

ANALISIS KEKUATAN TARIK PENGELASAN GESEK (*FRICTION WELDING*) PADA ALUMINIUM 6061 DENGAN VARIASI KECEPATAN PUTAR DAN BEBAN TEMPA

(Skripsi)

Oleh
WAHYU TRIANDY YOGO SUNYOTO



**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

ANALISIS KEKUATAN TARIK PENGELASAN GESEK (*FRICTION WELDING*) PADA ALUMINIUM 6061 DENGAN VARIASI KECEPATAN PUTAR DAN BEBAN TEMPA

Oleh

WAHYU TRIANDY YOGO SUNYOTO

Aluminium merupakan unsur metal berlimpah di dalam kerak bumi yang memiliki banyak sifat menguntungkan sehingga banyak digunakan dalam berbagai bidang seperti rangka badan atau struktur rangka sayap pesawat terbang, kaleng kemasan makanan, rangka bangunan arsitek, dan alat elektronik. Kemudian untuk aluminium 6061 merupakan aluminium seri 6XXX yang memiliki sifat bobot yang ringan, mampu las yang baik, ketahanan korosi yang baik serta harganya yang tergolong murah. Pengelasan gesekan (*friction welding*) adalah penyambungan logam dengan menggunakan panas yang dihasilkan oleh gesekan karena putaran tinggi antara permukaan dua benda yang saling bersentuhan dan menerima tekanan relatif. Gesekan dan tekanan terus menerus sampai suhu logam menjadi tinggi, maka permukaan logam menjadi cair. Keuntungan dari pengelasan gesek adalah menghemat logam pengisi dan waktu untuk menggabungkan bahan yang sama atau berbeda.

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah untuk menganalisa nilai pengujian tarik dari hasil pengelasan gesek menggunakan material aluminium 6061 dengan parameter yang telah ditentukan. Dari penelitian ini diperoleh hasil pengujian tarik yaitu nilai tegangan maksimum tertinggi pada variasi kecepatan putaran 1500 Rpm

dengan beban tempa 6 kg sebesar 211.8774 MPa. Dan yang memiliki nilai tegangan maksimum terendah yaitu pada variasi kecepatan putaran 1700 Rpm dengan beban tempa 6 kg nilai 192.2861 MPa. Dari seluruh material uji tarik yang telah dilakukan pengelasan gesek (*friction welding*) terlebih dahulu, berdasarkan beberapa variasi yang digunakan diperoleh hasil yang memuaskan atau sukses karena patahan tidak terjadi di area lasan (*weld zone*).

Kata kunci : Aluminium 6061, pengelasan gesek, uji tarik, dan area patahan pengelasan

ABSTRACT

ANALYSIS OF TENSILE STRENGTH OF FRICTION WELDING ON ALUMINUM 6061 WITH VARIATIONS OF ROTATIONAL SPEED AND FORGING LOAD

By

WAHYU TRIANDY YOGO SUNYOTO

Aluminum is an abundant metal element in the earth's crust which has many beneficial properties so it is widely used in various fields such as aircraft body frames or structural frames, food packaging cans, architectural building frames, and electronic equipment. Then for aluminum 6061 is aluminum 6XXX series which has the properties of light weight, good weldability, good corrosion resistance and the price is relatively cheap. Friction welding is the joining of metals using heat generated by friction due to high rotation between the surfaces of two objects that touch each other and receive relative pressure. Friction and pressure continues until the temperature of the metal becomes high, then the metal surface becomes melted. The advantage of friction welding is that it saves filler metal and time for joining the same or different materials.

The purpose of this final project research is to analyze the value of the tensile test from the results of friction welding using 6061 aluminum material with predetermined parameters. From this study, the results of the tensile test were obtained, namely the highest maximum stress value at a rotational speed variation of 1500 Rpm with a 6 kg forging load of 211.8774 MPa. And the one with the lowest maximum stress value is the rotational speed variation of 1700 Rpm with a 6 kg

forging load of 192.2861 MPa. Of all the tensile test materials that have been subjected to friction welding beforehand, based on several variations used, satisfactory or successful results are obtained because the fracture does not occur in the weld area.

Keyword: Aluminum 6061, friction welding, tensile test and welding fracture area

ANALISIS KEKUATAN TARIK PENGELASAN GESEK (*FRICTION WELDING*) PADA ALUMINIUM 6061 DENGAN VARIASI KECEPATAN PUTAR DAN BEBAN TEMPA

Oleh

WAHYU TRIANDY YOGO SUNYOTO

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**PROGRAM SARJANA TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2023**

Judul Skripsi

: **ANALISIS KEKUATAN TARIK PENGELASAN
GESEK (*FRICTION WELDING*) PADA
ALUMINIUM 6061 DENGAN VARIASI
KECEPATAN PUTAR DAN BEBAN TEMPA**

Nama Mahasiswa

: **Wahyu Triandy Yogo Sunyoto**

Nomor Pokok Mahasiswa

: **1755021011**

Jurusan

: **Teknik Mesin**

Fakultas

: **Teknik**




Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T.

NIP. 19640506 200003 1 001


Harnowo Supriadi, S.T., MT.

NIP. 19690909 199703 1 002

MENGETAHUI

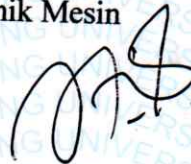
Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Amrul, S.T., M.T.

NIP. 19710331 199903 1 003

Ketua Program Studi S1
Teknik Mesin



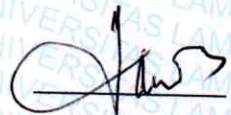
Novri Tanti, S.T., M.T.

NIP. 19701104 199703 2 001

MENGESAHKAN

1. **Tim Penguji**

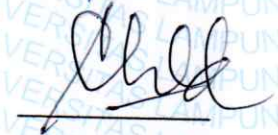
Ketua : Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T.



Anggota Penguji : Harnowo Supriadi, S.T., MT.



Penguji Utama : Tarkono, S.T., M.T., IPP



2. **Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung**

Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. }
NIP. 19750928 200112 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 27 Juni 2023

LEMBAR PERNYATAAN

TUGAS AKHIR INI DIBUAT SENDIRI OLEH PENULIS DAN BUKAN HASIL
PLAGIAT SEBAGAIMANA DIATUR DALAM PASAL 36 PERATURAN
AKADEMIK UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN PERATURAN REKTOR No.
13 TAHUN 2019.

Bandar Lampung,,, 2023
Pembuat Pernyataan



Wahyu Triandy Yogo Sunyoto
NPM 1755021001

RIWAYAT HIDUP

Bernama lengkap Wahyu Triandy Yogo Sunyoto, penulis adalah anak ketiga dari pasangan Bapak alm. Edy Sunyoto dan Ibu Turgiyanti yang lahir di Bandarlampung, tanggal 17 Maret 1999. Penulis menempuh pendidikan Sekolah Dasar di SDN 02 Palapa yang diselesaikan pada tahun 2011, pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Kartika II-2 (Persit) yang diselesaikan pada tahun 2014, pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMAN 03 Bandarlampung dan lulus pada Tahun 2017.

Penulis pada tahun 2017 mengikuti seleksi SMMPTN dan diterima pada Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Selama masa perkuliahan, penulisan aktif sebagai Anggota Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM).

Pada tahun 2023 penulis menyelesaikan skripsi berjudul “Analisa Kekuatan Tarik Pengelasan Gesek (*Friction Welding*) pada Aluminium 6061 dengan Variasi Kecepatan Putaran dan Beban Tempa” sebagai syarat memperoleh gelar sarjana Teknik Mesin dengan bimbingan Bapak Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T. dan Bapak Harnowo Supriadi, S.T., MT.

**SANWACANA
PERSEMBAHAN**

Alhamdulillahirobbil'alamin, dengan mengucapkan rasa syukur kepada Allah SWT atas segala limpahan rahmat, rizki dan karunia yang Engkau berikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Teriring doa, rasa syukur dan segala kerendahan hati. Dengan segala cinta dan kasih sayang ku persembahkan karya ini untuk orang-orang yang sangat berharga dalam hidupku:

**Kedua Orang Tua Serta Keluarga Yang Terkasih
Dan
Semua Yang Selama Ini Telah Mendukung, Mendidik Dan Membimbing
Penulis**

“Jazakumullah Khairan”

SANWACANA

Assalamu'alaikum Warahmatullohi Wabarokatuh

Alhamdulillahirobbilalamin, Segala puji dan rasa syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunianya dan tak lupa pula shalawat serta salam selalu tercurah kepada junjungan Nabi Muhammad SAW, sahabatnya, serta pengikutnya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Analisa Kekuatan Tarik Pengelasan Gesek (*Friction Welding*) pada Aluminium 6061 dengan Variasi Kecepatan Putaran dan Beban Tempa” dengan sebaik-baiknya, sebagai salah satu syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis mendapatkan banyak bimbingan, motivasi dan bantuan baik moral maupun materi oleh banyak pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih kepada:

1. Ibuku Turgiyanti dan Bapakku alm. Edy Sunyoto yang tidak pernah henti-hentinya memberikan dukungan moral dan materinya serta doa dan kasih sayang yang diberikan.
2. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Amrul, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung dan serta selaku Pembimbing Akademik.
4. Ibu Novri tanti, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung.
5. Bapak Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T., selaku Dosen Pembimbing Pertama tugas akhir ini, yang telah memberikan bimbingan, ide pikiran dan saran sehingga terselesaikannya skripsi ini.

6. Bapak Harnowo Supriadi, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Kedua, yang telah memberikan berbagai masukan dan saran sehingga terselesaikannya skripsi ini.
7. Bapak Tarkono, S.T., M.T., selaku Pembahas, yang telah memberikan kritik dan saran yang bermanfaat bagi penulis.
8. Seluruh dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung berkat ilmu yang telah diajarkan kepada penulis selama penulis menjalani masa studi di perkuliahan.
9. Staf Akademik serta Asisten Laboratorium yang telah banyak membantu kepada penulis, sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
10. Keluarga Besar Teknik Mesin angkatan 2017 yang senantiasa memberikan dukungan.
11. Namira Mutia Hariani, S.M , telah menyemangati dalam proses pembuatan skripsi, memberi warna hidupku dikala pandemic Covid 19. Semoga hal baik selalu menyertai kita Amin
12. Dan semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan tugas akhir ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa laporan Tugas Akhir ini tidak luput dari kekurangan dan kesalahan. Oleh karena itu, penulis secara pribadi memohon maaf atas kekurangan dan kesalahan tersebut. Penulis berharap laporan Tugas Akhir ini bermanfaat bagi semua pihak.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Bandar Lampung, 27 Juni 2023

Penulis,

Wahyu Triandy Yogo Sunvoto

NPM 1755021011

MOTTO

“Sukses adalah saat persiapan dan kesempatan bertemu”

Bobby unser

“Setiap senyuman memiliki arti, berharap esok melihat senyuman yang lebih berarti”

Wahyu Triandy Yogo Sunyoto

“Keterlambatan bukan suatu halangan untuk menuju kesuksesan”

Wahyu Triandy Yogo Sunyoto

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Pernyataan Masalah	3
1.3 Objektif Penelitian	4
1.4 Organisasi Skripsi	4

II. Tinjauan Pustaka

2.1 Pengertian Pengelasan.....	6
2.2 Klasifikasi Pengelasan	7
2.3 Pengelasan Gesek (<i>Friction Welding</i>)	8
2.4 Prinsip Pengelasan Gesek (<i>Friction Welding</i>)	10
2.5 Kelebihan dan Kekurangan Pengelasan Gesek (<i>Friction Welding</i>).....	11
2.6 Parameter Pengelasan Gesek (<i>Friction Welding</i>)	12
2.7 Aplikasi Pengelasan Gesek (<i>Friction Welding</i>).....	12
2.8 Daerah Sambungan Las Gesek (<i>Friction Welding</i>)	13
2.9 Kecepatan Putaran.....	14
2.10Durasi Gesekan	15
2.11Tekanan Aksial (Tekanan Gesekan dan Tempa)	15
2.12Beban Tempa	16
2.13Aluminium	16
2.14Klasifikasi Paduan Aluminium	18
2.15Sifat Mekanik Aluminium	20
2.16Aluminium 6061	21
2.17Uji Tarik.....	21

III. Metodologi Penelitian

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	24
3.2 Alat dan Bahan	24
3.3 Prosedur Penelitian.....	27
3.4 Diagram Alir	30
3.5 Pengambilan Data	32

IV. Data Dan Pembahasan

4.1 Data	33
4.2 Analisa Uji Tarik	38

V. Penutup

5.1 Simpulan.....	44
5.2 Saran	44

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Karakteristik Aluminium	18
2.2 Komposisi Aluminium 6061	21
2.3 Sifat Mekanik Aluminium 6061.....	21
3.1 Komposisi Aluminium 6061	25
3.2 Sifat Mekanik Aluminium 6061.....	25
3.3 Data Hasil Uji tarik	32
4.1 Komposisi Aluminium 6061	33
4.2 Sifat Mekanik Aluminium 6061.....	33
4.3 Hasil Pengelasan Gesek Alumunium 6061 Setelah di Uji Tarik	34
4.4 Data Hasil Uji Tarik Las Gesek (<i>Friction Welding</i>)	36

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Klasifikasi cara pengelasan	8
2.2 Pengelasan Gesek (<i>Friction Welding</i>).....	10
2.3 Aplikasi <i>friction welding</i> A. <i>Engine valve</i> B. <i>Cluster Gear</i> C. Piston Rods D. <i>Back Spring Pin</i>	13
2.4 Struktur Mikro Logam Hasil <i>Friction Welding</i>	13
2.5 Spesimen Uji Tarik ASTM E8/E8M – 13a	23
3.1 Mesin Bubut	26
3.2 Sketsa Alat Las Gesek.....	26
3.3 Mesin Uji Tarik	27
3.4 Diagram Alir.....	31
4.1 Hasil Pengelasan Gesek (<i>Friction Welding</i>) Aluminium 6061	33
4.2 Spesimen Hasil Pengelasan gesek (<i>friction welding</i>) Untuk Pengujian Tarik	34
4.3 Grafik Tegangan Maksimum – Kecepatan Putaran 1000 Rpm sampai 1400 Rpm	37
4.4 Grafik Tegangan Maksimum – Kecepatan Putaran 1500 Rpm Sampai 1800 Rpm	37
4.5 Grafik Tegangan-Regangan Uji Tarik Spesimen ke-1	38
4.6 Grafik Tegangan-Regangan Uji Tarik Spesimen ke-2	39
4.7 Grafik Tegangan-Regangan Uji Tarik Spesimen ke-3	39
4.8 Grafik Tegangan-Regangan Uji Tarik Spesimen ke-4	40
4.9 Grafik Tegangan-Regangan Uji Tarik Spesimen ke-5	40
4.10 Grafik Tegangan-Regangan Uji Tarik Spesimen ke-6	41
4.11 Grafik Tegangan-Regangan Uji Tarik Spesimen ke-7	41
4.12 Grafik Tegangan-Regangan Uji Tarik Spesimen ke-8	42

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring perkembangan industri manufaktur, teknologi pengelasan juga mengalami perkembangan sangat baik. Teknologi tersebut berkembang karena tuntutan dari industri-industri yang menggunakan las sebagai metode untuk menyambung logam (Sai'in dan Muzaki, 2020). Oleh karena ini, metode penyambungan pengelasan merupakan salah satu bagian yang tak terpisahkan dari proses manufaktur (Haryanto dkk., 2011). Penyambungan material dengan metode las dimaksudkan untuk mendapatkan kombinasi sifat fisik dan mekanik yang lebih baik baik dari beda material atau material yang sama (Dzulfikar dkk., 2020).

Adapun permasalahan yang kerap terjadi dalam pengelasan seperti : terdapat terak pada hasil lasan, menghasilkan asap atau gas yang dapat mencemari lingkungan, harus menggunakan logam pengisi dan lain sebagainya. Dari permasalahan tersebut muncul metode-metode yang baru untuk mengatasi permasalahan dalam proses penyambungan material dalam teknologi pengelasan, salah satunya adalah pengelasan gesek (*friction welding*) (Suhendar dkk., 2020). Las gesek (*friction welding*) merupakan pengelasan dengan memanfaatkan panas yang ditimbulkan akibat putaran benda satu yang bergerak dengan induk atau benda kerja (Putra dan Arwizet, 2019).

Las gesek (*friction welding*) tergolong cukup baru dan masih belum terlalu banyak diterapkan di Indonesia baik itu dalam aplikasi maupun penelitian yang mengarah kepada teknologi ini dan hanya beberapa yang telah membahas secara parsial (Anggraini dan Saputra, 2019). Panas pengelasan gesek

diperoleh dari konversi langsung energi mekanik menjadi energi termal melalui gesekan. Panas yang dihasilkan dari proses gesekan antar *interface* akan menaikkan temperatur sampai mencapai pada temperatur leleh (*melting*) benda dalam arah aksial dengan jarak yang relatif sangat pendek (Haryanto dkk., 2021). Las gesek sangat baik digunakan untuk mengelas dua bahan yang berbeda (*disimilar material*) dan batang yang mempunyai bentuk geometris yang berbeda (Putra dkk., 2020). Selain itu metode las gesek ini mempunyai banyak keunggulan antara lain waktu proses cepat, tidak perlu logam pengisi, panas yang terjadi tidak sampai logam mencair, panas yang terjadi tidak terlalu tinggi juga mudah diterapkan karena dapat memanfaatkan mesin perkakas (Husodo dkk., 2015).

Ada beberapa faktor kualitatif yang mempengaruhi kualitas las gesek yaitu : 1) kecepatan relatif pada permukaan kontak, 2) penerapan tekanan, 3) suhu permukaan, 4) *bulk property*, 5) kondisi permukaan dan lapisan terbentuk. Tiga faktor pertama berkaitan dengan las gesek, sedangkan dua yang terakhir berkaitan dengan sifat bahan yang disambun (Imanudin, 2021). Pemanfaatan pengelasan pada aluminium 6061 banyak digunakan dalam pembuatan mobil penumpang, tanker jalan dan kereta api sistem transportasi karena kekuatannya yang tinggi, luar biasa kemampuan las dan ketahanan terhadap korosi.

Material Aluminium (Al) dan paduannya telah banyak digunakan secara luas diberbagai bidang industri. Dalam dunia teknologi saat ini, aluminium sering digunakan dalam proses pembuatan kendaraan yaitu mobil, dan kapal. Aluminium dan paduannya memiliki sifat mampu las yang kurang baik (Romadhoni, 2016). Aluminium memiliki sifat korosi yang baik, namun material aluminium memiliki masalah yaitu sulitnya proses dalam proses penyambungan, karena adanya lapisan oksida di permukaan logam. Oleh karena itu, aluminium dan paduannya memiliki sifat mampu las yang rendah disebabkan oleh sifat konduktivitas panas yang tinggi dan titik cairnya yang rendah bila dibandingkan dengan logam lain, terutama baja. (Sukmana dan Sustiono, 2016).

Berdasarkan penelitian terdahulu diperoleh hasil bahwa waktu gesek dan sudut *chamfer* berpengaruh terhadap kekuatan tarik pada sambungan las gesek aluminium 6061. Dengan hasil nilai kekuatan tarik tertinggi yaitu pada variasi 30°/120 detik sebesar 15,86 kg.f/mm² atau 155,534 MPa, dan yang terendah pada variasi 60°/60 detik sebesar 5,16 kg.f/mm² atau 50,602 MPa. Serta pada hasil struktur mikro hasil sambungan las gesek pada Aluminium 6061 untuk variasi waktu gesek 60 detik menunjukkan adanya crack. Hal ini menandakan bahwa pemanasan untuk waktu gesek 60 detik masih kurang (Wicaksana dkk., 2016).

1.2 Pernyataan Masalah

Berdasarkan penelitian dari “Imanudin, 2021” diperoleh hasil bahwa faktor yang menyebabkan nilai pengujian naik ataupun turun pada pengelasan gesek yaitu berdasarkan parameter kecepatan putar dengan kontribusi 87,8% waktu gesek dengan kontribusinya sebesar 0,96 %, beban gesek sebesar 2,56%, dan beban tempa sebesar 8,70%. Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan apabila kecepatan putaran dan beban tempa naik maka akan menyebabkan nilai kekerasan dan nilai kekuatan tarik semakin naik juga. Jadi, semakin tinggi nilai kekerasan maka semakin tinggi pula nilai UTS-nya begitupun sebaliknya. Hal ini menunjukkan bahwa nilai kekerasan berbanding lurus dengan nilai UTS (*Ultimate Tensile Strength*). Namun walaupun nilai kekerasan dan kekuatan tarik meningkat belum mencukupi untuk dikatakan hasil lasannya berhasil. Dikarena pengelasan gesek dinyatakan berhasil apabila pada saat dilakukan uji tarik, maka perpisahannya tidak didaerah *weldzone*. Sedangkan dari penelitian “Imanudin, 2021” hasil pengujian tarik material las gesek putus di daerah *weldzone*. Adapun faktor-faktor yang menyebabkan hasil pengelasan berhasil dan tidak putus didaerah *weldzone* antara lain (Satyadianto, 2015) :

- a. Kecepatan putaran, tekanan aksial (tekanan gesekan dan tekanan tempa), dan durasi pengelasan adalah variabel utama yang diperlukan untuk menghasilkan lasan yang bagus yang dihasilkan dari kombinasi panas dan tekanan untuk membentuk *weld nugget*.

- b. *Interface* dipanaskan mencapai kisaran temperatur plastis dimana pengelasan gesek dapat berlangsung.
- c. Temperatur permukaan setelah gesekan adalah parameter penting untuk memastikan hasil yang baik pada pengelasan dan tergantung pada kondisi proses pengelasan dan bahan-bahan yang akan disambung. Meskipun temperatur permukaan tidak diukur secara langsung tapi dampak dari temperatur yang tidak cukup atau berlebihan pada umumnya dapat diamati jelas melalui pemeriksaan visual selesai dilas dan mempengaruhi kualitas hasil lasan.

Berdasarkan kutipan diatas maka saya tertarik untuk melanjutkan penelitian “Imanudin, 2021” dengan menggunakan metode las gesek (*friction welding*) untuk melakukan penyambungan pada material aluminium 6061 dengan memvariasi kecepatan putaran dan beban tempa. Untuk mengetahui dan menganalisa hasil sambungan las gesek (*friction welding*) terutama dalam segi kekuatan tarik pada area lasan serta untuk membuktikan bahwa yang mempengaruhi hasil pengelasan gesek dominan pada segi kecepatan putaran dan beban tempa.

1.3 Objektif Penelitian

Adapun objek penelitian dari skripsi yang saya lakukan sebagai berikut :

1. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa nilai pengujian tarik dari hasil pengelasan gesek dengan menggunakan material aluminium 6061 menggunakan parameter yang telah ditentukan.
2. Tujuan dari dilaksanakannya penelitian ini adalah untuk menganalisa nilai kekuatan tarik berdasarkan variasi yang digunakan.

1.4 Organisasi Skripsi

Skripsi ini terdiri dari lima bab. Bab 1 berisikan tentang latar belakang penelitian tentang pengelasan gesek (*friction welding*) pada Aluminium 6061.

Selain itu ada juga tentang pernyataan masalah sehingga dilakukan penelitian ini, serta ruang lingkup penelitian dan tujuan juga disebutkan.

Studi keaksaraan dalam kaitannya dalam kaitannya dengan penelitian dijelaskan pada bab 2. Adapun yang ditampilkan antarlain : pengertian pengelasan, klasifikasi pengelasan, pengelasan gesek (*friction welding*), prinsip pengelasan gesek (*friction welding*), kelebihan dan kekurangan pengelasan gesek (*friction welding*), parameter pengelasan gesek (*friction welding*), aplikasi pengelasan gesek (*friction welding*), daerah sambungan las gesek (*friction welding*), kecepatan putaran, durasi gesekan, tekanan aksial (tekanan gesekan dan tempa), beban tempa, aluminium, klasifikasi paduan aluminium, sifat mekanik aluminium, aluminium 6061 dan uji tarik.

Bab 3 berisikan penjelasan mengenai tempat dan waktu pelaksanaan, alat dan bahan penelitian, prosedur penelitian, diagram alir dan pengambilan data.

Bab 4 berisikan tentang penjelasan mengenai data dan hasil pengelasan gesek (*friction welding*) berdasarkan uji tarik.

Bab 5 berisikan simpulan yang diperoleh dari pengelasan gesek (*friction welding*) berdasarkan data uji tarik. Serta saran yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya agar lebih maksimal dalam hasil analisisnya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Pengelasan

Pengembangan teknologi dibidang konstruksi yang semakin maju tidak dapat dipisahkan dari pengelasan karena mempunyai peran penting dalam rekayasa dan reparasi logam. Lingkup penggunaan teknik pengelasan dalam konstruksi sangat luas meliputi perkapalan, jembatan, rangka baja, bejana tekan, sarana transportasi, rel, pipa saluran dan lain sebagainya (Alian dan Fadhil. 2019). Pengertian pengelasan (*welding*) merupakan suatu proses penyambungan dua atau lebih bahan teknik dengan cara memanaskannya hingga mencapai titik cair. Energi panas yang dihasilkan dalam proses pengelasan dapat berasal dari nyala busur (*fusion*) luar atau pun dari gesekan dua benda kerja (Solihin dkk., 2017).

Pada prinsipnya pengelasan (*welding*) adalah proses penyambungan dua buah logam atau lebih dengan tujuan untuk merakit atau menggabungkan beberapa komponen menjadi suatu bentuk mesin. Komponen yang dirakit atau digabungkan bisa berasal dari hasil pengecoran, pembentukan atau pemesinan, yang terbuat dari logam yang sama maupun berbeda-beda. Pengelasan adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara melebur sebagian logam dasar dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam tambahan serta menghasilkan sambungan yang kontinyu (Haryanto dkk., 2011).

2.2 Klasifikasi Pengelasan

Adapun pengklasifikasian pengelasan (*welding*) berdasarkan dari sumber panasnya dapat dibedakan menjadi 3 antara lain (Lamidi, 2020) :

- a. Mekanik
- b. Listrik
- c. Kimia

Sedangkan menurut cara pengelasannya (*welding*) dapat dibedakan menjadi dua bagian besar yaitu :

- a. Pengelasan tekan (*pressure welding*)
- b. Pengelasan cair (*Fusion welding*)

Secara konvensional pengklasifikasian tersebut dapat dibedakan menjadi tiga golongan yaitu klasifikasi berdasarkan cara kerja dan energi yang digunakan. Diantara kedua klasifikasi tersebut, klasifikasi berdasarkan cara kerja adalah yang paling banyak digunakan di lingkungan masyarakat. Berdasarkan pengklasifikasian cara kerja, proses pengelasan (*welding*) dibagi menjadi tiga kelas utama yaitu (Lamidi, 2020) :

- a. Pengelasan Cair

Pengelasan cair adalah pengelasan yang dilakukan dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan sumber panas dari busur listrik atau sumber api dari gas yang dibakar. Contoh pengelasan cair adalah seperti SMAW, GTAW, GMAW, dan lain-lainnya.

- b. Pengelasan Tekan

Pengelasan tekan adalah pengelasan yang dilakukan dengan cara memanaskan sambungan dan kemudian diberikan penekanan hingga sambungan terbentuk. Contoh pengelasan tekan adalah seperti las ledakan, las resistansi listrik, las tempa, dan lain-lain.

- c. Pematrian

Pematrian adalah penyambungan dengan cara mencairkan logam pengisi (titik lebur logam pengisi dibawah titik lebur logam induk) sehingga

terbentuk sambungan logam. Adapun contoh pematiran adalah seperti pembrasingan dan penyolderan (Lamidi, 2020).

Perincian lebih lanjut dari klasifikasi ini dapat dilihat dalam gambar 2.1 di bawah ini :



Gambar 2.1 Klasifikasi cara pengelasan
Sumber : (Lamidi, 2020)

2.3 Pengelasan Gesek (*Friction Welding*)

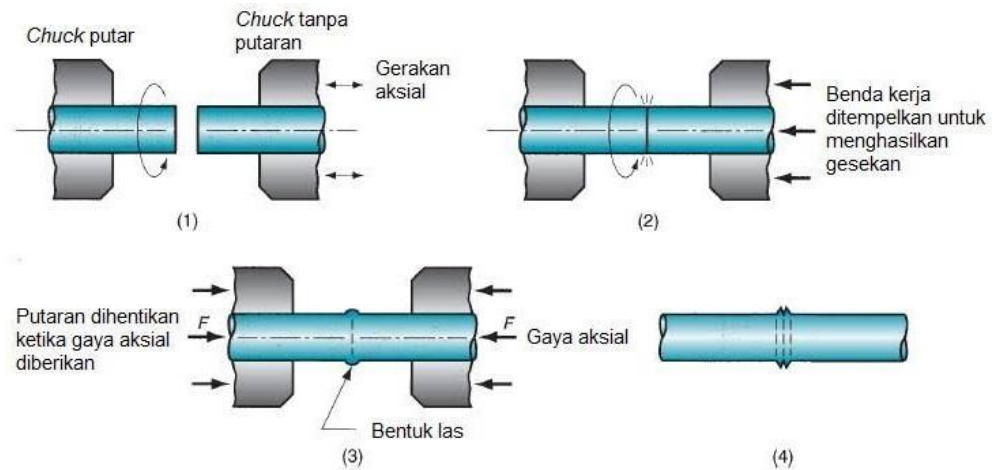
Pengelasan gesekan (*friction welding*) adalah penyambungan logam dengan menggunakan panas yang dihasilkan oleh gesekan karena putaran tinggi antara permukaan dua benda yang saling bersentuhan dan menerima tekanan relatif. Gesekan dan tekanan terus menerus sampai suhu logam menjadi tinggi, maka permukaan logam menjadi cair (Dzulfikar dkk., 2020). Keuntungan dari pengelasan gesek adalah menghemat logam pengisi dan waktu untuk menggabungkan bahan yang sama atau berbeda. Selain parameter saat melakukan pengelasan gesekan, jenis bahan harus diperhitungkan saat melakukan pengelasan gesek. Salah satu keuntungan dari las gesek adalah menyatukan seluruh permukaan benda sehingga menghasilkan kualitas benda yang tinggi, yang tidak mungkin dilakukan dengan sambungan SMAW (*Shield Art Welding*) (Putra dan Arwizet, 2019).

Pengelasan gesek (*friction welding*) juga dapat digunakan pada material yang sulit dilas dengan teknik konvensional, dan karena tidak ada bahan yang terbakar atau meleleh, pembentukan asap dapat diminimalkan (Anggraini dan Saputra, 2019). Aplikasi penyambungan menggunakan las gesek (*friction welding*) sering digunakan untuk menyambung material silinder berdiameter kecil. Pengelasan gesekan umumnya digunakan dalam industri otomotif untuk menghubungkan as roda, komponen *gearbox*, kolom kemudi dan bahan katup mesin.

Metode las gesek ini memudahkan penyambungan material yang sulit dilas dalam proses las busur. Dalam proses pengelasan busur, panas yang dihasilkan tidak merata di atas permukaan material, sehingga menghasilkan sambungan yang buruk dari sudut pandang kekuatan mekanik las (Sai'in dan Muzaki, 2020). Adapun lima faktor kualitatif yang mempengaruhi kualitas atau mutu dari pengelasan gesek (*friction welding*) adalah sebagai berikut (Satyadianto, 2015) :

- a. Kecepatan putaran
- b. Tekanan aksial (tekanan gesekan dan tekanan tempa)
- c. Durasi pengelasan
- d. Propertis material
- e. Kondisi Permukaan Benda kerja

Adapun tiga faktor pertama berkaitan dengan proses pengelasan gesek (*friction welding*), sedangkan dua yang terakhir terkait dengan properti dari bahan-bahan yang akan disambung (Satyadianto, 2015). Langkah proses pengelasan gesek dapat ditunjukkan pada gambar 2.2 sebagai berikut :



Gambar 2.2 Pengelasan Gesek (*Friction Welding*)
 Sumber : (Sanyoto dkk., 2012)

2.4 Prinsip Pengelasan Gesek (*friction welding*)

Pada tahun 1950, AL Chudikov yang merupakan seorang mekanik Soviet, mengemukakan pada hasil pengamatannya tentang teori bahwa energi mekanik dapat diubah menjadi energi panas. Gesekan yang ditimbulkan oleh bagian-bagian mesin yang bergerak menyebabkan banyak kerugian karena sebagian energi mekanik yang dihasilkan diubah menjadi panas. Chudikov berpendapat bahwa proses seperti itu harus dapat digunakan dalam proses pengelasan. Setelah bereksperimen dan meneliti, dia berhasil mengelas menggunakan panas yang dihasilkan oleh gesekan. Untuk meningkatkan panas yang dihasilkan, benda kerja tidak hanya berputar, tetapi juga saling menekan. Tekanan juga membantu mempercepat fusi. Metode ini disebut pengelasan gesekan (*Friction Welding*) (Haryanto dkk., 2011).

Alasan untuk melakukan penelitian pengelasan gesek adalah penyatuan dua logam melalui gesekan mekanis. Proses pengelasan terjadi ketika bagian yang tidak berputar bersentuhan dengan bagian yang berputar dibawah tekanan konstan atau meningkat secara bertahap, sampai kedua permukaan mencapai temperatur pengelasan dan kemudian putaran dihentikan. Sambungan las yang terbentuk karena akibat adanya mekanisme ikatan difusi. Dalam ikatan difusi, sifat dari proses sambungan pada dasarnya adalah peleburan dua atom yang

menghilangkan permukaan yang solid. Sambungan yang sempurna terjadi melalui tiga-tahap urutan dalam metalurgi. Tiga tahapan tersebut antara lain (Subiyanto dkk., 2016) :

- a. Deformasi mikroasperity
- b. *Diffusion-Controlled Mass Transport*,
- c. *Interface Migration*

Pengelasan gesek (*friction welding*) adalah suatu proses penyambungan yang menggunakan energi panas yang dihasilkan oleh gaya gesek dan tekanan pada kedua permukaan yang akan disambung, sesuai dengan proses pengelasannya, dimana proses pengelasan gesek memiliki kelebihan yaitu tidak menggunakan bahan tambah serta hasil pengelasan merata diseluruh permukaan dan dapat digunakan untuk pengelasan pada bahan yang berbeda (Haryanto dkk., 2011).

2.5 Kelebihan dan Kekurangan Pengelasan Gesek (*friction welding*)

Secara umum pengelasan gesek (*friction welding*) memiliki kekurangan dan kelebihan. Adapun kelebihan dari pengelasan gesek (*friction welding*) adalah sebagai berikut (Lamidi, 2020) :

- a. Pada proses penyambungan pengelasan gesek tidak memerlukan logam pengisi
- b. Proses pengelasan membutuhkan waktu singkat.
- c. Proses penyambungan pengelasan gesek dapat digunakan pada dua logam yang sama ataupun yang berbeda.
- d. Sedikit melakukan pengontrolan pada pengelasan gesek, tidak seperti pada pengelasan busur listrik.
- e. Tidak menimbulkan banyak asap
- f. Pengelasan mudah dilakukan dan otomatis.
- g. Hemat biaya
- h. Benda yang di sambung harus simetris.

Selain itu pengelasan gesek (*friction welding*) juga memiliki beberapa kekurangan. Adapun kekurangan pengelasan gesek (*friction welding*) adalah sebagai berikut:

- a. Material yang akan dilas harus memiliki sifat mampu tempa.
- b. *Friction welding* kurang maksimal dalam penyambungan benda kerja dengan bentuk persegi atau kotak.
- c. Biaya yang mahal untuk investasi mesin

2.6 Parameter Pengelasan Gesek (*friction welding*)

Adapun parameter karakteristik yang digunakan pada pengelasan gesek (*friction welding*) antara lain sebagai berikut (Haryanto dkk., 2021):

- a. Kecepatan putaran adalah kecepatan rotasi sumbu yang memutar salah satu benda uji (rpm).
- b. Waktu gesekan, yaitu waktu gesekan antara dua permukaan benda uji selama jangka waktu tertentu untuk mencapai proses pengelasan (detik).
- c. Tekanan gesek, yaitu tekanan yang dihasilkan dari gaya aksial pada kedua permukaan gesekan (Mpa).

2.7 Aplikasi Pengelasan Gesek (*Friction Welding*)

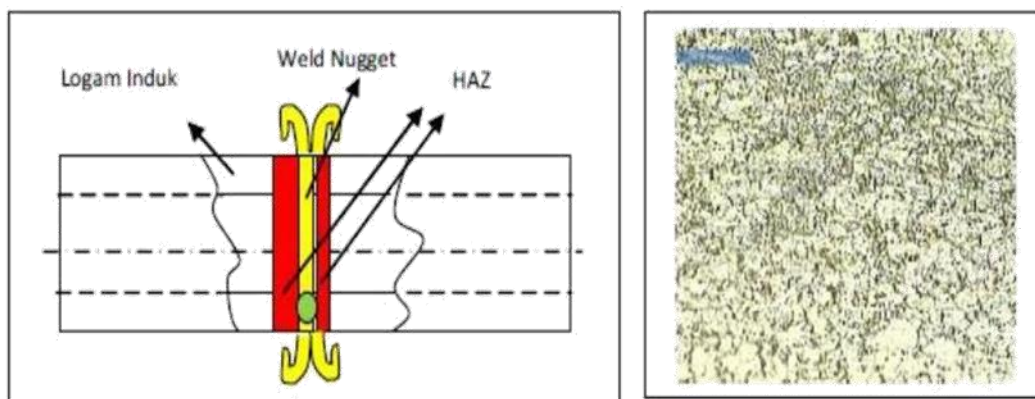
Penggunaan teknologi pada las gesek (*friction welding*) banyak digunakan untuk penyambungan material sejenis atau berbeda jenisnya mengingat efisiensinya pengelasan tersebut baik dari segi ekonomi maupun waktu pengelasan. Pengelasan jenis ini banyak digunakan untuk penyambungan material dengan bentuk tertentu namun umumnya berbentuk silinder dimana las lain tidak dapat melakukan penyambungan secara menyeluruh. Contoh aplikasi dari penyambungan *friction welding* dapat ditunjukkan pada gambar 2.3 berikut ini (Lamidi, 2020) :



Gambar 2.3 Aplikasi *friction welding* A. Engine valve B. Cluster Gear
C. Piston Rods D. Back Spring Pin
Sumber : (Lamidi, 2020)

2.8 Daerah Sambungan Las Gesek (*Friction Welding*)

Daerah pengelasan adalah daerah yang terkena pengaruh panas saat proses pengelasan. Pengaruh panas tersebut menyebabkan sifat material mengalami perubahan karena perubahan struktur mikro pada area sambungan las. Daerah pengelasan terdiri dari tiga bagian antara lain : logam lasan, daerah pengaruh panas (HAZ) dan logam induk. Daerah pengelasan gesek (*friction welding*) dapat ditunjukkan pada gambar 2.4 berikut ini (Putra, 2019) :



Gambar 2.4 Struktur Mikro Logam Hasil *Friction Welding*
Sumber : (Putra, 2019)

Adapun penjelasan dari daerah sambungan lasan terdiri dari tiga bagian antara lain sebagai berikut :

- a. Logam lasan (*weld metal*), adalah daerah endapan las (*weld deposit*) dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. Endapan las berasal dari logam pengisi (*filler metal*).
- b. Daerah pengaruh panas (HAZ), adalah daerah dimana logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama pengelasan mengalami siklus termal atau pemanasan dan pendinginan dengan cepat.
- c. Logam induk (*parent metal*), adalah bagian logam yang tidak terpengaruh oleh pemanasan dan temperatur yang disebabkan selama proses pengelasan, serta tidak menyebabkan terjadinya perubahan struktur dan sifat mekanis dari logam induk. Hal ini disebabkan karena temperatur atau yang terjadi pada logam induk belum mencapai temperatur kritis (Putra, 2019).

2.9 Kecepatan Putaran

Kecepatan rotasi dan tekanan aksial yang lebih rendah biasanya digunakan dalam *direct drive friction welding*. Ada rentang yang optimal dari kecepatan putaran untuk setiap kombinasi logam yang disambung. Dalam pengelasan inersia, kecepatan putaran terus menurun selama tahap gesekan, sedangkan pada pengelasan *direct-drive* kecepatan gesekan tetap konstan. Panas yang dihasilkan dari bahan pada permukaan benda kerja menyebabkan deformasi plastis, panas yang dihasilkan oleh gesekan pada fase gesekan adalah sumber utama dalam tahap penempaan untuk mencegah cepatnya penurunan suhu pada antar permukaan. Maka dapat disimpulkan bahwa kecepatan putaran mempengaruhi cepat lambatnya temperatur yang dibangkitkan, semakin tinggi kecepatan putaran maka torsi dan energi yang dihasilkan juga semakin besar sehingga membutuhkan gaya pengereman yang semakin besar juga (Satyadianto, 2015).

2.10 Durasi Gesekan

Pengaruh durasi gesekan terhadap distribusi temperatur saat proses gesekan berlangsung sampai mencapai temperatur tempa, sehingga pada permukaan logam dasar terbentuk permukaan tempa. Untuk durasi gesekan yang semakin lama daerah permukaan tempa yang terbentuk akan semakin besar, karena panas gesekan merupakan perbandingan lurus dengan fungsi bertambahnya waktu. Selain kecepatan putaran yang dipilih untuk menghasilkan baik jumlah energi kinetik, inersia dan jumlah tekanan tempa yang diberikan. Durasi gesekan yang lama diperlukan jika karakteristik kecepatan putaran yang terjadi pada pengelasan pada permukaan rendah. Durasi ini dalam kombinasi dengan tekanan aksial menghasilkan panas. Karena durasi gesekan dimulai pada awal proses gesekan terjadi sampai proses penempaan terjadi, maka jumlah menempa tergantung pada panas yang dibangkitkan dari kecepatan gesekan dan durasi menempa sehingga menghasilkan jumlah energi yang ada pada motor dan inersia yang ada pada poros juga. Jika motor berkecepatan tinggi maka durasi yang dibutuhkan akan semakin rendah, tetapi memiliki jumlah energi kinetik yang sama (Satyadianto, 2015).

2.11 Tekanan Aksial (Tekanan Gesekan dan Tempa)

Efek dari berbagai tekanan aksial berlawanan dengan efek dari memvariasikan kecepatan. Tekanan yang berlebihan menghasilkan lasan dengan kualitas yang jelek pada bagian pusat dan memiliki upset welds dalam jumlah besar, mirip dengan mengelas dibuat pada kecepatan rendah. Jika ada tekanan aksial berbeda di dalam fase 1 dan 3, proses ini disebut dua tahap pengelasan, yaitu tekanan gesek dan tekanan penempaan, keduanya dimasukkan sebagai parameter gaya aksial las (Satyadianto, 2015). Fase 1 adalah fase gesekan (*friction phase*), fase 2 adalah fase berhenti (*breaking phase*), dan fase 3 adalah fase penempaan atau *Upset (forging phase)*. Fase 1 adalah fase gesekan, fase ini adalah fase untuk meningkatkan temperatur. Peningkatan temperatur terjadi karena adanya sumber panas yaitu gesekan dua buah logam. Waktu yang

dibutuhkan cukup besar dibanding fase lainnya. Fase 2 adalah fase berhenti. Fase ini diharapkan durasi waktu secepat mungkin supaya panas yang terjadi tidak hilang (Husodo dkk., 2013).

Disisi lain ketika tekanan tetap konstan selama proses berlangsung, hal itu disebut satu-tahap pengelasan. Gesekan kedua torsi dalam dua tahap pengelasan secara umum lebih tinggi dari pada satu tahap pengelasan karena gaya aksial yang diterapkan lebih besar (Satyadianto, 2015).

2.12Beban Tempa

Beban tempa merupakan salah satu faktor yang dapat menentukan kualitas hasil dari pengelasan gesek. Faktor yang menyebabkan nilai pengujian kekerasan dan uji tarik naik ataupun turun pada pengelasan gesek yaitu berdasarkan parameter kecepatan putar dengan kontribusi 87,8% waktu gesek dengan kontribusinya sebesar 0,96%, beban gesek sebesar 2,56%, dan beban tempa sebesar 8,70%. Dari persentase tersebut dapat disimpulkan beban tempa dan kecepatan putaran lebih dominan menentukan kualitas atau hasil pengelasan las gesek. Apabila kecepatan putaran dan beban tempa naik maka akan menyebabkan nilai kekerasan dan nilai kekuatan tarik semakin naik juga. Jadi, semakin tinggi nilai kekerasan maka semakin tinggi pula nilai UTS-nya begitupun sebaliknya. Hal ini menunjukkan bahwa nilai kekerasan berbanding lurus dengan nilai UTS (*Ultimate Tensile Strength*) (Imanudin, 2021).

2.13Aluminium

Aluminium merupakan unsur metal yang berlimpah di dalam kerak bumi (Nurhafid dkk., 2017). Aluminium memiliki banyak sifat menguntungkan, seperti: densitas rendah, konduktifitas listrik yang tinggi, konduktifitas panas yang tinggi, ketahanan oksidasi tinggi, *ductile* dan mudah dibentuk, mudah dilakukan pemesinan, *castable* dan *weldable* untuk banyak paduan, non-magnetik, tidak beracun, paling banyak diproduksi dengan daur ulang. Dengan

sifat menguntungkan ini aluminium banyak digunakan dalam berbagai bidang seperti rangka badan atau struktur rangka sayap pesawat terbang, kaleng kemasan makanan, rangka bangunan arsitek, dan alat elektronik (Irwansyah, 2015).

Aluminium merupakan logam yang reaktif sehingga mudah teroksidasi dengan oksigen membentuk lapisan aluminium oksida, alumina (Al_2O_3) dan membuatnya tahan korosi yang baik. Namun bila kadar Fe, Cu dan Ni ditambahkan akan menurunkan sifat tahan korosi karena kadar aluminya menurun. Penambahan Mg, Mn tidak mempengaruhi sifat tahan korosinya. Aluminium bersifat ulet, mudah dimesin dan dibentuk dengan kekuatan tarik untuk aluminium murni sekitar 4 - 5 kgf/mm^2 . Bila diproses penguatan regangan seperti dirol dingin kekuatan bisa mencapai $\pm 15 \text{ kgf/mm}^2$ (Safi'i, 2019).

Selain itu silicon akan meningkatkan sifat ketahanan korosi dan kekerasan paduan, tetapi kadar silicon yang tinggi akan mengakibatkan bahan menjadi rapuh. Aluminium adalah logam yang ringan dengan berat jenis 2,7 gram/cm^3 setelah Magnesium (1,7 gram/cm^3) dan Berilium (1,85 gram/cm^3) atau sekitar 1/3 dari berat jenis besi maupun tembaga. Konduktivitas listriknya 60% lebih dari tembaga sehingga juga digunakan untuk peralatan listrik. Selain itu juga memiliki sifat penghantar panas, memiliki sifat pantul sinar yang baik sehingga digunakan pula pada komponen mesin, alat penukar panas, cermin pantul, komponen industri kimia dan lain-lain (Safi'i, 2019).

Kekuatan mekanik pada aluminium dapat ditingkatkan dengan penambahan unsur pepadu seperti Cu, Mg, Zn, Mn, dan Ni. Unsur Cu pada paduan Al akan meningkatkan sifat mekanik, yaitu kekerasan maupun kekuatan tariknya namun menurunkan kemampuan corannya. Pepaduan dengan silicon akan memperbaiki tingkat kecairan (*fluidity*) dan menurunkan cacat penyusutan (*Shrinkage*) yang berpengaruh baik terhadap sifat mampu cor (*castability*) dan

mampu las (*weldability*). Aluminium memiliki sifat-sifat fisik seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.1 sebagai berikut (Safi'i, 2019) :

Tabel 2.1 Karakteristik Aluminium

Sifat – Sifat	Keterangan
Struktur Kristal	FCC
Densitas pada 20°C (sat. 103 kg/m ³)	2,698
Titik Cair	660,1
Koefisien mulur panas kawat 20°C – 100°C (10 ⁻⁶ /K)	23,9
Konduktifitas panas 20°C - 400°C (W/(mK))	238
Tahanan listrik 20°C (10 ⁻⁸ KΩ.m)	2,69
Modulus elastisitas (GPa)	70,5
Modulus kekakuan (GPa)	26

2.14 Klasifikasi Paduan Aluminium

Mengklasifikasikan paduan aluminium dalam tiga cara, salah satunya yaitu berdasarkan perlakuan panas dan tidak dapat diperlakukan panas dimana dengan klasifikasi ini aluminium dibagi kedalam delapan jenis yaitu sebagai berikut :

2.14.1 Jenis Al-Murni (seri 1000)

Jenis aluminium ini merupakan jenis aluminium dengan kemurnian antara 99,0% hingga 99,9%. Seri aluminium ini selain ketahanannya terhadap korosi, konduksi panas dan konduksi listrik juga memiliki sifat mekanik yang memuaskan dalam kemampuan lasnya, sedangkan kelemahannya adalah kekuatannya yang rendah (Rizki, 2018).

2.14.2 Jenis Al-Cu (seri 2000)

Jenis paduan ini adalah jenis yang dapat diberi perlakuan panas. Dengan deposit hardening atau plating dimana sifat mekanik paduan ini dapat menyamai sifat baja ringan tetapi ketahanan korosinya rendah dibandingkan dengan jenis paduan lainnya. Kemampuan lasnya kurang baik, biasanya jenis paduan ini biasanya digunakan pada konstruksi pesawat terbang (Rizki, 2018). Seri 2xxx adalah paduan dengan

tembaga. Terdiri dari paduan bernomor 2010 hingga 2029 (Safi'i, 2019).

2.14.3 Jenis Al-Mn (seri 3000)

Jenis yang tidak dapat diberi perlakuan panas sehingga peningkatan kekuatannya hanya dapat dilakukan melalui pengerjaan dingin dalam proses pembuatannya (Rizki, 2018). Seri 3xxx adalah paduan dengan mangan. Terdiri dari paduan bernomor 3003 hingga 3009 (Safi'i, 2019).

2.14.4 Jenis Al-Si (seri 4000)

Termasuk jenis yang tidak dapat diberi perlakuan panas, jenis ini dalam keadaan cair memiliki kemampuan alir yang baik, dan hampir tidak terjadi keretakan pada proses pembekuan. Karena sifat-sifatnya maka jenis paduan ini banyak digunakan sebagai bahan atau logam las dalam pengelasan paduan aluminium baik paduan cor maupun paduan tempa (Rizki, 2018). Seri 4xxx adalah paduan dengan silikon. Terdiri dari paduan bernomor 4030 hingga 4039 (Safi'i, 2019).

2.14.5 Jenis Al-Mg (seri 5000)

Paduan jenis ini termasuk paduan yang tidak dapat diberi perlakuan panas tetapi memiliki sifat ketahanan korosi yang baik, terutama korosi air laut dan kemampuan las yang baik. Jenis paduan ini banyak digunakan tidak hanya dalam konstruksi umum tetapi juga untuk tangki penyimpanan gas alam cair dan oksigen cair (Rizki, 2018). Seri 5xxx adalah paduan dengan magnesium. Terdiri dari paduan dengan nomor 5050 hingga 5086 (Safi'i, 2019).

2.14.6 Jenis Al-Mg-Si (seri 6000)

Jenis paduan ini termasuk dalam jenis yang dapat diperlakukan panas dan memiliki kemampuan las yang baik serta ketahanan korosi yang baik, namun pelunakan akan terjadi pada area las karena panas yang dihasilkan oleh las (Rizki, 2018). Seri 6xxx adalah paduan dengan silikon dan magnesium. Terdiri dari paduan dengan nomor 6061 hingga 6069 (Safi'i, 2019).

2.14.7 Jenis Al-Zn (seri 7000)

Paduan ini merupakan jenis yang dapat diberi perlakuan panas, biasanya Mg, Cu dan Cr ditambahkan pada paduan utama Al-Zn. Kekuatan tarik yang dapat dicapai lebih besar dari 50 kg/mm^2 . Oleh karena itu, paduan ini disebut juga ultra duralumin. Berbeda dengan kekuatan tariknya, kemampuan las dan ketahanan korosinya kurang baik (Rizki, 2018). Seri 7xxx adalah paduan dengan seng. Terdiri dari paduan dengan nomor 7070 hingga 7079 (Safi'i, 2019).

2.14.8 Seri 8xxx adalah paduan dengan lithium (Safi'i, 2019).

Perlu diperhatikan bahwa pengkodean aluminium untuk keperluan penempaan seperti di atas tidak berdasarkan pada komposisi paduannya, tetapi berdasarkan pada sistem pengkodean terdahulu, yaitu sistem Alcoa yang menggunakan urutan 1 sampai 79 dengan akhiran S, sehingga dua digit di belakang setiap kode pada pengkodean di atas diberi angka sesuai urutan Alcoa terdahulu. Pengecualian ada pada paduan magnesium dan lithium (Safi'i, 2019).

2.15 Sifat Mekanik Aluminium

Sifat teknik bahan aluminium murni dan aluminium paduan dipengaruhi oleh konsentrasi bahan dan perlakuan yang diberikan terhadap bahan tersebut. Aluminium terkenal sebagai bahan yang tahan terhadap korosi. Hal ini disebabkan oleh fenomena pasivasi, yaitu proses pembentukan lapisan aluminium oksida pada permukaan logam aluminium segera setelah logam terpapar oleh udara bebas. Lapisan aluminium oksida ini mencegah terjadinya oksidasi lebih jauh. Namun, pasivasi dapat terjadi lebih lambat jika dipadukan dengan logam yang bersifat lebih katodik, karena dapat mencegah oksidasi aluminium (Safi'i, 2019).

2.16 Aluminium 6061

Aluminium 6061 memiliki sifat mekanik yang unggul antara lain : memiliki bobot yang ringan, sifat mampu las yang baik, ketahanan korosi yang baik serta harganya yang tergolong murah. Akan tetapi, aluminium 6061 memiliki kekurangan dalam hal kekuatan (Dewi dkk., 2016). Biasanya tipe aluminium 6XXX diterapkan pada suku cadang dan alat otomotif konstruksi, karena memiliki sifat kemampuan kerja dan konduktivitas yang baik termal dan listrik yang baik (Nafi, 2016). Adapun komposisi dan sifat mekanik dari material aluminium 6061 ditunjukkan pada tabel 2.2 dan tabel 2.3 (Umroh dkk., 2013) :

Tabel 2.2 Komposisi Aluminium 6061

Si	Mg	Fe	Cu	Cr	Zn	Ti	Mn	Al
0,6496	0,929	0,7	0,2487	0.1014	0.1196	0.181	0.1129	Sisa

Tabel 2.3 Sifat Mekanik Aluminium 6061

Mechanical Properties	Nilai
Young Modulus	69 Gpa
tensile strength	124 Mpa - 290 Mpa
yield strength	55 Mpa
Elongation	25%–30%

2.17 Uji Tarik

Uji tarik dilakukan untuk melihat keuletan suatu material. Dengan menarik suatu bahan kita akan segera mengetahui bagaimana bahan tersebut bereaksi terhadap tenaga tarikan dan mengetahui sejauh mana material itu bertambah panjang. Proses pengujian tarik dilakukan dengan cara memberikan beban aksial secara berkelanjutan atau terus-menerus pada benda uji (spesimen) hingga putus (Rizki, 2018). Berikut adalah sifat-sifat yang dihasilkan oleh pengujian tarik :

2.17.1 Kekuatan tarik maksimum (σ)

Merupakan tegangan maksimum yang dapat ditanggung oleh material sebelum terjadinya perpatahan (*fracture*). Pada bahan yang bersifat getas, dimana tegangan maksimum itu merupakan sekaligus tegangan perpatahan (titik putus). Adapun kekuatan tarik maksimum (σ) dapat dirumuskan seperti berikut ini :

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

- σ = Tegangan tarik maksimum (Mpa atau N/mm^2)
- P = Beban Maksimum (N)
- A_0 = Luas Penampang Mula-mula (mm^2)

2.17.2 Regangan maksimum (e)

Regangan maksimum (e) diukur sebagai penambahan panjang ukur setelah perpatahan terhadap panjang awalnya. Regangan maksimum (e) dapat dirumuskan seperti sebagai berikut :

$$e = \frac{L_i - L_0}{L_0} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

- L_i = Panjang sesudah patah (mm)
- L_0 = Panjang mula-mula (mm)
- e = Regangan (%)

2.17.3 Modulus elastisitas (E)

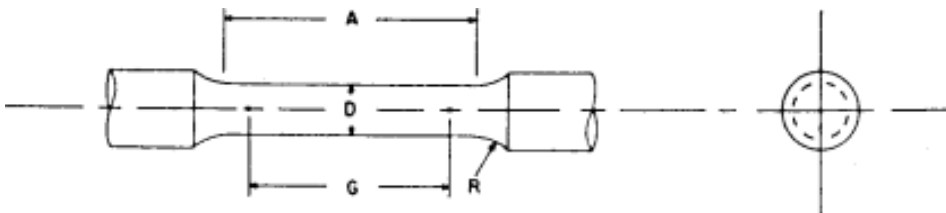
Modulus elastisitas (E) merupakan ukuran kekakuan suatu material pada grafik tegangan-regangan, modulus kekakuan tersebut dapat dihitung dari slope kemiringan garis elastis yang linier seperti pada rumus berikut ini :

$$E = \frac{\sigma}{e} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan :

- E = Modulus elastisitas (Gpa atau KN/mm^2)
- σ = Tegangan Maksimum (Mpa atau N/mm^2)
- e = Regangan (%)

Pengujian tarik dapat menunjukkan beberapa fenomena perpatahan ulet dan getas, perpatahan ini dapat dilihat dengan mata telanjang. Perpatahan getas memiliki ciri-ciri yang berbeda dengan patah ulet, yaitu tidak ada atau sedikit sekali terjadi deformasi plastis pada material. Patahannya merambat sepanjang bidang (Nurhafid dkk., 2017). Adapun standar uji tarik yang digunakan pada penelitian ini adalah ASTM E8/E8M – 13a dengan ketentuan ukuran yang ditunjukkan pada gambar 2.5 sebagai berikut (*Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*) :



Dimensions, mm [in.]					
For Test Specimens with Gauge Length Four times the Diameter [E8]					
Standard Specimen	Small-Size Specimens Proportional to Standard				
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
G—Gauge length	50.0 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	36.0 ± 0.1 [1.400 ± 0.005]	24.0 ± 0.1 [1.000 ± 0.005]	16.0 ± 0.1 [0.640 ± 0.005]	10.0 ± 0.1 [0.450 ± 0.005]
D—Diameter (Note 1)	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	9.0 ± 0.1 [0.350 ± 0.007]	6.0 ± 0.1 [0.250 ± 0.005]	4.0 ± 0.1 [0.160 ± 0.003]	2.5 ± 0.1 [0.113 ± 0.002]
R—Radius of fillet, min	10 [0.375]	8 [0.25]	6 [0.188]	4 [0.156]	2 [0.094]
A—Length of reduced section, min (Note 2)	56 [2.25]	45 [1.75]	30 [1.25]	20 [0.75]	16 [0.625]

Gambar 2.5 Spesimen Uji Tarik ASTM E8/E8M -13a

Sumber : (*Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*)

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Adapun tempat dan waktu dilaksanakannya penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

3.1.1 Tempat Penelitian

Proses penelitian melibatkan tempat yang berbeda sesuai dengan tahapan pengerjaan yang dilakukan antara lain:

- a. Proses pengelasan dilaksanakan di lab Produksi Jurusan Teknik Mesin, fakultas Teknik, Universitas Lampung dan bengkel las Politeknik Negeri Semarang.
- b. Pengujian uji tarik dilaksanakan di lab material jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

3.1.2 Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan februari 2022 sampai dengan Januari 2023.

3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

3.2.1 Aluminium 6061

Adapun komposisi dan sifat mekanik dari material aluminium 6061 ditunjukkan pada tabel 3.1 dan tabel 3.2 :

Tabel 3.1 Komposisi Aluminium 6061

Si	Mg	Fe	Cu	Cr	Zn	Ti	Mn	Al
0,6496	0,929	0,7	0,2487	0.1014	0.1196	0.181	0.1129	Sisa

Tabel 3.2 Sifat Mekanik Aluminium 6061

Mechanical Properties	Nilai
Young Modulus	69 Gpa
tensile strength	124 Mpa - 290 Mpa
yield strength	55 Mpa
Elongation	25%–30%

3.2.2 Mesin Bubut

Adapun spesifikasi mesin bubut yang digunakan dalam proses pengelasan gesek antara lain sebagai berikut:

Merk	: PINACHO
Type	: S-90/200
Penyerahan	: 22-8-2000
Buatan	: SPAIN, JULY 1999
Main motor power	: 4 Kw
Pump Motor Power	: 0.06 Kw
Central High	: 200 mm
Central Distance	: 750 – 1150 mm
Swing Over Bed	: 400 mm
Swing Over Grap	: 600 mm
Swing Over Carriage	: 370 mm
Swing Cross Slide	: 210 mm
Bed width	: 300 mm

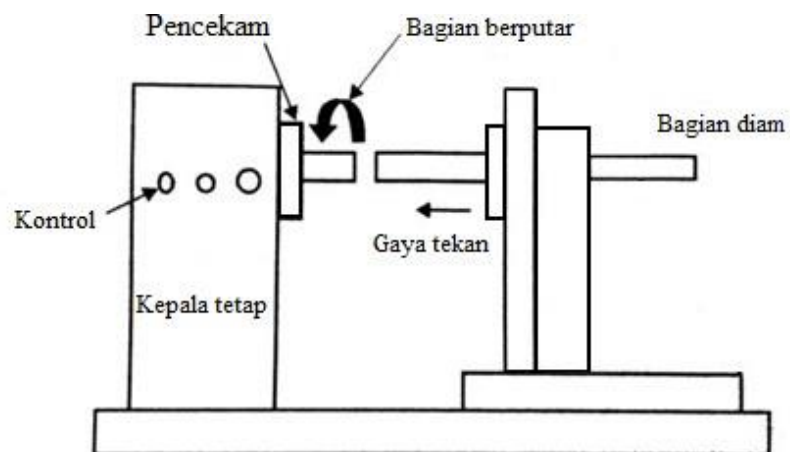
Mesin bubut yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.1 sebagai berikut :



Gambar 3.1 Mesin Bubut

3.2.3 Las Gesek

Alat las gesek yang digunakan adalah alat las gesek dengan penggerak motor maju mundur berbasis pengendali otomatis. Sketsa alat las gesek ini ditunjukkan pada gambar 3.2 sebagai berikut :



Gambar 3.2 Sketsa Alat Las Gesek

Sumber : (Andriyanto., 2019)

3.2.4 Mesin Uji Tarik

Untuk mengetahui kekuatan tarik dari sambungan lasan, spesimen diuji dengan mesin uji tarik MTS Landmark berkapasitas 100 KN. Adapun spesifikasi mesin MTS Landmark 100kN sebagai berikut :

Merk : MTS

Landmark Kapasitas : 100 kN Tipe

: U PD 10

Tahun 2015

Memiliki tiga skala pengukuran beban yaitu :

A = 0 s/d 20 kN

A+B = 0 s/d 50 kN

A+B+C = 0 s/d 100 k

Adapun gambar dari mesin uji tarik ditunjukkan pada gambar 3.3 sebagai berikut :



Gambar 3.3 Mesin Uji Tarik

3.3 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian yang digunakan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

3.3.1 Prosedur Pengelasan Gesek

Adapun prosedur pengelasan gesek pada tugas akhir ini antarlain sebagai berikut :

- a. Mempersiapkan terlebih dahulu spesimen uji, alat *Friction Welding*, dan seperangkat elektronika alat *Friction Welding*.
- b. Meletakkan alat *Friction Welding* keatas meja mesin bubut dan pastikan rel mesin bubut dalam keadaan bersih.
- c. Mengatur jarak pada alat ke *Spindle* yang diperlukan dalam pengelasan.
- d. Mengunci dudukan alat yang terletak dibagian depan dan belakang alat.
- e. Memasang elektronika alat dan menghubungkan ke daya listrik.
- f. Menyambungkan kebel dinamo dan sensor kabel ke *Power Supply*.
- g. Mengatur ketinggian alat dengan *Spindle* mesin bubut.
- h. Memasang benda kerja yang akan di uji dan pastikan terkunci dengan kuat dan juga pastikan kembali benda kerja dalam keadaan sejajar.
- i. Mengatur kedua benda kerja pada *Chuck* dan *Friction Welding* sampai benar-benar sentris dengan sumbu dan tidak miring.
- j. Menghidupkan alat *Friction Welding*.
- k. Mengkalibrasi sensor tekan dengan menggunakan tombol kontrol pada alat *Friction Welding* hingga tanda bunyi menyala, dan atur angka parameter tekanan dalam posisi nol.
- l. Meng-input parameter yang digunakan ke dalam program alat *Friction Welding*.
- m. Mengatur kecepatan *Spindle* mesin bubut yang dibutuhkan.
- n. Menghidupkan mesin bubut.
- o. Menjalankan alat *Friction Welding* dengan menekan tombol run.
- p. Menunggu beberapa saat benda mengalami gesekan hingga mengalami cair pada permukaannya.
- q. Mencatat peningkatan suhu yang terjadi dengan kamera termal.
- r. Matikan spindle mesin bubut setelah tanda bunyi dari alat *Friction Welding* terdengar.

- s. Melepaskan benda kerja dari *spindle*.
- t. Menekan tombol push button mundur pada elektronika untuk menarik benda kerja mundur dan mengembalikan keposisi awal.
- u. Melepaskan benda kerja yang terkunci pada alat dan mengambil benda kerja yang panas dengan kain serta melihat hasil pengujian.
- v. selesai.

3.3.2 Prosedur Pengujian Tarik

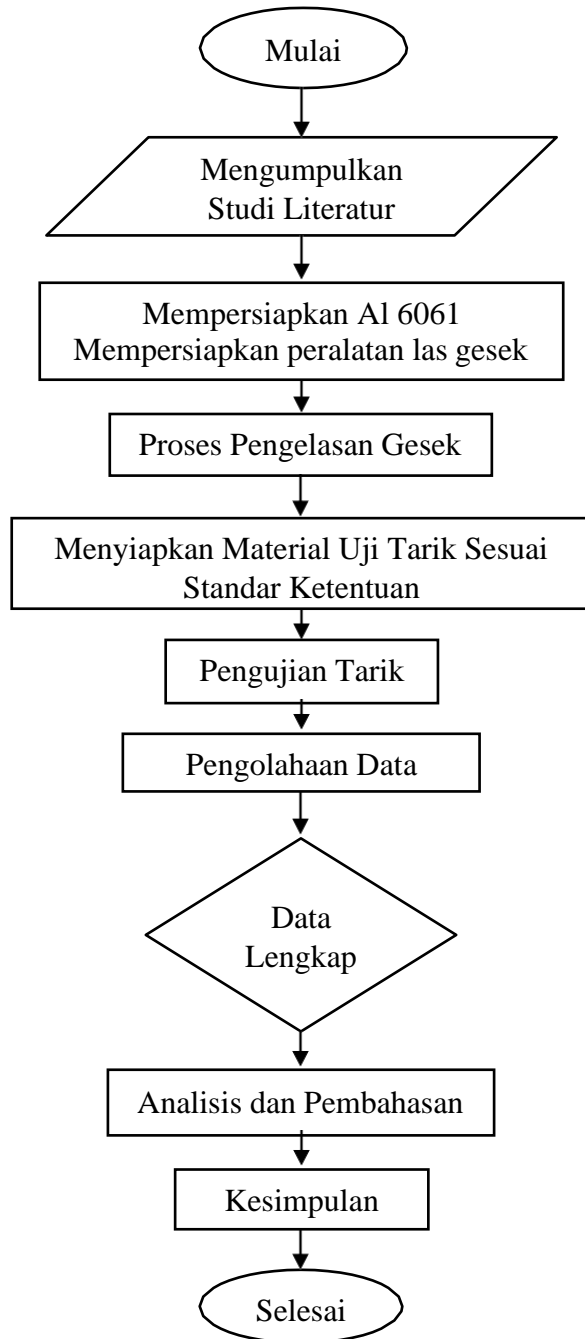
Adapun prosedur pengujian tarik pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Menyiapkan spesimen uji tarik sesuai dengan standard ASTM E8.
- b. Menghidupkan *Chiller* dan HPU (*Hydraulic Power Unit*).
- c. Menghidupkan MTS *Landmark* 100 kN dan temperatur kontroler.
- d. Menghidupkan lampu penerang pada MTS *Landmark* 100 kN.
- e. Membuka program *Station Manager* lalu memilih file Project 2021 dan *configuration file* tanpa Extensometer yaitu *Axial Basic* lalu klik *open*.
- f. Pada *station manager* klik ceklist pada *Exclusive Control* lalu pada *manual command* ceklist pada *Enable Manual Command*.
- g. Pada *station manager* di *controls detector* ubah *Upper Action* pada *axial displacement* dari *interlock* ke *disable* lalu klik *reset* pada *interlock 1* di *station manager*.
- h. Lalu klik *HPU power low* dan tunggu hingga lampu kuning pada tombol berhenti berkedip, kemudian klik *HPU power high* dan tunggu beberapa detik. Lalu melakukan hal yang sama pada HSM, klik *HSM power low* dan tunggu beberapa saat, lalu terakhir klik *HSM power high*.
- i. Pada *manual command* setelah posisi *actuator* terdeteksi, lalu klik posisi *actuator* sedikit untuk membuka katup, setelah posisi *actuator* aman terhadap cross head grip atas aman, maka selanjutnya menaikan *actuator* ke posisi nol (*zero*).

- j. Pada *detector*, ubah *upper action* ada *axial displacement* dari *disable* ke *interlock*.
- k. Membuka *software MTS Test Suite (MPE)*, memilih *template* untuk *Tensile Test 10*.
- l. Pasang spesimen pada *cross head grip* atas dengan rapi kemudian spesimen dicekam.
- m. Kemudian *cross head* diturunkan sampai ujung bawah spesimen masuk kedalam *grip* bawah dengan kedalaman 45 mm atau sesuai dengan solatip yang digunakan untuk *grip* spesimen.
- n. Meluruskan *grip* bawah sesuai dengan *grip* atas, lalu pada *manual command*, klik *control mode* dan ganti *displacement* ke *force* dan *grip* bagian bawah dicekam.
- o. Kemudian *reset* pada *interlock 1 station manager* dan *un-ceklist enable manual command* pada *manual command*.
- p. Klik *new test run* pada *software MTS Test Suite*, dan mengatur *setup variables tensile test* yaitu dengan memasukkan data panjang spesimen, *gauge length*, dan diameter, juga memasukkan data *initial speed* dan *secondary speed* (mm/s).
- q. Kemudian klik *OK* dan *Run Test*.

3.4 Diagram Alir

Adapun diagram alir yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.4 sebagai berikut:



Gambar 3.4 Diagram Alir

3.5 Pengambilan Data Uji Tarik

Dalam pengujian tarik diperoleh hasil seperti kekuatan tarik atau tegangan maksimum, temperatur yang diperoleh pada saat dilakukan pengelasan gesek serta posisi patahan pada spesimen uji tarik. Adapun data yang diperoleh dapat ditunjukkan pada tabel 3.3 sebagai berikut :

Tabel 3.3 Data Hasil Uji tarik

No.	Kec. Putaran (Rpm)	Lama Waktu (detik)	Beban Tempa (Kg)	Tegangan Maksimum (MPa)	Posisi Patah
1.	1000	3	4		
2.	1200				
3.	1300				
4.	1400				
5.	1500	6	6		
6.	1600				
7.	1700				
8.	1800				
9.	Base Metal				

V. PENUTUP

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil analisa dari pengujian tarik maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Hasil yang diperoleh dari pengujian tarik yang telah dilakukan yaitu nilai tegangan maksimum tertinggi pada variasi kecepatan putaran 1500 Rpm dengan beban tempa 6 kg sebesar 211.8774 MPa. Dan yang memiliki nilai tegangan maksimum terendah yaitu pada variasi kecepatan putaran 1700 Rpm dengan beban tempa 6 kg nilai 192.2861 MPa.
2. Seluruh material uji tarik yang telah dilakukan pengelasan gesek (*friction welding*) terlebih dahulu, berdasarkan beberapa variasi yang digunakan diperoleh hasil yang memuaskan atau sukses karena patahan tidak terjadi di area lasan (*weld zone*).
3. Kecepatan putaran dan beban tempa pengelasan gesek (*friction welding*) sangat mempengaruhi kualitas dari hasil lasan dan nilai tegangan maksimumnya. Akan tetapi bukan berarti semakin besar nilai kecepatan putaran dan beban tempa akan semakin baik hasil pengelasan gesek. Karena apabila semakin besar nilai kecepatan putaran dan beban tempa pada proses pengelasan gesek maka akan menyebabkan temperatur akan semakin tinggi, apabila temperatur terlalu tinggi akan menyebabkan material akan meleleh (*melting*) secara berlebihan.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk penelitian selanjutnya lebih baik menggunakan pengujian tarik dan pengujian struktur mikro untuk mengetahui karakteristik hasil uji tarik tiap variasi berdasarkan struktur mikronya. Dan menggunakan 2 sampel uji tiap variasi bertujuan sebagai pembandingan.
2. Untuk penelitian selanjutnya bisa menggunakan alat las gesek Laboratorium Produksi yang berada di Teknik Mesin Universitas Lampung untuk memperoleh perbandingan hasil pengelasannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Alian, H. dan Fadhil, M. 2019. Pengaruh Variasi Arus Listrik pada Proses Pengelasan Aluminium 5083 dengan Menggunakan Las GTAW Terhadap Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro. Skripsi. Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sriwijaya.
- Anggraini, L. dan Saputra, B.S. 2019. Sifat Mekanis dan Struktur Mikro pada Sambungan Las Gesek Baja SCM415H Untuk Aplikasi Poros Roda Belakang Mobil. Rekayasa Mesin. Vol.10, No. 2.
- Dewi, M., Alhamidi, A.A. dan Fitrullah, M. 2016. Studi mikrostruktur dan sifat mekanik Aluminium 6061 melalui proses canai dingin dan aging. Jurnal Furnace. Vol. 2, No. 1.
- Dzulfikar, M., Purwanto, H. dan Munif, M.A. 2020. Pengaruh Tekanan terhadap Sifat Mekanik dan Mikrostruktur pada Sambungan Las Gesek Aluminium AA1100. Seminar nasional teknoka. Vol. 5, No. 2502-8782 .
- Haryanto, P., Ismail, R., Jamari dan Nugroho, S. 2011. Pengaruh Gaya Tekan, Kecepatan Putar, dan Waktu Kontak pada Pengelasan Gesek Baja ST60 Terhadap Kualitas. Seminar Nasional Sains dan Teknologi. Fakultas Teknik, Universitas Wahid Hasyim Semarang.
- Haryanto, P., Suharto., Haryanto. dan Purbono, K. 2021. Peningkatan Keterampilan Dalam Bidang Las Dengan Menggunakan Teknologi Las Gesek Bagi Masyarakat Pelaku Bidang Las di Semarang. SITECHMAS (Hilirisasi Technology kepada Masyarakat). Vol. 2 No.1.
- Husodo, N., Luwar, B., Astono, H., Bangun, S. dan Hidayat, R. 2015. Analisa Kekuatan Sambungan Pipa Baja Karbon dan Besi Cor Berbasis Teknologi Las Gesek (*Friction Welding*). Jurnal Energi dan Manufaktur. Vol.8, No.2.
- Husodo, N., Sanyoto., B.L., Setyawati, A.B. dan Mursid, M. 2013. Penerapan Teknologi Las Gesek (*Friction Welding*) dalam Rangka Penyambungan Dua Buah Logam Baja Karbon St41 pada Produk Back Spring Pin. Jurnal Energi dan Manufaktur. Vol. 6, No. 1.
- Imanudin, R. 2021. Aplikasi Metode Taguchi Untuk Optimasi Parameter Pengelasan Gesek pada Aluminium 6061 Terhadap Kekuatan Sambungan Las. Skripsi. Jurusan Teknik Mesin, Universitas Lampung.

- Irwansyah. 2015. Pengaruh Temperatur, Panjang Upset, dan Bentuk Flash terhadap Kekuatan Tarik pada Penyambungan Aluminium dengan Metode Las Gesek. UG Jurnal Vol. 9 No. 5.
- Lamidi, M.M.A. 2020. Pengaruh Gaya Tekan Terhadap Kekuatan Bending Pengelasan Gesek Baja ST60. Skripsi. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Malang.
- Nafi, M. 2016. Analisis Kekerasan AL-6061 Hasil Cor dengan Perlakuan Panas Double Quenching. Mekanika, Jurnal Teknik Mesin. Vol. 2, No. 2.
- Nurhafid, A., Jokosisworo, S. dan Budiarto, U. 2017. Analisa Pengaruh Perbedaan Feed Rate Terhadap Kekuatan Tarik dan Impak Aluminium 6061 Metode Pengelasan Friction Stir Welding. Jurnal Teknik Perkapalan. Vol. 5, No. 2.
- Putra, A.D., Purwanto, H. dan Syafa'at, I. 2020. Analisis Sifat Fisik dan Mekanik pada Sambungan Las Gesek Dua Jenis Material Aluminium dan Tembaga dengan Variasi Putaran. Jurnal Momentum. Vol. 16, No. 1.
- Putra, I. dan Arwizet. 2019. Analisis Kekuatan Tarik dan Impact Hasil Sambungan Las Gesek pada Baja ST37. *Journal of Multidisciplinary Research and Development*. Vol. 1, No.4.
- Putra, N.D.T. 2019. Pengaruh Variasi Waktu Gesek pada Pengelasan Gesek (*Friction Welding*) Terhadap Kekuatan Tarik Baja AISI 1045. Skripsi. Jurusan Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Malang.
- Rizki, A.M. 2018. Analisis Pengaruh Variasi Elektroda Pada Pengelasan Aluminium 5083 Dengan 6061 Terhadap Sifat Mekanik, Struktur Mikro, dan Prediksi Korosi. Tugas Akhir. Departemen Teknik Kelautan, fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Romadhoni, M.K. 2016. Pengaruh Kecepatan Putar *Tool* Terhadap Kekuatan Mekanik Sambungan Las Aluminium 1xxx Ketebalan 2 mm dengan Metode Friction Stir Welding. Skripsi. Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Safi'I, I. 2019. Analisis Pengaruh Variasi Temperatur dan Waktu Aging pada Hasil Pengecoran AL-Cu Terhadap Kekerasan. Tugas Akhir. Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya.
- Sai'in, A. dan Muzaki, M. 2020. Pengaruh Kecepatan Putar, Gaya Gesek dan Waktu Gesek Terhadap Struktur Mikro dan Laju Korosi Hasil Pengelasan Proses Las Gesek Material Berbeda Baja SUH 3 dan SUH 35. Jurnal Rekayasa Mesin. Vol.15, No.1.

- Sanyoto, B.L., Husodo, N., Setyawati, S.B. dan Mursid, M. 2012. Penerapan Teknologi Las Gesek (*Friction Welding*) Dalam Proses Penyambungan Dua Buah Pipa Logam Baja Karbon Rendah. *Jurnal Energi dan Manufaktur*. Vol.5, No.1.
- Satyadianto, D. 2015. Pengaruh Variasi Tekanan Gesek, Tekanan Tempa dan Durasi Gesek Terhadap Kekuatan *Impact* pada Sambungan Las Gesek (*Friction Welding*) dengan Menggunakan Baja Paduan AISI 4140. Tugas Akhir. Jurusan teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.
- Solihin., Sukmana, I. dan Ummah, K. 2017. Pengaruh waktu kontak terhadap kualitas sambungan hasil las gesek (*Friction Welding*) Magnesium AZ-31. *Jurnal Energi dan Manufaktur*. Vol. 10 No. 1.
- Subiyanto, H., Subowo., Gathot. dan Hadi, S. 2016. Studi Eksperimen Pengaruh Durasi Gesek, Tekanan Gesek Dan Tekanan Tempa Pengelasan Gesek (FW) Terhadap Kekuatan Tarik dan Impact Pada Baja Aisi 1045. SENIATI. Institut Teknologi Nasional Malang.
- Suhendar, A. Mawardi. dan Ibrahim, A. 2020. Pengaruh durasi waktu pengelasan pada proses las gesek terhadap sifat mekanik material AISI 1045. *Journal of Welding Technology*. Vol. 2, No. 2.
- Sukmana, I. dan Sustiono, A. 2016. Pengaruh Kecepatan Putar Indentor Las Gesek Puntir (*Friction Stir Welding*) Terhadap Kualitas Hasil Pengelasan Aluminium 1100-H18. *Jurnal Mechanical*. Vol. 7, No. 1.
- Umroh, B., Yunus, S.M. dan Basri, S. 2013. Pemesinan Laju Tinggi dan Pemesinan Kering Menggunakan Pahat Karbida pada Bahan Aluminium 6061. *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 14, No. 2.
- Wicaksana, H., Mulyadi, S. dan Syuhri, A. 2016. Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Sambungan Las Aluminium 6061 Hasil *Friction Welding*. *Jurnal Rotor*. Vol. 9, No. 1.