\ 16{,}19\ x\ 16{,}19^2\ x\ 10^{-9}} = \frac{686{,}25}{8{,}487\ x\ 10^{-6}} = 80{,}86\text{MPa}$$

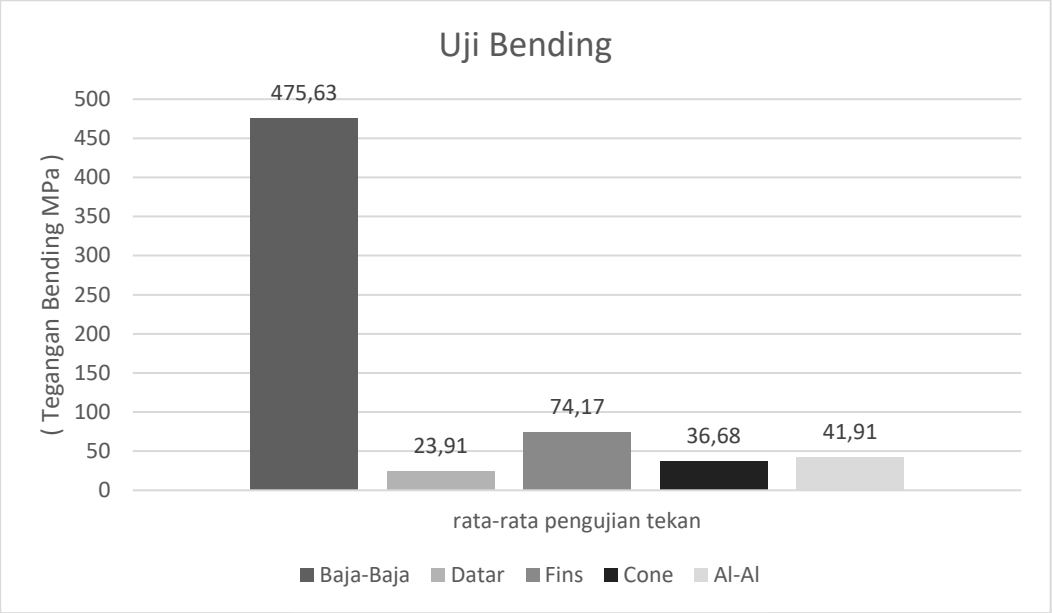
Rata-rata sambungan *fins* $\sigma = \frac{67{,}49 + 80{,}86}{2} = 74{,}17MPa$

Tabel 4. 7 Deviasi Data Spesimen

No.	Spesimen	Diameter (mm)	Pmax (KN)	Tegangan Bending (MPa)	Standar Deviasi
1	Fins	16,22	2,56	67,49	6,68
2	Fins	16,19	3,05	80,86	
3	Datar	16,29	0,90	23,42	0,49
4	Datar	16,70	1,01	24,40	
5	Cone	16,65	1,42	34,61	2,07
6	Cone	16,11	1,44	38,75	

Dari tabel 4-7 didapatkan nilai deviasi dari tiap spesimen mendekati 0 sehingga variasi atau simpangan kecil. Hal tersebut menunjukan hasil pengujian seragam.

Setelah didapatkan semua nilai pengujian *bending* maka kita bisa melihat perbandingan dari variasi sambungan datar, *fins*, dan *cone.* Nilai perbandingan ditunjukan oleh gambar 4-3 dimana nilai tegangan sudah dirata-rata.

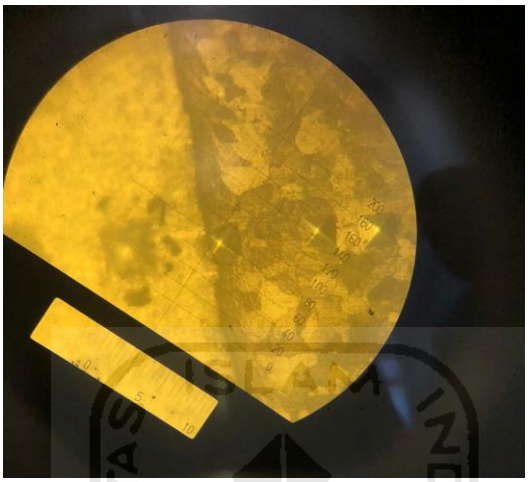


Gambar 4.3: Grafik uji bending

Berdasarkan grafik gambar 4-3 didapatkan bahwa sambungan *fins* memiliki nilai rata-rata paling tinggi sebesar 74,17 MPa. Sambungan *cone* memiliki nilai rata-rata 36,68 MPa. Sambungan datar memiliki nilai rata-rata paling rendah 23,91 MPa. Besarnya nilai pada sambungan *fins* dikarenakan ujung *fins* pada baja lebih masuk kedalam bagian aluminium sehingga lebih mampu menahan beban tekan. Hal ini terjadi juga pada sambungan *cone*. Pada sambungan *cone* bagian baja juga masuk Sebagian kedalam bagian aluminium sehingga lebih mampu menahan beban tekan walaupun tidak sebesar sambungan *fins*. Pada sambungan datar memiliki nilai rendah dikarenakan tidak adanya bagian baja yang masuk kedalam bagian aluminium sehingga kurang kuat menahan beban tekan yang diberikan. Daam gambar 4-2 juga ditampikan hasi pengujian penyambungan antar AISI 1012-AISI 1012 dan aluminium T-6061-aluminium T-6061.

4.6 Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan di setiap zona yang terbentuk, yaitu zona logam induk, zona HAZ dan zona las pada material sambungan. Setiap zona diuji tiga tiik dengan beban 200 kgf. Jarak antar titik uji 0,1 mm dan contoh hasil pembebanan ditunjukan leh gambar 4-3.



Gambar 4.4: Hasil pembebanan pada daerah las Cone

Pengujian kekerasan Vickers menghasilkan data berupa dua nilai diagonal bekas penekanan piramida intan pada permukaan spesimen. Kedua nilai diagonal tersebut diukur kemudian dirata-rata. Nilai rata-rata diagonal pada sambungan datar dapat dilihat pada lampiran

Setelah rata-rata nilai diagonal diketahui kemudian nilai kekerasan Vickers dapat dihitung dengan rumus 2-4. berikut contoh perhitungan pada sambungan datar pada daerah las :

- Daerah Las
  Pada titik 1

$$\frac{(1854\ x\ 200)}{80^2} = 57{,}94$$

  Pada titik 2

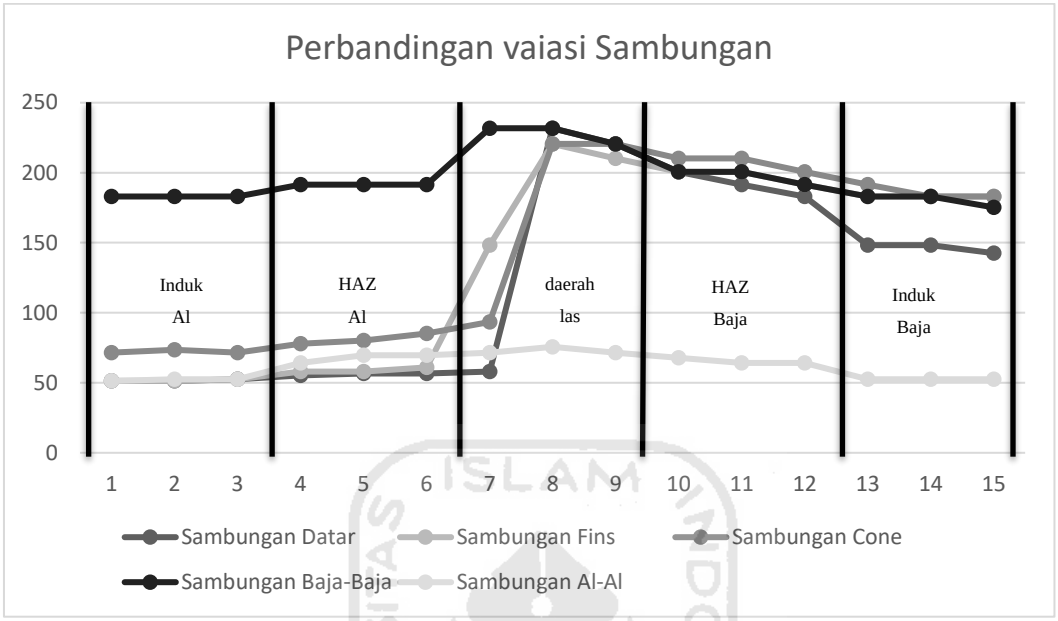
$$\frac{(1854\ x\ 200)}{40^2} = 231{,}75$$

  Pada titik 3

$$\frac{(1854\ x\ 200)}{41^2} = 220{,}58$$

Rata-rata nilai kekekrasan setiap titik adalah

$$\frac{57{,}94 + 231{,}75 + 220{,}58}{3} = 170{,}09$$



Gambar 4.5: Grafik perbandingan variasi sambungan

Dari gambar 4-5 diatas dapat dibandingkan bahwa dari ketiga variasi sambungan nilai kekerasan tertinggi berada pada sambungan datar dengan nilai 231,75 HVN. Sedangkan sambungan *fins* dan *cone* sama-sama memiliki nilai kekerasan 220,58 HVN. Dari gambar 4-5 juga dapat dilihat terjadi peningkatan kekerasan dari daerah HAZ dan daerah las pada semua variasi sambungan. Pada daerah HAZ aluminium T-6061 dan HAZ AISI 1012 variasi *cone* memiliki nilai lebih tinggi daripada dua variasi sambungan yang lain. Hal ini disebabkan saat penyambungan *cone* suhu yang tercatat sekitar 300°C dan menyebabkan struktur mikro lebih rapat. Hal ini juga terjadi karena dengan bentuk *cone* distribusi panas lebih merata daripada dua variasi sambungan yang lain. Pada gambar 4-4 juga dilihatkan hasil sambungan antara AISI 1012-AISI 1012 dan aluminium T-6061-aluminium T-6061. Hasilnya nilai kekerasan tertinggi pada daerah las AISI 1012 231,75 HVN sama dengan variasi datar. Sedangkan nilai kekerasan tertinggi pada daerah las aluminium T-6061 75,67 HVN, paling rendah diantara tiga variasi sambungan dan AISI 1012-AISI 1012.

4.7 Uji Dye Penetrant

Pengujian Dye Penetran dilakukan dengan tujuan untuk melihat adanya cacat *porosity* pada sambungan las RFW. Pengujian dilakukan pada setiap spesimen variasi datar, *fins*, dan *cone*. Hasil pengujian dilihat pada gambar 4-6.



Gambar 4.6: Hasil pengujian Dye Penetrant (A) sambungan datar (B) sambungan fins (C) sambungan cone

Pada gambar 4-6 dapat dilihat munculnya warna merah pada sambungan. Warna merah bisa saja muncul dikarenakan saat melakukan proses pengujian *Dye Penetrant flush* hasil sambungan las belum diratakan sehingga menutupi sambungan. Saat disemprotkan cairan penetrant bisa saja terjebak kedalam *flush* sehingga muncul warna merah ketika diberikan *developer*. Dari hasil pengujian ini juga menunjukan *flush* hasil penyambungan memiliki rongga dan bisa menyimpan kotoran saat proses pengelasan terjadi. Sehingga untuk melihat hasil penyambungan harus membersihkan *flush* terlebih dahulu dengan cara dibubut secara perlahan hingga rata untuk menghilangkan *flush*.

4.8 Uji Korosi

Pengujuan korosi dilakukan untuk mengetahui laju korosi. Laju korosi adalah kecepatan logam mengalami kehilangan berat persatuan luas dinyatakan dalam satuan mmpy (*millimeter per year*). Pada pengujian ini menggunakan air laut yang diambil dari pantai Jungwok di Kabupaten Gunung Kidul. Setelah itu spesimen direndam selama 10 hari kemudian ditimbang untuk mengukur beratnya dan dapat dilihat pada tabel 4-6.

Tabel 4.8: Hasil pengukuran berat

Variasi	Berat (gram)	Hasil Timbang 10 hari ke-			
		I	II	III	IV
Aluminium T-6061	28,18	28,16	28,16	28,10	28,10
AISI 1012	83,18	83,04	83,04	82,90	82,72
Sambungan	52,84	52,80	52,80	52,80	52,80

Setelah didapatkan berat penimbangan yang ditunjukan tabel 4-5, maka selanjutnya menghitung laju korosi dengan rumus 2-5. Berikut contoh perhitungan AISI 1012 pada 10 hari ke-I.

Diketahui : W = 0,14 gram

D = 7 g/cm^3

T = 24 x 10 = 240 jam

$$\text{Laju Korosi } (mmpy) = \frac{k\ x\ w}{D\ x\ A\ x\ T} = \frac{8{,}76\ x\ 10^4\ x\ 0{,}14}{7\ x\ 200{,}96\ x\ 240} = 0{,}036\ mmpy$$

Tabel 4.9: Hasil laju korosi

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

Setelah laju korosi dari spesimen didapatkan, Langkah selanjutnya yaitu membandingkan dengan standar laju korosi suatu material untuk melihat kualitas laju korosi spesimen uji. Standar laju korosi material dapat dilihat pada tabel 4-8.

Tabel 4.10: Standar laju korosi material (Fontana,1986)

Laju Korosi	Standar (mm/yr)	Hasil Spesimen (mm/yr)			Keterangan
		Aluminium T-6061	AISI 1012	Sambungan	
Outstanding	<0,02				
Excelent	0,02-0,1	0,013-0,04	0,036-0,046	0,010-0,026	Excelent
Good	0,1-0,5				
Fair	0,5-1				
Poor	1-5				
Unacceptable	>5				

Dari tabel 4-8 diatas didapatkan hasil perhitungan laju korosi. Selanjutnya laju korosi dari penelitian dibandingkan dengan standard laju korosi untuk melihat apakah spesimen penelitian tahan korosi atau tidak. Dari hasil perbandingan spesimen memiliki nilai Excelent dimana artinya spesimen memiliki ketahanan korosi yang baik. Pada tabel 4-6 dapat dilihat pengurangan berat hanya tercatat pada 10 hari pertama perendaman, sedangkan pada 10 hari ke 2,3, dan 4 tidak terjadi pengurangan berat. Jika dibandingkan dengan sambungan AISI 1012, spesimen sambunngan dissimilar lebih sedikit komposisinya yang mengandung baja sehingga dibutuhkan waktu yang lebih lama untuk terjadi proses oksidasi yang membuat berat berkurang.

BAB 5
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasi peneitian dan telah dilakukan analisis data maka didaptkan beberapa kesimpulan yang dapat diambil. Adapun kesimpulan tersebut sebagai berikut:

1. Pengelasan menggunakan material dissimilar antara aluminium T-6061 dengan AISI 1012 dapat tersambung dengan baik menggunakan metode *Rotary Friction Welding* berdasarkan pengamatan makro.
2. Dari hasil pengamatan struktur mikro pada daerah sambungan struktur aluminium T-6061 bercampur dengan AISI 1012 kemudian mengecil dan memadat sehingga meningkatkan kekerasan pada daerah las, kekerasan tertinggi pada sambungan datar sebesar 231,75 HVN tetapi peningkatan kekerasan pada daerah HAZ secara merata diperoleh dari sambungan *cone* dan menunjukan distribusi panas yang baik.
3. Dari hasil pengujian tarik didapatkan sambungan datar dan fins memiliki nilai yang sama sebesar 93,27 MPa tetapi nilai regangan sambungan datar lebih tinggi sebesar 6,73% sedangkan sambungan fins memiliki kekuatan tekan tertinggi sebesar 74,17 MPa.
4. Dari ketiga variasi sambungan didapatkan sambungan datar memiliki kelebihan nilai kekerasan dan tarik tertinggi, untuk sambungan fins memiliki kelebihan nilai tekan tertinggi sedangkan sambungan cone memiliki kelebihan distribusi panas yang baik.
5. Dari hasil penelitian variasi ujung sambungan datar memiliki hasil terbaik karena unggul dalam pengujian tarik dan kekerasan.

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

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

1. Membuat matriks penelitian agar manajemen penelitian lebih terarah sehingga perlakuan spesimen lebih baik dan menghindarkan dari faktor-faktor eksternal yang dapat mempengaruhi hasil penelitian.
2. Menambhakan spesimen pengujian tarik dan tekan diatas 3 agar hasilnya lebih valid
3. Membuat alat pemegang yang kuat pada tailstock mesin bubut agar saat melakukan penyambungan tidak terjadi getaran yang dapat mempengaruhi hasil pengelasan.
4. Membuat alat yang dapat dilepas pasang pada mesin bubut untuk memberikan tekanan saat dilakukan proses pengelasan *Rotary Friction Welding*.
5. Melakukan kalibrasi secara total pada mesin bubut sebelum dilakukan pengelasan agar hasil lebih maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

Alves EP; Toledo RC; Piorino Neto F; Botter FG; An CY (2019) Experimental Thermal Analysis in Rotary Friction Welding of Dissimilar Materials. J Aerosp Technol Manag, 11: e4019.

Alves, Eder Paduan dkk. 2010. Welding of AA1050 Aluminum with AISI 304 Stainless Steel by Rotary Friction Welding Process : JATM.

Chainarong, Suppachai dkk. 2017. Rotary Friction Welding of Dissimilar Joints between SSM 356 and SSM 6061 Aluminium Alloys Produced by GISS : Thailand.

Dieter, G., terjemahan oleh Sriati Djaprie, 1987, Metalurgi Mekanik, Jilid 1, edisi ketiga, Erlangga, Jakarta.

Fontana, Mars G. (1986). *Corrosion Engineer*. McGraw Hill Book Company. Singapore.

Narharuddin dkk. 2015. Kekuatan Tarik dan Bending Sambungan Las pada Material Baja SM 490 dengan Metode Pengelasan SMAW dan SAW : Jurnal Mekanikal.

Shubhavardhan R.N & Surendran . 2012 Friction Welding to Join Stainless Steel and Aluminium Materials. India

Shubhavardhan RN and Surendran S. 2012. Friction Welding to Join Dissimilar Metals : IJETAE.

Surdia, T.; Saito, S., 1992, *Pengetahuan Bahan Teknik,* PT. Pradnya Paramita, Jakarta.

Uzkut, Mehmet dkk. Friction Welding and Its Applications in the World.

LAMPIRAN HASIL PENGUJIAN

LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

HASIL PENGUJIAN KEKERASAN

No	Spesimen		Diagonal rata-rata(μm)			Kekerasan (HVN)			Kekerasan rata-rata (HVN)
	Variasi	Daerah	Uji 1	Uji 2	Uji 3	Uji 1	Uji 2	Uji 3	
1	Cone	Base Al	72	71	72	71.53	73.56	71.53	72.20
2		HAZ AL	69	68	66	77.88	80.19	85.12	81.07
3		Las AL-Baja	63	41	41	93.42	220.58	220.58	178.20
4		HAZ Baja	42	42	43	210.20	210.20	200.54	206.98
5		Base Baja	44	45	45	191.53	183.11	183.11	185.92
6	900	Base Al	85	84	84	51.32	52.55	52.55	52.14
7		HAZ AL	80	78	78	57.94	60.95	60.95	59.94
8		Las AL-Baja	76	40	41	64.20	231.75	220.58	172.18
9		HAZ Baja	43	44	44	200.54	191.53	191.53	194.53
10		Base Baja	45	45	45	183.11	183.11	183.11	183.11
11	1170	Base Al	85	85	84	51.32	51.32	52.55	51.73
12		HAZ AL	82	81	81	55.15	56.52	56.52	56.06
13		Las AL-Baja	80	40	41	57.94	231.75	220.58	170.09
14		HAZ Baja	43	44	45	200.54	191.53	183.11	191.73
15		Base Baja	50	50	51	148.32	148.32	142.56	146.40
16	1800	Base Al	85	85	85	51.32	51.32	51.32	51.32
17		HAZ AL	71	70	68	73.56	75.67	80.19	76.47
18		Las AL-Baja	75	38	39	65.92	256.79	243.79	188.83
19		HAZ Baja	40	42	47	231.75	210.20	167.86	203.27
20		Base Baja	45	45	45	183.11	183.11	183.11	183.11
21	Fins	Base Al	85	85	84	51.32	51.32	52.55	51.73
22		HAZ AL	80	80	78	57.94	57.94	60.95	58.94
23		Las AL-Baja	50	41	42	148.32	220.58	210.20	193.04
24		HAZ Baja	43	43	44	200.54	200.54	191.53	197.54
25		Base Baja	45	45	45	183.11	183.11	183.11	183.11

Pengujian & Analisa Material
Lab. Bahan Teknik
Departemen Teknik Mesin
Sekolah Voka-i UGM

Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281

Lembar asli, tidak untuk digandakan

LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

HASIL PENGUJIAN KEKERASAN

No	Spesimen		Diagonal rata-rata(μm)			Kekerasan (HVN)			Kekerasan rata-rata (HVN)
	Variasi	Daerah	Uji 1	Uji 2	Uji 3	Uji 1	Uji 2	Uji 3	
26	Baja-Baja	Base baja	45	45	45	183.11	183.11	183.11	183.11
27		HAZ baja	44	44	44	191.53	191.53	191.53	191.53
28		Las AL-Baja	40	40	41	231.75	231.75	220.58	228.03
29		HAZ Baja	43	43	44	200.54	200.54	191.53	197.54
30		Base Baja	45	45	46	183.11	183.11	175.24	180.49
31	Al-Al	Base Al	85	84	84	51.32	52.55	52.55	52.14
32		HAZ AL	76	73	73	64.20	69.58	69.58	67.79
33		Las AL-Baja	72	70	72	71.53	75.67	71.53	72.91
34		HAZ Al	74	76	76	67.71	64.20	64.20	65.37
35		Base Al	84	84	84	52.55	52.55	52.55	52.55

Pengujian & Analisa Material
Lab. Bahan Teknik
Departemen Teknik Mesin
Sekolah Voka-i UGM

Keterangan

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

Lembar asli, tidak untuk digandakan

Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281

LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

HASIL PENGUJIAN TARIK

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

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

Keterangan:

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

Lembar asli, tidak untuk digandakan

Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281

LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS GADJAH MADA

HASIL PENGUJIAN BENDING

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

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

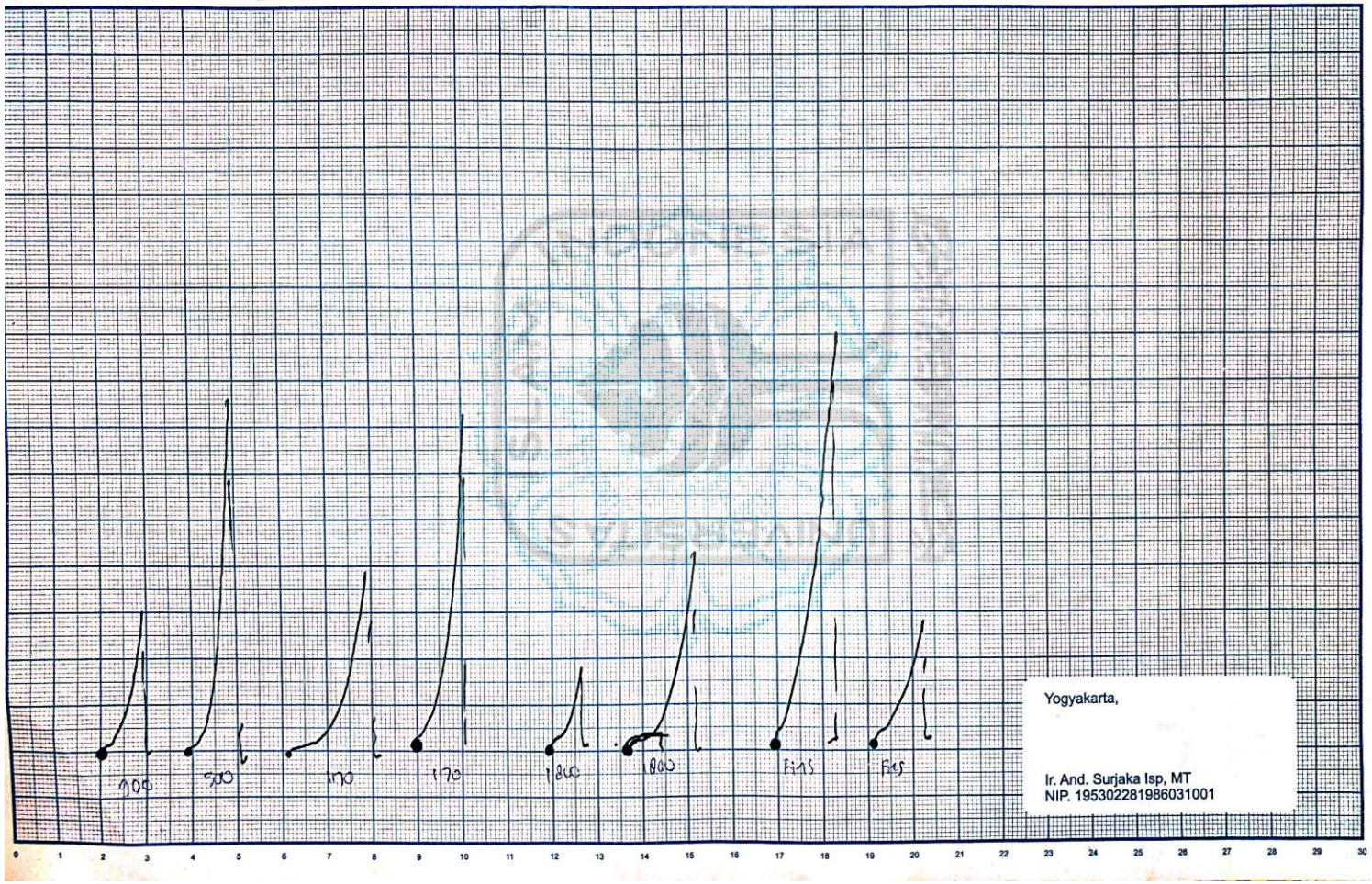
Keterangan:

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

Lembar asli, tidak untuk digandakan

Kampus : Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281

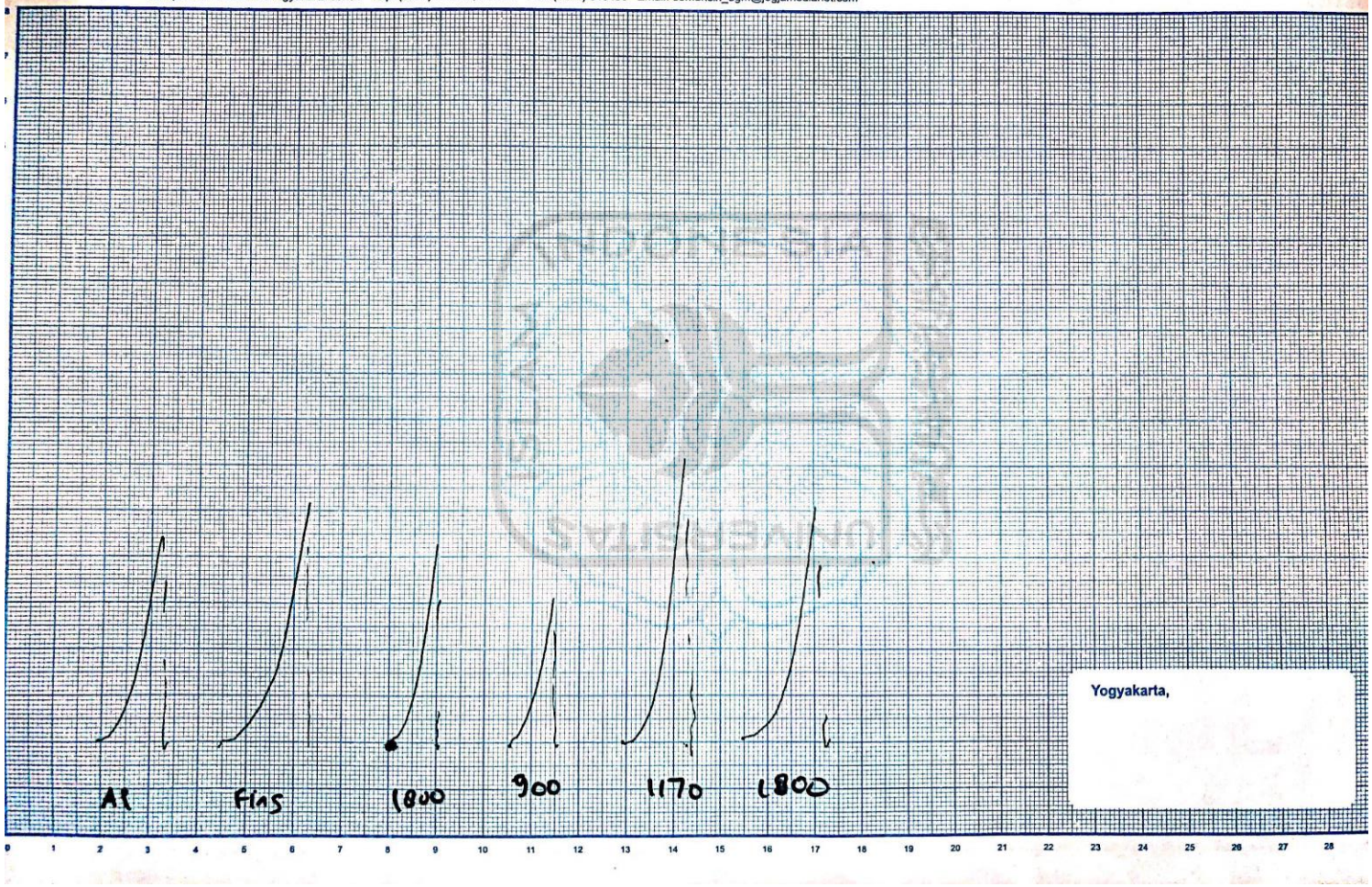
LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
PROGRAM DIPLOMA TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS GADJAH MADA
Kampus: Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281 Telp. (0274) 548637, 902269 Fax. (0274) 546400 E-mail: d3mesin_ugm@jogjamedianet.com

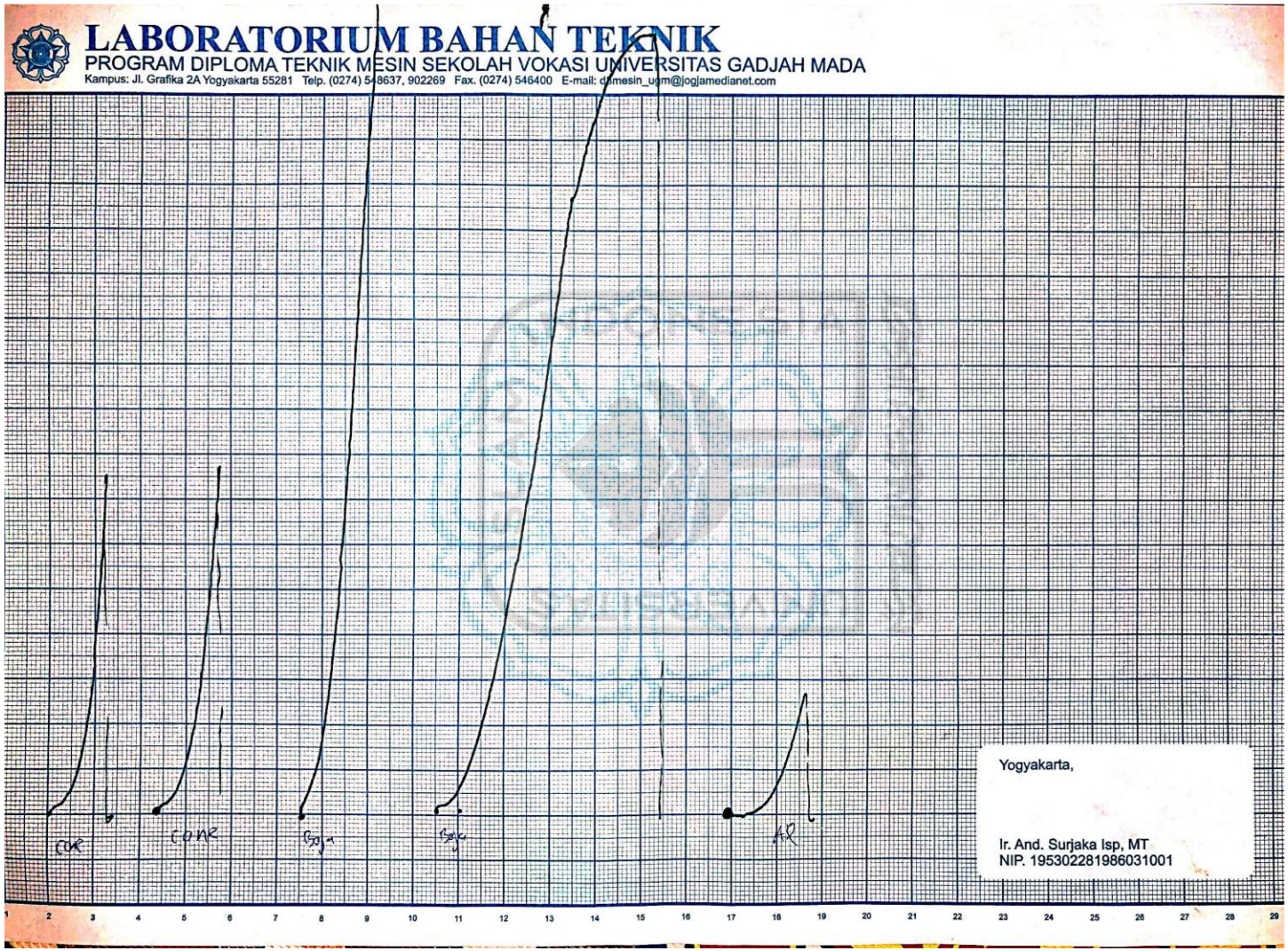


Yogyakarta,

Ir. And. Surjaka Isp, MT
NIP. 195302281986031001

LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS GADJAH MADA
Kampus: Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281 Telp. (0274) 548637, 902269 Fax. (0274) 546400 Email: d3mensin_ugm@jogjamedianet.com




LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
PROGRAM DIPLOMA TEKNIK MESIN SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS GADJAH MADA
Kampus: Jl. Grafika 2A Yogyakarta 55281 Telp. (0274) 548637, 902269 Fax. (0274) 546400 E-mail: dtmesin_ugm@jogjamedianet.com
Yogyakarta,
Ir. And. Surjaka Isp, MT
NIP. 195302281986031001

CV. KARYA HIDUP SENTOSA

PABRIK MESIN ALAT PERTANIAN • PENGECORAN LOGAM • DEALER UTAMA DIESEL KUBOTA

Kantor Pusat : Jl. Magelang No.144 Yogyakarta 55241 Indonesia
Telp. : (0274) 512095 (hunting) 563217, 584874, 513025, 556923
Fax. : (0274) 563523 (umum), 554069 (pembelian) E-mail : operator1@quick.co.id
Website : www.quick.co.id

LAPORAN HASIL ANALISA
REPORT OF ANALYSIS

Order No. : 0173429
Customer : Renovian Dwi Saputra.
Mahasiswa UII
Analisa : Spectrometer.

Tanggal : 25 – 08 - 2020.
Kode Spl : AL
Alat Uji : Thermo ARL 3560 OES.
Program : ALSICU.

Hasil/Result :

Unsur	%
Si	0,50
Fe	0,3602
Cu	0,211
Mn	0,244
Mg	0,1904
Zn	0,0686
Ti	0,0348
Cr	0,0897
Ni	0,0012
Pb	0,0013
Sn	0,0002
Al	98,51

Ass. Ka. Unit Lab, Pola & Finishing UP2L — Ka. Seksi Laboratorium UP2L

Abdul Kafi — **Reny Hayu W.**

Catatan : - Sampel dari pemesan diuji di Laboratorium kami

Cabang

Surabaya : Jl. Kebon Rojo 6 BB Telp. (031) 3525687, 3525688, 3525076 Fax. (031) 3540454 E-mail : sby@quick.co.id
Jakarta : Jl. Gajah Mada 154 Telp. (021) 6292044, 6293428, 6490020 Fax. (021) 6490013 E-mail : jkt@quick.co.id
Tanjungkarang : Jl. Raden Intan 159 Telp. (0721) 268498, 268495 Fax. (0721) 268498 E-mail : tjk@quick.co.id
Makassar : Jl. Galangan Kapal Komp. Pergudangan Jujur Sakti Motor No.A9 Telp. (0411) 439693, 4666494 Fax. (0411) 4666494 E-mail : mks@quick.co.id

Depo

Medan : Jl. Letda Sujono Komplek Pergudangan Tembung Intan No. 13 Medan, Indonesia Telp. (061) 7384680 Fax. (061) 7384680 E-mail : mdn@quick.co.id

CV. KARYA HIDUP SENTOSA

PABRIK MESIN ALAT PERTANIAN • PENGECORAN LOGAM • DEALER UTAMA DIESEL KUBOTA

Kantor Pusat : Jl. Magelang No.144 Yogyakarta 55241 Indonesia
Telp. : (0274) 512095 (hunting) 563217, 584874, 513025, 556923
Fax. : (0274) 563523 (umum), 554069 (pembelian) E-mail : operator1@quick.co.id
Website : www.quick.co.id

LAPORAN HASIL ANALISA
REPORT OF ANALYSIS

Order No. : 0173429
Customer : Renovian Dwi Saputra.
Mahasiswa UII.
Analisa : Spectrometer.
Hasil/Result :

Tanggal : 25 – 08 - 2020.
Kode Spl : Steel
Program : FELOW1.
Alat Uji : Thermo ARL 3560 OES.

Unsur	(%)
C	0,1057
Si	0,1161
S	0,0062
P	0,0093
Mn	0,4207
Ni	0,0135
Cr	0,0059
Mo	0,0012
Cu	0,0072
W	0,0000
Ti	0,0004
Sn	0,0015
Al	0,0056
Pb	0,0000
Ca	0,0002
Zn	0,0000
Fe	99,31

Ass. Ka. Unit Lab, Pola & Finishing UP2L

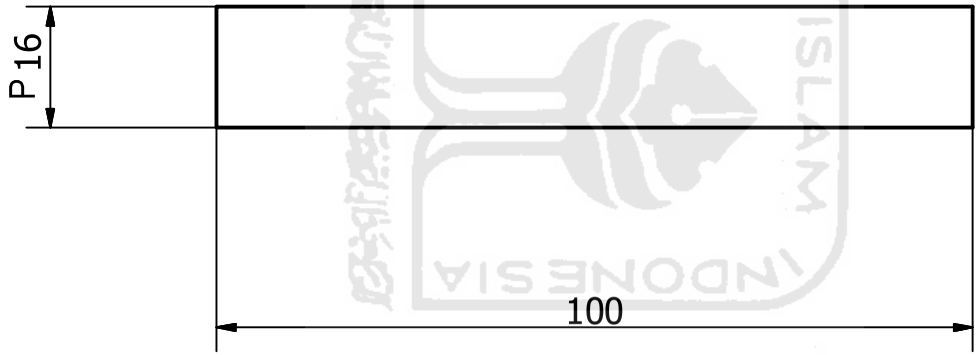
Abdul Kafi

Ka. Seksi Laboratorium UP2L

Reny Hayu W.

Catatan : - Sampel dari pemesan diuji di Laboratorium kami

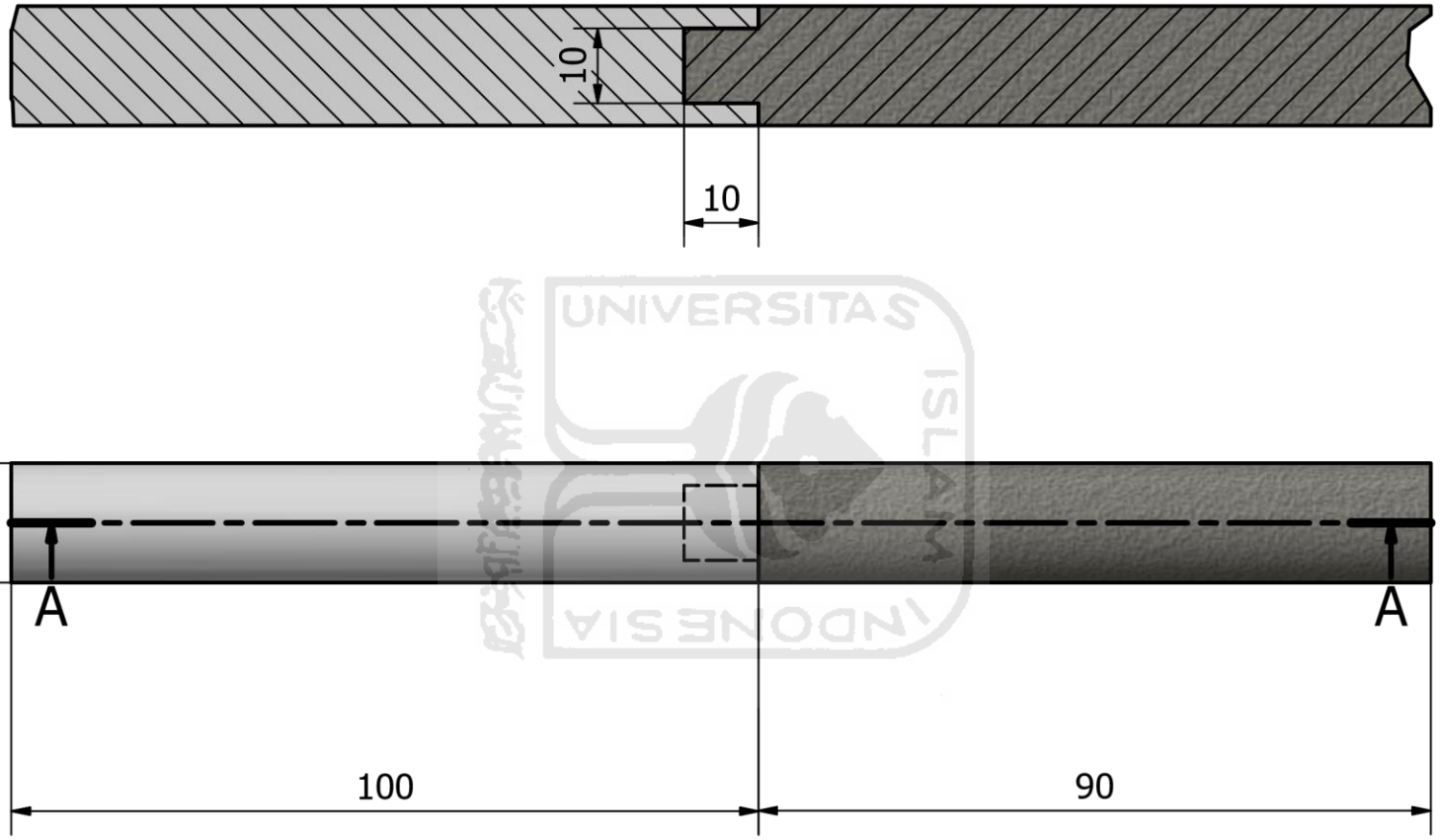
Cabang
Surabaya : Jl. Kebon Rojo 6 BB Telp. (031) 3525687, 3525688, 3525076 Fax. (031) 3540454 E-mail : sby@quick.co.id
Jakarta : Jl. Gajah Mada 154 Telp. (021) 6292044, 6293428, 6490020 Fax. (021) 6490013 E-mail : jkt@quick.co.id
Tanjungkarang : Jl. Raden Intan 159 Telp. (0721) 268498, 268495 Fax. (0721) 268498 E-mail : tjk@quick.co.id
Makassar : Jl. Galangan Kapal Komp. Pergudangan Jujur Sakti Motor No.A9 Telp. (0411) 439693, 4666494 Fax. (0411) 4666494 E-mail : mks@quick.co.id
Depo
Medan : Jl. Letda Sujono Komplek Pergudangan Tembung Intan No. 13 Medan, Indonesia Telp. (061) 7384680 Fax. (061) 7384680 E-mail : mdn@quick.co.id



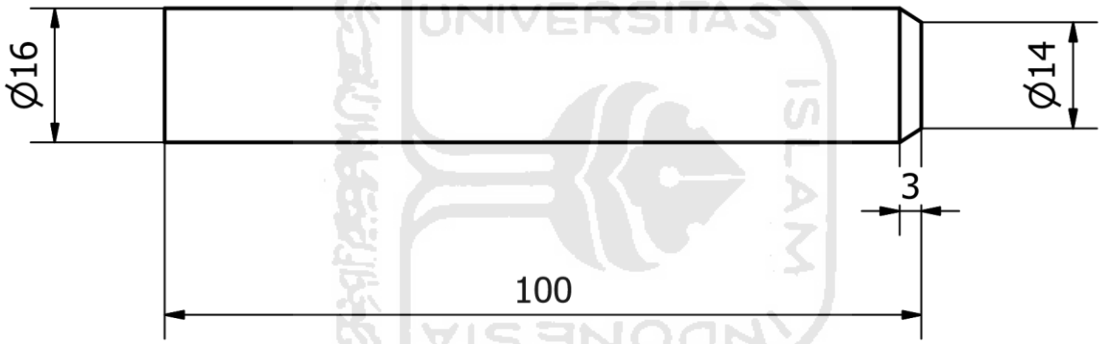
59

	Skala : 1:1 Satuan : mm tanggal : 30-12-2020	Digambar : Renovian D.S NIM : 16525072	Keterangan :
Teknik Mesin FTI-UII	Sambungan Datar	No : 3	A4

A-A (1: 1)



Skala : 1:1	Digambar : Renovian D.S	Keterangan :	
Satuan : mm	NIM : 16525072		
tanggal : 30-12-2020			
Teknik Mesin FTI-UII	Sambungan Fins	No : 1	A4



Skala : 1:1	Digambar : Renovian D.S	Keterangan :	
Satuan : mm	NIM : 16525072		
tanggal : 30-12-2020			
Teknik Mesin FTI-UII	Sambungan Cone	No : 2	A4