

**ANALISIS KEKUATAN TARIK PADA HASIL LAS MAGNESIUM AZ31
DAN BESI PLAT KS ST37 MENGGUNAKAN LAS GESEK *STUD*
(*FRICTION STUD WELDING*)**

(SKRIPSI)

Oleh

AHMADI MOESA ALJUNDI

1715021045



**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG**

2023

ABSTRAK

ANALISIS KEKUATAN TARIK PADA HASIL LAS MAGNESIUM AZ31 DAN BESI PLAT KS ST37 MENGGUNAKAN LAS GESEK *STUD* (*FRICTION STUD WELDING*)

OLEH

AHMADI MOESA ALJUNDI

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan hasil pengelasan dengan metode *friction stud* welding dan menggunakan pengujian uji tarik untuk menganalisis kekuatan las itu sendiri. Penelitian ini menggunakan spesimen berupa Magnesium AZ31 dan Besi plat KS ST37, dengan menggunakan kecepatan putaran sebesar 2200 Rpm dan menggunakan variasi sudut chamfer 45° dan tidak menggunakan sudut chamfer. *Friction stud welding* adalah salah satu teknik pengelasan dimana sebuah stud atau baut disatukan dengan bahan dasar dengan menggunakan gesekan dan tekanan yang tinggi. Proses ini melibatkan penggesekan *stud* dan material dasar dengan kecepatan tinggi hingga menimbulkan gesekan yang memanaskan material sehingga membentuk sambungan yang kuat.

Dari penelitian ini diperoleh hasil pengujian tarik yaitu diperoleh nilai tegangan maksimum tertinggi pada variasi kecepatan putar 2200 Rpm dan menggunakan sudut chamfer 45° sebesar 1.164 Mpa dan yang memiliki nilai tegangan maksimum terendah yaitu pada variasi kecepatan putar 2200 Rpm dengan tidak menggunakan sudut chamfer sebesar 0.699 Mpa.

Kata kunci : *Magnesium AZ31*, Besi ST37, Pengelasan gesek *stud*, uji tarik.

ABSTRACTION***ANALYSIS OF TENSILE STRENGTH IN WELDING RESULTS OF
MAGNESIUM AND AZ31 IRON PLATE KS ST37 USING FRICTION
STUD WELDING METHOD******By:*****AHMADI MOESA ALJUNDI**

This study aims to research, determine and analyze the strength of welding results using the friction stud welding method and also using tensile strength testing to analyze the strength of the weld itself. This research used specimens in the form of Magnesium AZ31 and Iron plate KS ST37, using a rotational speed of 2200 RPM and using a chamfer angle variation of 45° and not using a chamfer angle. Friction stud welding is a welding technique where a stud or bolt is joined to a base material using high friction and pressure. This process involves rubbing the stud and base material at high speed until it creates a friction that heat up the material, thus forming a strong connection.

From this research, the results of the tensile test were obtained, namely that the highest maximum stress value was obtained at a rotational speed variation of 2200 Rpm and using a 45° chamfer angle of 1.164 Mpa and the one with the lowest maximum stress value was at a rotational speed variation of 2200 Rpm without using a chamfer angle of 0.699 Mpa.

Keyword : *Magnesium AZ31, Besi ST37, Friction Stud Welding, Tensile Test*

**ANALISIS KEKUATAN TARIK PADA HASIL LAS MAGNESIUM AZ31
DAN BESI PLAT KS ST37 MENGGUNAKAN LAS GESEK *STUD*
(*FRICTION STUD WELDING*)**

Oleh

Ahmadi Moesa Aljundi

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul Skripsi

**ANALISIS KEKUATAN TARIK PADA
HASIL LAS MAGNESIUM AZ31 DAN
BESI PLAT KS ST37 MENGGUNAKAN
LAS GESEK *STUD* (*FRICTION STUD
WELDING*)**

Nama Mahasiswa

Ahmadi Moesa Aljundi

Nomor Pokok Mahasiswa

1715061045

Jurusan

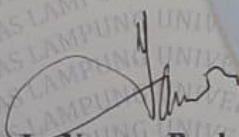
Teknik Mesin

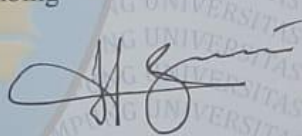
Fakultas

Teknik

MENYETUJUI

1. **Komisi Pembimbing**


Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T.
NIP 196405062000031001

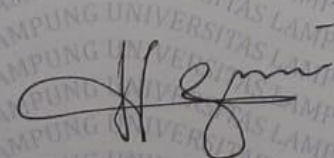

Ir. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D.
NIP 197108171998021003

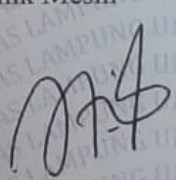
2.

Mengetahui

**Ketua Jurusan
Teknik Mesin**

**Ketua Program Studi
Teknik Mesin**

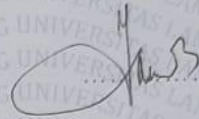

Ir. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D.
NIP 197108171998021003


Novri Tanti, S.T., M.T.
NIP 197011041997032001

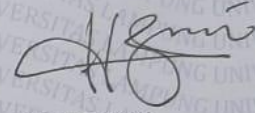
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

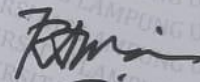
Ketua : Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T.



Sekretaris : Ir. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D.



Penguji : Prof. Ir. Irza Sukmana, S.T., M.T., Ph.D., IPU.



2. Dekan Fakultas Teknik



Belmy Fitriawan, S.T., M.Sc.

NIP 197509282001121002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 19 Desember 2023

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini, menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul “ANALISIS KEKUATAN TARIK PADA HASIL LAS MAGNESIUM AZ31 DAN BESI PLAT KS ST37 MENGGUNAKAN LAS GESEK *STUD (FRICTION STUD WELDING)* ” merupakan hasil karya sendiri dan bukan hasil karya orang lain. Semua hasil yang tertuang dalam skripsi ini telah mengikuti kaidah penulisan karya ilmiah Universitas Lampung. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa skripsi ini merupakan salinan atau dibuat oleh orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 1 Januari 2024

Yang membuat pernyataan,



Ahmadi Moesa Aljundi

NPM. 1715021045

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 20 February 1998. Penulis merupakan anak kesembilan dari sepuluh bersaudara dari pasangan Bapak Drs. Madrus MGS. dan Ibu Farida Aryani.

Penulis memulai jenjang pendidikandari TK Robbi Rodhiya, SDIKT Robbi Rodhiya dan lulus pada tahun 2010, MTS Al-Muhsin Metro dan lulus padatahun 2013, MA Nurul Hadid dan lulus padatahun 2016 dan ditahun

2017 diterima pada Program Studi Teknik Mesin Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN.

Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah mengikuti organisasi HIMATEM pada bagian kepala Hubungan Masyarakat. Penulis melaksanakan Kerja Praktek (KP) di PLTU Tarahan Lampung Selatan, Pada bulan September-Oktober 2020. Penulis juga melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Sabah Balau, Kecamatan Tanjung Bintang, Kabupaten Lampung Selatan pada tahun 2020. Pada Skripsi ini penulis melaksanakan penelitian dengan judul “ANALISIS KEKUATAN TARIK PADA HASIL LAS MAGNESIUM AZ31 DAN BESI PLAT KS ST37 MENGGUNAKAN LAS GESEK *STUD (FRICTION STUD WELDING)*” dibawah bimbingan Bapak Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T. Dan Ir. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D. dan pembahas Prof. Ir. Irza Sukmana, S.T., M.T., Ph.D., IPU.

Bandar Lampung, 1 January 2024

AHMADI MOESA ALJUNDI

MOTTO

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya...”

(Q.S. Al-Baqarah Ayat 286)

“Dan nikmat Tuhan mana lagi yang kamu dustakan.”

(Q.S. Ar-Rahman)

“Saat kamu bersantai-santai ada jutaan bahkan miliaran orang yang mencoba mengambil posisimu kelak dimasa depan.”

“Karena sesungguhnya orang-orang ada dalam kerugian, kecuali dia yang berilmu. Dan orang-orang yang berilmu ada dalam kerugian, kecuali dia yang beramal dengan ilmunya. Dan orang-orang yang beramal dengan ilmunya ada dalam kerugian, kecuali dia yang ikhlas dalam amalannya.”

Saat kamu berpikiran bisa ataupun tidak bisa, maka kamu bisa keduanya.

(Henry Ford)

Semua orang memiliki modal awal yang sama, yaitu waktu 24 jam.

(William Tanuwijaya)



Sujud syukur kupersembahkan kepadaMu ya Allah, Tuhan Yang Maha Agung dan Maha Tinggi. Atas takdirMu saya bisa menjadi pribadi yang berpikir, berilmu, beriman dan bersabar. Semoga keberhasilan ini menjadi satu langkah awal untuk masa depanku, dalam meraih cita-cita.

**KUPERSEMBAHKAN KARYA ILMIAH INI
TERUNTUK:**

“Papah Drs. Madrus MGS dan mamah Farida aryani terimakasih atas kasih sayang yang berlimpah dari mulai saya lahir, hingga saya sudah sebesar ini, limpahan doa yang tak berkesudahan, serta pengorbanan dan segala hal yang telah kalian lakukan.

Kelak cita-cita saya ini akan menjadi persembahyang paling mulia untuk Papah dan Mamah, dan semoga dapat membahagiakan kalian.”

“Terimakasih selanjutnya untuk seluruh kakak dan Keluarga tercinta saya yang luarbiasa, dalam memberi dukungan dan doa yang tanpa henti yang selama ini sudah menjadi penyemangat bagi saya, terima kasih atas waktu dan pengorbanan yang telah kalian berikan. Serta yang selalu memberikan semangat dan bantuan kapan pun ketika saya dalam kesulitan.”

“Terima kasih juga yang tak terhingga untuk para dosen pembimbing, Bapak/Ibu yang dengan sabar membimbing saya selama ini. Terima kasih juga untuk semua pihak yang mendukung keberhasilan skripsi saya yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu.”

“Ucapan terima kasih ini saya persembahkan juga untuk seluruh teman-teman saya di Jurusan Teknik Mesin angkatan 2017. Terima kasih untuk memori yang kita rajut setiap harinya, atas tawa yang setiap hari kita miliki, dan atas solidaritas yang luar biasa.”

SANWACANA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan sebagai salah satu syarat untuk meraih gelar Sarjana Teknik Pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung. Skripsi ini berjudul “ANALISIS KEKUATAN TARIK PADA HASIL LAS MAGNESIUM AZ31 DAN BESI PLAT KS ST37 MENGGUNAKAN LAS GESEK *STUD (FRICTION STUD WELDING)* ”.

Penulis menyadari dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari peranan dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih

kepada:

1. Kedua orang tua serta kakak-kakak yang selalu memberikan doa, dukungan, motivasi serta nasihat yang baik bagi penulis
2. Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A.IPM selaku Rektor Universitas Lampung;
3. Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung beserta staff dan jajarannya.
4. Bapak Ir. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D. sebagai ketua jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
5. Bapak Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T sebagai dosen pembimbing satu yang selalu memberikan pengarahan dan bimbingan dalam menyelesaikan skripsi.
6. Bapak Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D. sebagai dosen pembimbing dua yang memberikan saran-saran perbaikan, nasihat serta motivasi hingga skripsi ini dapat terselesaikan.

7. Prof. Ir. Irza Sukmana, S.T., M.T., Ph.D., IPU pembahas yang telah memberikan nasihat, motivasi, dan kritik sertamasukan positif dalam penyelesaian skripsi
8. Seluruh dosen dan Staff Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik yang telah mendidik, memberikan ilmu dan nasihat selama penulis menempuh pendidikan.
9. Mas agus, mas supono dan seluruh partner Lab Produksi yang memberikan dukungan dan semangat dalam menyelesaikan skripsi ini
10. Seluruh teman-teman Teknik Mesin Angkatan 2017 yang telah mendukung penulis untuk melaksanakan skripsi sampai selesai

Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca pada umumnya dan khususnya teman-teman Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Selain itu, penulis menyadari bahwa penulisan Skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran sebagaimasukan untuk penyempurnaan penulisan ini dimasa mendatang.

Bandar Lampung, 1 January 2024

AHMADI MOESA ALJUNDI

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan Penelitian	4
C. Batasan Masalah	4
D. Sistematika Penulisan	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	7
A. Pengertian Pengelasan	7
B. Klasifikasi Pengelasan	7
C. Pengelasan Gesek (<i>Friction Welding</i>).....	11
D. <i>Friction Stud Welding</i>	12
E. Prinsip Pengelasan <i>Stud Welding</i>	13
F. Karakteristik Sambungan Pengelasan Pada Proses Pengelasan Gesek <i>Friction Stud Welding</i>	15
G. Parameter Dalam Pengelasan <i>Stud</i> Gesek (<i>Friction Stud Welding</i>).....	16
H. Kelebihan dan Kekurangan <i>Friction Stud Welding</i>	19
I. Pengujian Kekuatan Uji Tarik	19
J. Detail Profil Uji Tarik dan Sifat Mekanik Logam	23
K. <i>Magnesium AZ31</i>	26
L. Besi Plat KS ST 37	28
III. METODOLOGI PENELITIAN	34
A. Tempat dan Waktu Penelitian	34
B. Alat dan Bahan	34
C. Prosedur Penelitian	40
D. Metode Penelitian	41
E. Diagram Alur Penelitian	42
F. Pengambilan Data	43

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	44
A. Hasil Pengujian	44
B. Analisa Data Uji Tarik	54
V. PENUTUP	61
A. Simpulan	61
B. Saran	61
DAFTAR PUSTAKA	62

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Sifat Mekanik Mgnesium AZ31.....	26
2.2 Sifat Fisik Magnesium AZ31.....	28
2.3 Sifat Fisik Besi ST37.....	28
2.4 Sifat Mekanik Besi ST37.....	30
3.1 Waktu Pelaksanaan Penelitian.....	34
3.2 Data Hasil Uji tarik	43
4.1 Hasil Pengelasan Gesek Alumunium 6061 Setelah di Uji Tarik	45
4.2 Data Hasil Uji Tarik Las Gesek (<i>Friction Stud Welding</i>)	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 PengelasanLebur	8
2.2 Klasifikasi Cara Pengelasan	10
2.3 Pengelasan Gesek (Friction Welding)	12
2.4 Tahapan Proses Pengelasan gesek Friction Stud Welding	14
2.5 Sudut Chamfer	19
2.6 Uji Tarik	20
2.7 Kurva Tegangan-Tegangan	21
2.8 Batas Elastik Dan Tegangan Luluh	21
2.9 Profil data hasil uji tarik	23
2.10 Mode Perpatahan Material Ulet Dan Getas.....	31
2.11 Struktur Mikro Hasil Pengelasan <i>Friction Welding dan Arc Welding</i>	33
3.1 Mesin Bubut Pinacho Motor	35
3.2 Mesin Uji Tarik Zwick/Roell Z25	36
3.3 Termometer digital.....	38
3.4 Material Magnesium AZ31.....	39
3.5 Besi Plat KS ST37.....	39
3.6 Diagram Alur Penelitian	42
4.1 Hasil Pengelasan Gesek (Friction Welding)	44
4.2 Area weld zone	46
4.3 Permukaan patahan besi plat dan temperatur pengelasan gesek spesimen 1.....	47
4.4 Permukaan patahan magnesium spesimen 1.....	47
4.5 Permukaan patahan besi plat dan temperatur pengelasan gesek spesimen2.....	48

4.6	Permukaan patahan magnesium spesimen 2.....	49
4.7	Permukaan patahan besi plat dan temperatur pengelasan gesek spesimen 3.....	49
4.8	Permukaan patahan magnesium spesimen 3.....	50
4.9	Permukaan patahan besi plat dan temperatur pengelasan gesek spesimen 4	51
4.10	Permukaan patahan magnesium spesimen 4.....	51
4.11	Grafik Tegangan Maksimum	53
4.12	Grafik Tegangan Uji Tarik Spesimen ke- 1	55
4.13	Grafik Tegangan Uji Tarik Spesimen ke-2	55
4.14	Grafik Tegangan Uji Tarik Spesimen ke-3	56
4.15	Grafik Tegangan Uji Tarik Spesimen ke-4	56

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sebuah Struktur rangka ketika berada di laut ataupun lepas pantai tentu akan sering terkena oleh air laut, seperti struktur proyek pipa gas dan minyak lepas pantai. Apabila struktur proyek pipa gas dan minyak lepas pantai sering terpapar oleh air laut maka dapat menyebabkan korosi pada komponen pipa besi dan baja yang berada khususnya yang berada di bawah air laut. Pipa besi dan baja akan mengalami penipisan logam dikarenakan masalah korosi ini, dan fatalnya akan menyebabkan terbentuknya lubang dan retakan, terjadinya perubahan mekanik, kegagalan dan kecacatan struktur, perubahan sifat fisik logam, berkurangnya kinerja perpindahan panas, dan tampilan pipa logam yang menjadi jelek (Sari, 2018).

Masalah korosi ini dapat menyebabkan banyak kerugian, diantaranya adalah korosi dapat menyebabkan pengurangan ketebalan dan penurunan kekuatan pada material besi yang terkena korosi, sehingga menyebabkan material menjadi lebih rentan terhadap kerusakan dan keretakan, Kemudian korosi pada besi struktur bangunan dapat menyebabkan kerusakan yang signifikan pada bangunan dan struktur, sehingga mengancam keselamatan pengguna dan pemilik bangunan, Korosi pada besi pipa dapat menyebabkan pengurangan tekanan air yang dihasilkan oleh pipa tersebut, sehingga mengurangi daya aliran air yang diperlukan, Terjadinya Penurunan kekuatan dari material dan juga pengeluaran untuk biaya perbaikan akan naik lebih besar dari yang dipikirkan (Utomo, 2012)

Usaha untuk mengatasi terjadinya korosi di antaranya adalah dengan cara menambahkan material untuk menghambat korosi. Material penghambat

korosi itu disebut anoda, Cara kerja anoda ini ditempelkan pada permukaan material induk seperti pipa besi dan baja mengorbankan dirinya sendiri untuk menghambat korosi yang terjadi pada pipa besi dan baja. Anoda ini disebut dengan anoda korban (*sacrificial anodes*) dan akan mengalami proses korosi lebih dulu daripada logam induk. Anoda korban yang ditempelkan harus memiliki potensial logam yang lebih rendah dari pada logam induk jadi saat terjadi proses korosi yang akan terkena korosi terlebih dahulu adalah logam/anoda korban tempelan terlebih dahulu dan logam induk akan terhambat proses korosinya (Sari dkk, 2021). Metode ini telah berhasil menghambat proses korosi pada besi kapal laut, struktur lepas pantai, besi pipa dan tangki laut ataupun bawah tanah dan sebagainya (Situmeang dkk, 2019).

Pemasangan anoda korban untuk struktur bawah laut biasa menggunakan las lebur dan *friction stud*, pengelasan lebur menggunakan listrik memerlukan proteksi dari sengatan listrik dan dikhawatirkan akan terjadi reaksi berbahaya, Seperti ledakan saat magnesium dilebur oleh arus tenaga listrik, Mengingat sifat *magnesium* yang mudah terbakar dan juga panas dari pengelasan lebur yang tinggi, maka pengelasan gesek stud menjadi alternatif terbaik.

Pada penelitian yang pernah dilakukan oleh Nicholas (1994) yang melakukan pengelasan gesek di bawah air yang menggunakan material karbon mangan sebagai anoda dan besi baja sebagai material utama yang dilapisi, Dan korosi yang terjadi pada pipa baja bawah laut yang ada pada struktur lepas pantai dapat dikurangi dengan menggunakan anoda korban untuk memberikan perlindungan katodik terhadap korosi.

Metode pemikiran penelitian las gesek stud ini yaitu penyambungan dua logam dengan cara gesekan mekanis. Proses pengelasan ini terjadi ketika bahan kerja yang diam kemudian dikontakkan kepada benda kerja yang berputar di bawah tekanan yang konstan atau meningkat, hingga kedua permukaan mendekati suhu pengelasan dan selanjutnya putaran dihentikan. Penelitian ini akan mengamati pengaruh sudut *chamfer* pada pengelasan

gesek pada besi plat KS ST 37 terhadap kualitas sambungan las, yang meliputi kekuatan tarik pada hasil pengelasan gesek

Pada penelitian kali ini menggunakan logam *magnesium* AZ31 dengan bentuk silinder sebagai anoda korban yang akan disambungkan ke plat besi Plat KS ST37. Tujuan penyambungan anoda korban ini adalah untuk menghindari kerugian yang disebabkan oleh masalah korosi. Material penghambat korosi yang bernama anoda ini ditempelkan pada permukaan material induk yaitu besi baja KS ST37, Anoda magnesium mengorbankan dirinya sendiri untuk menghambat korosi yang terjadi pada besi baja. Anoda ini disebut dengan anoda korban (*sacrificial anodes*) dan akan mengalami proses korosi lebih dulu daripada logam induk.

Alasan mengapa pada penelitian ini menggunakan metode las gesek di antaranya karena apabila *magnesium* dipasang ke besi Plat KS ST37 dengan menggunakan teknik pengelasan lebur maka dikhawatirkan akan terjadi reaksi berbahaya seperti ledakan saat magnesium dilebur oleh arus tenaga listrik mengingat sifat *magnesium* yang mudah terbakar dan juga panas dari pengelasan lebur yang tinggi. Dan las lebur juga membutuhkan aliran arus listrik yang akan merepotkan untuk digunakan pada proyek pengelasan bawah air selain dilihat dari unsur keselamatannya yang juga harus diperhatikan.

Pada penelitian ini pemasangan magnesium dilakukan dengan menggunakan teknik pengelasan gesek, proses pengelasannya yang relatif cepat dan efisien, dan juga lebih menguntungkan dari segi keselamatan, Pengelasan ini juga dapat digunakan untuk menyambung material logam yang berbeda (*dissimilar metal*). Dilihat dari rendahnya temperatur sampai terbentuknya *Weld* pada *friction stud welding* maka proses pengelasan ini dapat dilakukan pada *magnesium* yang mudah terbakar dengan aman. Pada jurnal yang ditulis oleh Jebaraj dan Sankaranarayanan, 2020 dijelaskan bahwa cara yang cocok untuk menyambungkan anoda korban ini adalah dengan menggunakan las stud gesek (*friction stud welding*) karena las stud gesek ini sering digunakan untuk pengelasan pada *live pipeline, explosive environment* (daerah rawan ledakan),

dan juga dibawah laut yang dimana anoda korban (*sacrificial anode*) ini dibutuhkan.

Berdasarkan penelitian sebelumnya peneliti belum melakukan kajian pengaruh parameter pengelasan gesek terhadap kekuatan lasan, maka pada penelitian ini peneliti tertarik untuk melakukan penelitian tentang pengelasan gesek *stud (friction stud welding)* pada besi Plat KS ST37 dan *magnesium AZ31* dengan menggunakan parameter kecepatan putar 2200 rpm dan menggunakan sudut chamfer 45° dan tidak menggunakan sudut chamfer.

B. Tujuan Penelitian

Pada proses pengelasan *friction stud welding* untuk mendapatkan hasil yang maksimal banyak proses yang harus diperhatikan, diantaranya tahapan persiapan dan pengambilan data. Tahapan desain yang dimulai dari pemilihan bahan pengelasan, pemilihan parameter, proses, respon proses, dan metode analisis. Pada penelitian ini material yang di tinjau ada dua material dimana pada penyambungan material yaitu magnesium AZ31 dan ST- 37, sedangkan parameter yang digunakan yaitu variasi kecepatan putar dan sudut chamfer

Adapun tujuan dari dilaksanakannya penelitian ini adalah Menganalisis kekuatan hasil pengelasan dengan metode *friction stud welding* dan menggunakan pengujian uji tarik untuk menganalisis kekuatan las itu sendiri

C. Batasan Masalah

Pada proses penulisan dari laporan penelitian tugas akhir, penulis membatasi masalah dengan pengelasan las gesek *friction stud welding* pada material magnesium AZ31 dan besi plat KS ST 37, Adapun batasan masalah yang diberikan pada penelitian ini, yaitu :

1. Material yang digunakan *magnesium AZ 31* dan besi plat KS ST 37
2. Jenis pengelasan yang digunakan *friction stud welding*
3. Parameter yang digunakan ialah sudut *chamfer* dan kecepatan putar
4. Pengambilan data dilakukan dengan melakukan pengujian tarik.

D. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika untuk penulisan penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

I. PENDAHULUAN

Berisi mengenai Latar Belakang, Tujuan, Batasan Masalah , dan Sistematika Penulisan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Berisi teori-teori dasar tentang pengetahuan pengelasan, klasifikasi pengelasan, pengelasan gesek, las gesek *stud*, prinsip pengelasan gesek *stud*, karakteristik sambungan pada las gesek *stud*, parameter dalam pengelasan gesek *stud*, kelebihan dan kekurangan las gesek *stud*, uji tarik material, *magnesium* az31, besi KS ST37, perbedaan las gesek dan las lebur

III. METODE PENELITIAN

Berisi mengenai waktu penelitian, tempat penelitian, alat dan bahan, prosedur penelitian, metode penelitian, diagram alur penelitian, dan pengambilan data.

IV. DATA DAN PEMBAHASAN

Berisikan mengenai data hasil pengujian, dan analisa data uji tarik

V. PENUTUP

Berisikan simpulan dan saran

DAFTAR PUSTAKA

Berisi referensi yang digunakan oleh penulis dalam menyusun laporan penelitian.

LAMPIRAN

Berisi data lengkap seperti tabel, gambar, dan beberapa data pendukung untuk menunjang kredibilitas laporan penelitian ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengertian Pengelasan

Pengertian Pengelasan yaitu penyambungan dua material logam dengan cara memanaskan serta melelehkan logam induk, kedua material logam yang akan disambung dipanaskan sampai mendekati titik leburnya, ataupun dipanaskan dari gesekan kedua permukaan material dasar las, yaitu proses pengelasan tanpa pencairan (Satoto, 2002). secara umumnya menyambungkan bahan dengan teknologi las, dikerjakan dengan cara pelelehan atau tidak dengan pelelehan logam induk (*Base Metal*, BM). Dalam hal pengelasan dengan pelelehan BM, umumnya diperlakukan logam pengisi (FM), sedangkan untuk proses las tanpa pelelehan tidak diperlukan. Pengertian pengelasan (*welding*) adalah proses penyambungan dua atau lebih bahan teknik dengan memanaskannya mencapai titik cair. panas yang dihasilkan dalam proses pengelasan dapat berasal dari nyala busur (*fusion*) luar atau pun dari gesekan dua benda kerja (Solihin dkk., 2017)

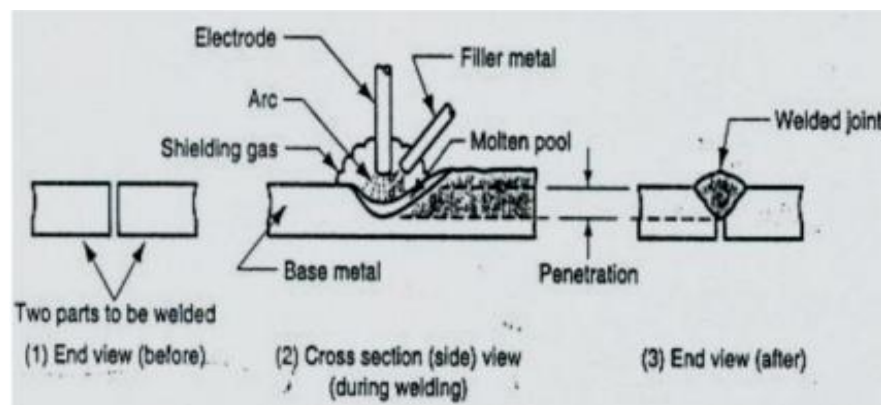
B. Klasifikasi Pengelasan

Pengelasan dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu: pengelasan lebur (*fusion welding*) dan pengelasan padat (*solid-state welding*), berikut penjelasan jenis pengelasan tersebut (Wiryosumarto, 2008)

1. Pengelasan Lebur

Pada proses pengelasan lebur menggunakan panas untuk melelehkan logam induk. pengelasan jenis ini menggunakan logam pengisi, dan ada yang tidak menggunakan logam pengisi. Las lebur dapat dikelompokkan sebagai pada uraian berikut.

- a. Pengelasan busur (*Arc Welding, AWO*). Dalam proses pengelasan jenis AW, penyambungan dilakukan dengan cara pemanasan logam pengisi dan bagian sambungan dari logam induk sampai mencair dengan menggunakan sumber panas busur listrik, dapat ditunjukkan dalam Gambar 2.1. Beberapa operasi pengelasan ini juga menggunakan tekanan selama proses.



Gambar 2.1 Pengelasan Lebur

Sumber: (Abraham klaran,2013)

- b. Pengelasan gas (*oxyfuel gas welding, OFW*) proses pengelasan ini penggunaan panas disebabkan dari dari pembakaran gas yang menggunakan oksigen kemudian menimbulkan nyala api yang mampu mencairkan logam induk atau material pengisi. Yang biasa digunakan yaitu berupa gas asetilen, hidrogen dan juga fas alam. Dari ketiga jenis gas berikut yang paling seringpakai yaitu gas asetilen, sehingga las gas disebut dengan las oksi-asetilen
- c. Resistance welding (RW) atau Pengelasan resistansi listrik , proses dari pengelasan jenis ini permukaan bahan logam yang akan disambung ditekan bersamaan kemudian arus dialirkan kesambungan tersebut. ketika arus mengalir dalam material, maka panas akan dihasilkan pada area yang mempunyai resistansi listrik terbesar, yaitu pada area permukaan dari kedua material (fayng surfaces).
- d. Jenis pengelasan lebur lainnya. beberapa proses pengelasan lebur yang lain, untuk menghasilkan peleburan logam yang disambung, seperti

contohnya pengelasan berkas laser (*laser beam welding*) dan pengelasan dengan berkas elektron (*electron beam welding*).

2. Pengelasan Padat

Pada proses pengelasan jenis padat proses penyambungan dua logam melalui dengan penekanan tanpa memakai panas dari luar atau menggunakan tekanan lalu memberikan panas dari luar. Jika memakai panas, maka suhu pada proses di bawah titik lebur bahan yang dilas, maka itu logam itu tidak terjadi peleburan atau tetap dalam keadaan padat.

Pada metode ini tidak memakai atau menggunakan logam tambahan atau logam pengisi. Pengelasan padat dapat dijabarkan sebagai berikut:

- a. Pengelasan difusi (*diffusion welding*, DFW), yaitu pada dua permukaan bahan logam yang akan disambung disatukan, Lalu dipanaskan sampai suhu mendekati titik lebur logam hingga permukaan yang akan diproses sambung menjadi plastis dan lalu memberi tekanan sampai terbentuk sambungan las
- b. Pengelasan gesek atau (*Friction Welding*, FW), Yaitu proses penyambungan dalam pengelasan ini terjadi disebabkan panas yang dihasilkan oleh gesekan dari dua permukaan material yang bersentuhan. Pada kedua bagian material yang akan diproses sambung disatukan menggunakan tekanan aksial, lalu salah satu diputar hingga pada permukaan akan dihasilkan panas (mendekati titik cair logam), kemudian setelah putaran dihentikan maka terbentuk suatu sambungan logam (Sepdyanuri, 2013).
- c. Pengelasan ultrasonik (*Ultrasonic Welding*, UW), proses dengan menggunakan tekanan pada dua logam yang akan disambung, dan menggunakan getaran osilasi menggunakan frekuensi ultrasonik dengan arah yang sejajar pada permukaan material. kemudian gaya getar tersebut akan melepas lapisan pada permukaan kontak dan menghasilkan ikatan atomik pada ke dua permukaan tersebut.

Berdasarkan pengklasifikasian cara kerja, metode pengelasan (*welding*) dibagi menjadi tiga bagian yaitu (Lamidi, 2020) :

a. Pengelasan Cair

merupakan proses las dengan cara mencairkan logam induk dan logam pengisi menggunakan sumber panas dari busur listrik atau sumber panas dari gas yang dibakar. Contoh dari las cair yaitu seperti , GTAW, SMAW GMAW, dan lain-lainnya.

b. Pengelasan Tekan

merupakan pengelasan dengan cara pemanasan sambungan kemudian dilakukan penekanan hingga sambungan terbentuk. pengelasan tekan yaitu seperti, las resistansi listrik, las ledakan, las tempa, dan lain-lain.

c. Pematrian

Pematrian yaitu proses pengelasan dengan cara mencairkan logam pengisi (titik lebur logam pengisi dibawah titik lebur logam induk) sampai terbentuknya

Penjelasan dari klasifikasi ini dapat dilihat dalam gambar 2.2 di bawah ini :



Gambar 2.2 Klasifikasi Cara Pengelasan

Sumber : (Lamidi, 2020)

C. Pengelasan Gesek (*Friction Welding*)

Pengelasan gesekan (*friction welding*) yaitu penyambungan material dengan menggunakan panas yang didapatkan dari gesekan dari putaran diantara permukaan dua material yang bersentuhan dan diberi tekanan relatif. Tekanan dan gesekan terus menerus hingga suhu logam menjadi tinggi, maka permukaan logam menjadi melebur (Dzulfikar dkk., 2020). kelebihan dari pengelasan gesek adalah menghemat logam pengisi dan juga waktu yang digunakan untuk menggabungkan bahan yang sama ataupun berbeda. Selain parameter ketika melakukan pengelasan gesekan, jenis bahan harus diperhitungkan saat melakukan pengelasan gesek. Salah satu keuntungan dari las gesek yaitu menyatukan seluruh permukaan benda sampai menghasilkan kualitas produk yang baik, yang tidak bisa dilakukan dengan sambungan SMAW (*Shield Art Welding*) (Putra dan Arwizet, 2019).

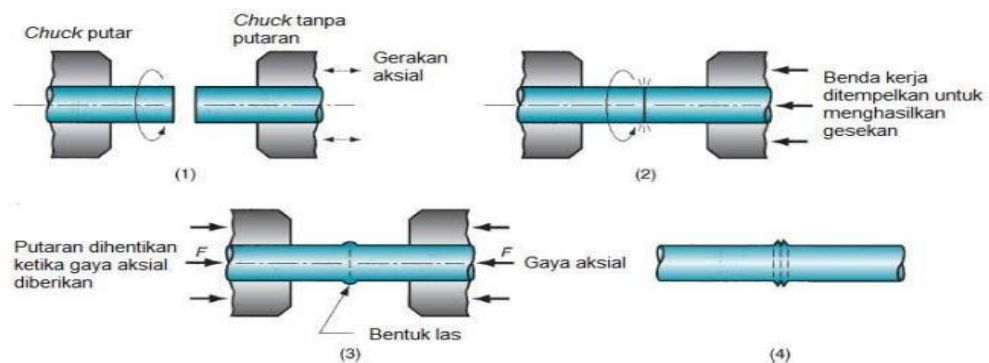
Pengelasan gesek (*friction welding*) juga bisa dipakai pada material yang sulit untuk dilas dengan menggunakan teknik konvensional, dan karena tidak ada bahan yang terbakar atau meleleh, pembentukan asap dapat diminimalkan (Anggraini dan Saputra, 2019). metode sambungan menggunakan las gesek (*friction welding*) Biasa digunakan untuk pada material silinder berdiameter kecil. Pada umumnya pengelasan gesek diaplikasikan dalam industri khususnya otomotif untuk komponen gearbox, menghubungkan as roda, dan bahan pada katup mesinkolom kemudi .

Proses pengelasan gesek ini memudahkan penyambungan bahan yang sulit untuk disambung apabila memakai proses las busur. Pada metode pengelasan busur panas yang didapatkan saat proses pengelasan tidak merata pada permukaan material, kemudian menghasilkan hasil lasan yang buruk dilihat dari kekuatan mekanik las (Sai'in dan Muzaki, 2020). Adapun faktor-faktor kualitatif yang mempengaruhi kualitas dan mutu dari pengelasan gesek (*friction welding*) yaitu sebagai berikut (Satyadianto. 2015) :

- a. Kecepatan putaran
- b. Tekanan aksial (tekanan gesekan dan tekanan tempa)
- c. Durasi pengelasan

- d. Kondisi permukaan bahan kerja
- e. Propertis material

Adapun tiga faktor utama berkaitan dengan metode pengelasan gesek (*friction welding*), kemudia dua yang terakhir yaitu dengan properti dari bahan-bahan yang akan disambungkan (Satyadianto. 2015). Langkah dari proses pengelasan gesek dapat ditunjukkan pada gambar 2.3 sebagai berikut :



Gambar 2.3 Pengelasan Gesek (*Friction Welding*)

Sumber : (Sanyoto dkk., 2012)

D. *Friction Stud Welding*

Friction stud welding adalah salah satu teknik pengelasan dimana sebuah *stud* atau baut disatukan dengan bahan dasar dengan menggunakan gesekan dan tekanan yang tinggi. Proses ini melibatkan pemanasan *stud* dan bahan dasar dengan menggesekkannya bersama-sama, sehingga terbentuklah sebuah sambungan yang kuat.

Proses *friction stud welding* dimulai dengan menempatkan *stud* pada permukaan material bahan dasar yang ingin disambungkan. Kemudian, *stud* dijepit oleh *collet*, dan mesin *friction stud welding* diaktifkan. Mesin ini menggerakkan *collet* yang akan memutar *stud*, sekaligus menekannya ke material bahan dasar.

Gesekan yang dihasilkan oleh rotasi *stud* yang bergesekan dengan bahan dasar dan tekanan yang diberikan oleh *collet* menyebabkan pemanasan lokal pada *stud* dan bahan dasar. Ketika suhu mendekati titik lebur, rotasi *stud*

dihentikan dan tekanan pada *collet* tetap dipertahankan selama beberapa detik sampai sambungan mendingin dan membentuk sambungan yang kuat.

Proses *friction stud welding* dapat digunakan untuk menghubungkan *stud* dengan berbagai macam jenis material, termasuk logam, logam paduan, dan non-logam, seperti plastik ataupun komposit. *Stud* yang digunakan dalam teknik ini dapat memiliki berbagai macam bentuk dan ukuran, tergantung pada pengaplikasiannya.

Friction stud welding banyak digunakan pada industri otomotif, penerbangan, dan konstruksi, karena jenis pengelasan ini dapat menghasilkan sambungan yang kuat, tahan aus, dan tahan korosi dalam waktu yang singkat.

E. Prinsip Pengelasan *Stud Welding*

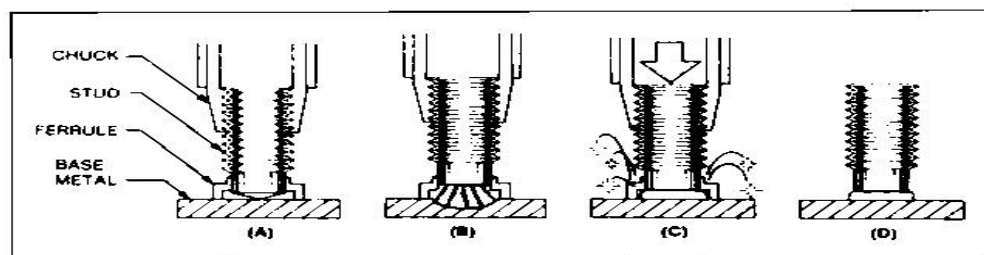
Pada proses pengelasan membutuhkan panas untuk mencairkan atau meleburkan logam pengisi dan logam induk agar terjadi penyambungan bahan atau peleburan. Pada umumnya proses pengelasan, terutama untuk mengelas baja, yaitu menggunakan energi listrik untuk sumber panas dan las busur yang paling banyak digunakan.

Contoh jenis pengelasan yang sering dipakai pada pengelasan *stud* (baut tanpa ulir) digunakan mengelas bahan *fins* yang berbentuk silinder pada logam induk disebut dengan pengelasan *Stud Welding* atau *Arc Stud Welding*. Metode pengelasan *Stud Welding* atau *Stud Arc Welding* adalah mirip dengan metode pengelasan busur listrik lain, Dengan melibatkan listrik, prinsip metalurgi, mekanik. Dalam *Stud Welding*, kekuatan arus kemudian durasi busur listrik dan waktu kontak dikontrol oleh sumber energi dan sistem kontrol *Stud Welding*.

Prinsip pada *Stud Welding* dilihat pada Gambar *Welding gun* pada alat las *stud welding* memiliki arus pemicu aktif untuk memulai proses penyambungan dan mekanisme angkat untuk menarik *stud* lepas dari logam utama dan menghasilkan sambungan.

Perkakas *Welding gun* pada proses penyambungan *Stud Welding* biasanya sebuah *foot piece*, *stud holding chuck*, *ferrule grip* untuk memegang *ceramic ferrule*. pada proses pengelasan *Stud Welding* untuk menghasilkan *stud weld* dapat dilihat pada gambar 2.4 sebagai berikut:

1. Tahap pertama: *ferrule* dan *stud* diisi ke *welding gun*, Dan posisi *welding gun* ditujukan ke logam induk (*base metal*).
2. Tahap kedua: *welding gun* ditekan dengan logam dasar kemudian menghasilkan busur listrik, prosesnya terdiri dari pemberian arus dan mengangkat *stud* agar menghasilkan busur listrik pengelasan.
3. Tahap ketiga: waktu dari busur listrik.
4. Tahap keempat: proses penyambungan sudah selesai



Gambar 2. 4 Proses Pengelasan gesek Friction Stud Welding

Sumber: (Haris budiman dkk, 2016)

Ferrule yang terpasang pada *grip holder* berguna untuk pelindung busur listrik agar tidak terjadi kontak dengan atmosfer luar. Pada pengaplikasi *stud welding*, *ferrule* merupakan komponen yang harus terpasang pada peralatan las *stud*. Ketika proses pengelasan teejadi berikut fungsi dari *ferrule* tersebut:

1. Menjaga agar konsentrasi panas dari busur listrik di area pengelasan.
2. Melindungi aliran udara luar agar tidak masuk ke area pengelasan, kemudian dapat menghindari oksidasi diarea sambungan yang melebur.
3. Membatasi pada logam cair pada area sambungan.
4. Memproteksi efek dari busur listrik yang dapat membakar material non metalik.

F. Karakteristik Sambungan Pengelasan Pada Proses Pengelasan Gesek *Friction Stud Welding*

Friction stud welding merupakan sebuah teknik pengelasan yaitu sebuah *stud* atau baut disambungkan dengan bahan induk dengan cara gesekan dan dengan tekanan. Proses ini menggunakan panas dari *stud* dan bahan dasar dengan menggesekkannya bersama-sama, sampai terjadi sebuah sambungan yang baik. *friction stud welding* diawali dengan meletakan *stud* pada area permukaan bahan dasar yang akan disambung. lalu, *stud* dijepit oleh *collet*, kemudian mesin *friction stud welding* dinyalakan. Mesin ini menggerakkan *collet* yang memutar *stud*, kemudian menekannya ke bahan dasar.

Gesekan yang diperoleh dari rotasi *stud* dan tekanan yang diberikan oleh *collet* didapatkan pemanasan lokal pada *stud* dan bahan induk. Saat temperatur mencapai titik cair, putaran *stud* dihentikan dan tekanan pada *collet* tetap dipertahankan untuk beberapa hingga sambungan mendingin dan terbentuk sambungan yang kuat. Proses *friction stud welding* dapat diaplikasikan untuk menyambungkan *stud* ke bahan yang berbeda, termasuk, komposit, logam, dan non-logam, seperti plastik atau komposit. *stud* yang dipakai dalam teknik ini dapat memiliki berbagai bentuk dan dimensi, sesuai pada aplikasi penggunaannya.

Friction stud welding sering diaplikasikan dalam penerbangan, industri otomotif konstruksi, penerbangan karena mampu menghasilkan sambungan sambungan pengelasan yang dihasilkan oleh proses pengelasan *gesek friction stud welding* menghasilkan karakteristik yang berbeda dari sambungan pengelasan yang dihasilkan oleh teknik pengelasan lainnya. Berikut adalah beberapa ciri-ciri sambungan pengelasan pada proses pengelasan gesek *Friction stud welding*:

1. Tidak ada ceceran atau gas pengelasan: Proses pengelasan gesek *friction stud welding* tidak menggunakan ceceran atau gas pengelasan. Sehingga dihasilkan sambungan pengelasan yang tidak terkontaminasi oleh gas pengelasan dan bersih.

2. Kekuatan sambungan yang tinggi: Sambungan pengelasan yang dihasilkan oleh proses pengelasan gesek *friction stud welding* memiliki kekuatan yang tinggi. karena disebabkan dengan adanya deformasi plastis yang dialami oleh bahan dasar di sekitar *stud* dan pada *stud* itu sendiri selama proses pengelasan. Deformasi plastis ini meningkatkan kekuatan sambungan.
3. Sifat mekanik yang seragam: Sambungan pengelasan yang didapatkan dari proses pengelasan gesek *friction stud welding* menghasilkan sifat mekanik yang sama disepanjang sambungan. Ini menjadikan sambungan pengelasan yang lebih konsisten dan dapat diandalkan.
4. Tidak terdapat zona terpengaruh panas (heat-affected zone, HAZ): Karena proses pengelasan gesek *friction stud welding* tidak melibatkan sumber panas eksternal, tidak ada zona terpengaruh panas (HAZ) yang signifikan pada bahan dasar. Ini mengurangi risiko terjadinya distorsi, retak, dan kerapuhan yang dapat terjadi pada zona terpengaruh panas.
5. Tidak ada lubang (*voids*): Sambungan pengelasan yang didapatkan oleh proses pengelasan gesek *friction stud welding* tidak memiliki lubang atau porositas dalam strukturnya. Ini menghasilkan sambungan pengelasan yang lebih baik dan tidak terkontaminasi oleh udara atau partikel yang mungkin terperangkap di dalam lubang atau pori.
6. Tidak ada logam tambahan yang diperlukan: Proses pengelasan gesek *friction stud welding* tidak memerlukan material tambahan atau bahan pengisi lainnya. Ini memangkas biaya dan kompleksitas proses pengelasan.

Karakteristik pada sambungan pengelasan pada proses pengelasan gesek *friction stud welding* menghasilkan sambungan yang lebih kuat, lebih seragam, dan lebih bersih dibandingkan dengan teknik pengelasan lainnya. Sehingga, teknik ini sangat cocok untuk industri otomotif, penerbangan, dan konstruksi untuk mendapatkan sambungan pengelasan yang tahan aus dan tahan korosi dalam waktu yang singkat. yang kuat, tahan aus, dan tahan korosi dalam waktu yang singkat.

G. Parameter Dalam Pengelasan *Stud* Gesek (*Friction Stud Welding*)

Adapun parameter yang dapat digunakan dalam las *friction stud welding* adalah sebagai berikut:

1. Kecepatan Putaran

Panas yang dihasilkan dari material pada permukaan bahan kerja menghasilkan deformasi plastis, panas yang dihasilkan oleh gesekan pada proses gesekan adalah sumber penting pada fase penempaan untuk menghindari terjadi penurunan suhu yang cepat pada permukaan benda kerja. Maka dapat disimpulkan bahwa kecepatan putaran dapat mempengaruhi lambat atau cepat temperatur yang dibangkitkan, semakin cepat kecepatan putaran maka energi yang diperoleh juga semakin besar sehingga membutuhkan gaya penghentian yang semakin besar juga (Satyadianto, 2015).

2. Durasi Gesekan

durasi gesekan berpengaruh terhadap proses temperatur saat proses gesekan dilakukansampai mencapai temperatur tempa, sehingga pada permukaan bahan induk terbentuk permukaan tempa. Jika durasi gesekan semakin lama maka area permukaan benda tempa yang terbentuk akan besar juga, karena panas gesekan adalah perbandingan lurus dan fungsi bertambahnya waktu. Tidak hanya kecepatan putaran yang menghasilkan baik besar energi kinetik, inersia dan besar tekanan tempa yang diberikan. waktu gesekan yang lama dibutuhkan apabila karakteristik kecepatan putaran yang terjadi pada pengelasan pada permukaan rendah. Durasi waktu ini dalam penggabungan dengan tekanan aksial memperoleh panas. Karena waktu gesekan dimulai pada awal proses gesekan terjadi hingga proses penempaan yang dilakukan, sehingga jumlah menempa tergantung dengan panas yang dihasilkan dari kecepatan gesekan dan durasi menempa sehingga memperoleh jumlah energi pada motor dan juga inersia yang ada pada area poros juga. Jika berkecepatan tinggi tentu durasi yang dibutuhkan tentu semakin rendah, tetapi untuk jumlah energi kinetik yang sama (Satyadianto, 2015).

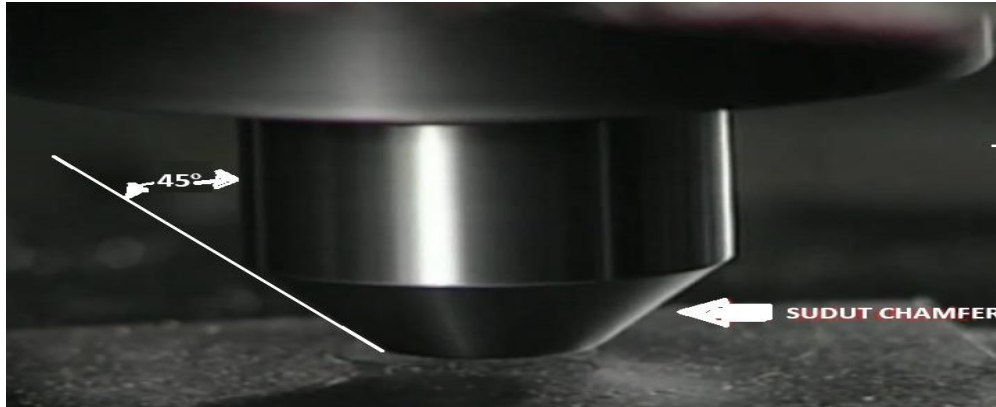
3. Tekanan Aksial (Tekanan Gesekan dan Tempa)

Hasil dari tekanan aksial berlawanan dengan hasil dari variasi kecepatan. Jika Tekanan berlebihan menghasilkan lasan dengan kualitas yang jelek pada area pusat, seperti dengan mengelas diproses pada kecepatan yang rendah. Jika terdapat tekanan aksial yang berbeda di dalam fase tekanan gesek dan tekanan penempaan, keduanya dimasukkan sebagai parameter gaya aksial las (Satyadianto, 2015). Fase pertama yaitu fase gesekan (*friction phase*), fase kedua yaitu fase berhenti (*breaking phase*), dan fase ketiga yaitu fase penempaan atau *Upset (forging phase)*. Fase pertama adalah proses gesekan, fase ini adalah fase untuk menaikkan temperatur. Peningkatan temperatur terjadi karena gesekan dua buah logam. Waktu yang diperlukan cukup besar dibanding fase lainnya. Fase kedua yaitu fase berhenti. Fase ini diharapkan durasi waktu secepat mungkin supaya panas yang terjadi tidak hilang (Husodo dkk., 2013).

ketika tekanan tetap stabil ketika proses terjadi, disebut satu-tahap pengelasan. Gesekan dari kedua torsi dalam dua tahap penyambungan secara umum lebih tinggi dari pada satu tahap pengelasan karena gaya aksial yang diberikan lebih besar (Satyadianto, 2015).

4. Sudut *Chamfer*

Sudut *chamfer* adalah salah satu parameter dalam pengelasan gesek yang dapat menambah efisiensi dari proses pengelasan gesek dan menghasilkan beberapa peningkatan yang baik pada proses pengelasan. Sudut *chamfer* juga mempengaruhi waktu yang digunakan hingga bahan melebur dan juga kekuatan torsi dari bahan. Dengan adanya sudut *chamfer* ini membuat variasi dapat dilihat dengan baik.



Gambar 2.5 Sudut *Chamfer*

Sumber:(*youtube:friction stud welding*)

H. Kelebihan dan Kekurangan *Friction Stud Welding*

Beberapa keuntungan dari *friction welding* diantaranya adalah tidak membutuhkan logam pengisi dan dapat untuk proses penyambungan dari material yang sama maupun berbeda. kemudian hasil las yang terbagi rata pada area pengelasan pada seluruh permukaan lasan, dan dapat digunakan dengan material yang berbeda, kemudian untuk pengelasan tidak sulit dan hasil lasan yang baik juga

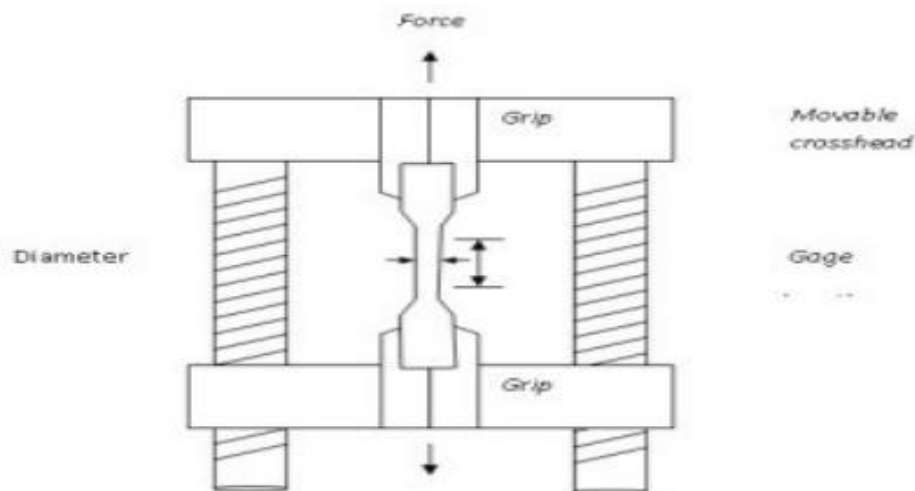
Kekurangan *Friction Stud Welding* diantaranya Benda yang akan disambung harus simetris Proses biasanya pada umumnya adalah pada permukaan plat dan bentuk batang bulat. Salah satu bahan yang disambung harus memiliki sifat mampu dideformasi secara plastis.

Dalam keseluruhan, *friction stud welding* adalah metode pengelasan yang kuat dan andal, tetapi dibutuhkan mesin yang mahal dan kualitas permukaan yang tinggi. Jika digunakan dengan baik dan pada bahan yang tepat, *friction stud welding* mampu menghasilkan hasil pengelasan yang berkualitas tinggi dan juga baik

I. Pengujian Kekuatan Uji Tarik

Proses pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui nilai kekuatan tarik pada benda uji. Pengujian tarik untuk kekuatan tarik pada hasil las berguna untuk

mengetahui apakah kekuatan sambungan memiliki nilai yang lebih rendah, sama atau lebih tinggi dari berbagai *raw materials*. pengujian tarik bahan untuk kualitas nilai kekuatan tarik berguna untuk mengetahui nilai kekuatannya dan mengetahui letak putusnya area sambungan las. Pembebanan gaya tarik adalah pembebanan yang diberikan pada bahan uji dengan memberikan gaya tarik berlawanan arah pada salah satu ujung benda.

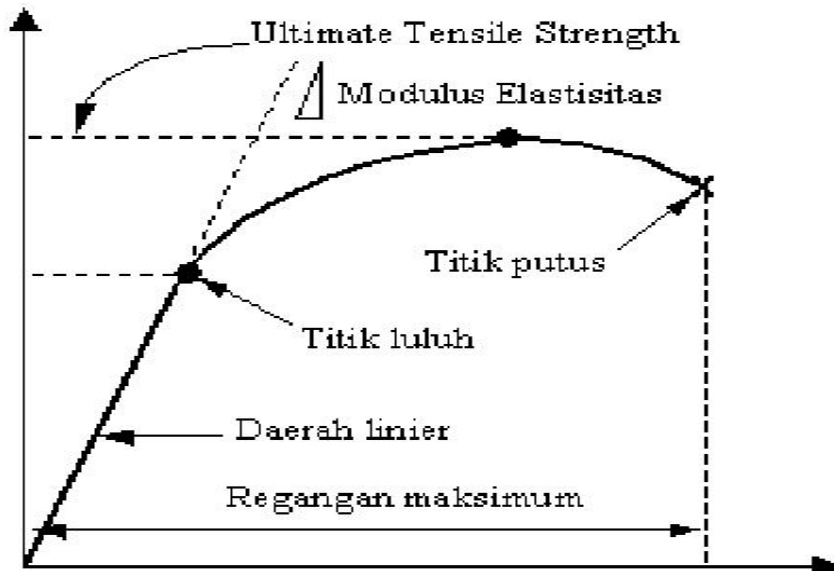


Gambar 2.6 Uji Tarik

Sumber : (Alatuji.com)

Pada gambar 2.6 dijelaskan Pemberian gaya terhadap beban akan menghasilkan sebuah perpanjangan bentuk (deformasi) pada material. ketika terjadinya deformasi pada bahan uji yaitu pergeseran butiran logam yang menjadikan melemahnya gaya elektromagnetik setiap atom logam hingga terlepas ikatan tersebut pada penarikan gaya maksimum.

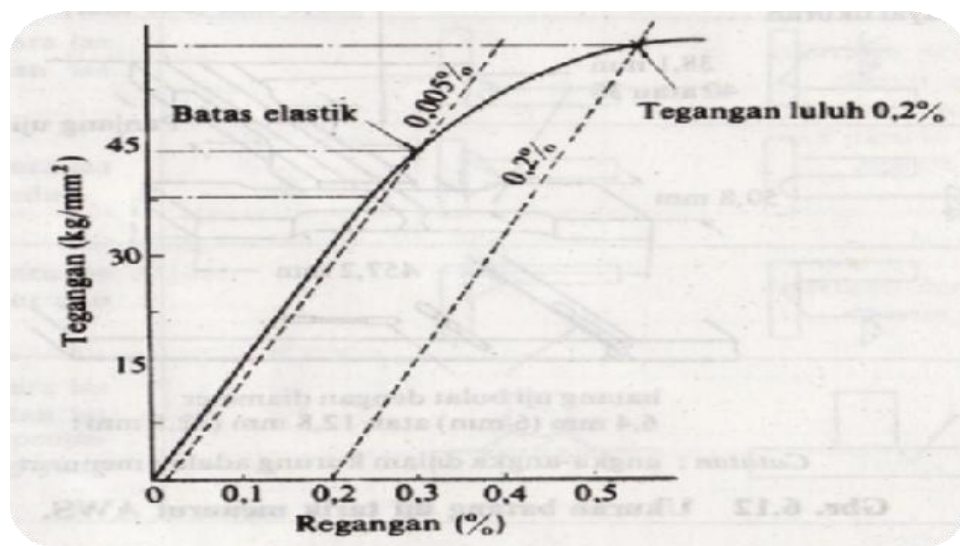
Pada pengujian kekuatan tarik beban diberikan secara kontinu dan perlahan bertambah besar, kemudian bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan mengenai perpanjangan yang dialami benda uji dan menghasilkan sebuah kurva tegangan regangan. (wiryosumarto, 2000)



Gambar 2.7 Kurva Tegangan-Regangan

Sumber: (Wiryosumarto, 1996)

Dari nilai-nilai kekuatan tarik yang diperoleh sebuah gambaran dari tarikan seperti kurva yang ditunjukkan pada gambar 2.7. Kurva ini menggambarkan antara gaya tarikan dengan perubahan panjang.



Gambar 2.8 Batas Elastik Dan Tegangan Luluh

(Wiryosumarto, 1996)

Pada kekuatan luluh dan modulus elastisnya dapat ditentukan dan besar beban dalam pengujian ini dinamai kekuatan tarik maksimum. Setelah bahan

uji patah panjang akhir dan Cross-Sectional area digunakan untuk menghitung persentase *elongation* dan pengurangan luas.

Tegangan pada kurva tegangan-regangan diperoleh dengan cara membagi antara beban dan luas awal penampang bahan uji. kemudian regangan yang digunakan diperoleh dengan membagi perpanjangan material uji dengan panjang awal material uji. Tegangan dan juga regangan dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

Tegangan dapat dihasilkan dengan membagi beban dan luas penampang mula benda uji.

$$\text{Rumus tegangan } \sigma = \frac{F_u}{A_0} \dots\dots\dots$$

maksudnya:

Σu = tegangan nominal (kg/mm²)

A_0 = luas penampang muali dari penampang batang (mm²)

F_u = Beban maksimal (kg)

Regangan (pergambaran pertambahan panjang) yang didapatkan dengan membagi perpanjangan panjang ukur (ΔL) dengan panjang ukur mula material

$$\text{Rumus regangan 1 } \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\%$$

$$\text{Rumus regangan 2 } \varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\%$$

Keterangan :

L = panjang akhir (mm)

ε = regangan (%)

L_0 = panjang awal (mm)

Pembebanan gaya tarik dilakukan dengan cara menambahkan beban sampai terjadi perubahan bentuk pada material seperti pengecilan luas permukaan, pertambahan panjang dan menghasilkan patahan pada beban. Persentase pengecilan yang terjadi dapat dikatakan dengan rumus sebagai berikut:

Rumus penampang 1 $q = \frac{\Delta A}{\Delta \sigma} \times 100\%$

Rumus penampang 2 $q = \frac{A_0 - A}{A_0} \times 100\%$

Keterangan :

A_I = luas penampang akhir (mm^2)

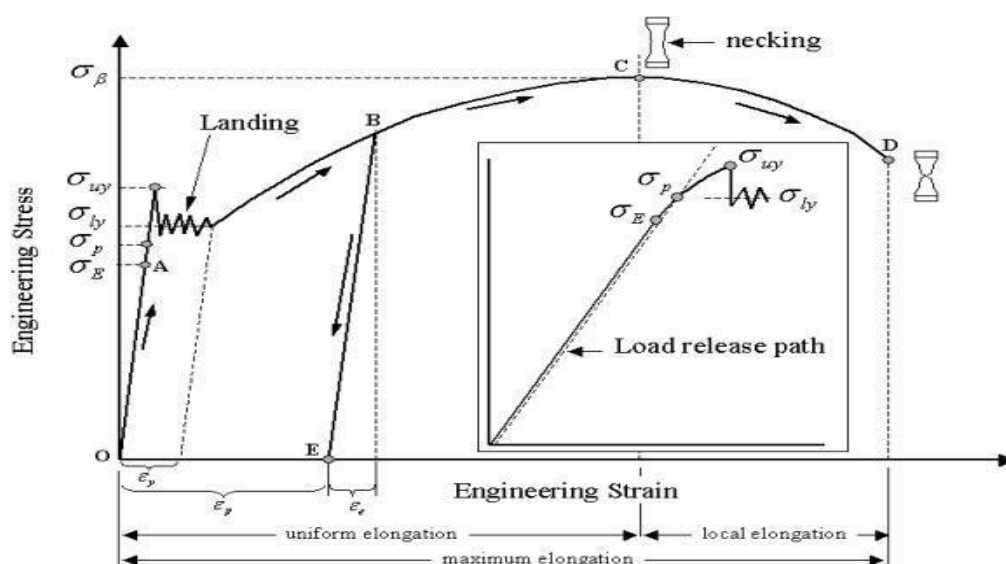
A_0 + luas penampang mula (mm^2)

pertambahan panjang

(Okumura & Wiryosumarto, 2004).

J. Detail Profil Uji Tarik dan Sifat Mekanik Logam

Data hasil dari uji tarik digunakan untuk sebuah analisa teknik, data yang didapatkan dari uji tarik dapat tunjukan seperti pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Profil data hasil uji tarik

Sumber: (Wiryosumarto, 1996)

Pada gambar 2.9 menggambarkan istilah mengenai sifat-sifat mekanik dari bahan uji atau material pada hasil uji tarik. Dapat dinyatakan bahwa ketika melakukan uji tarik dari titik O sampai D sesuai pada panah dalam gambar.

1. Batas elastis σ_E (*elastic limit*)

Pada Gambar 2.9 ditunjukkan dengan titik A. Apabila sebuah benda uji atau material diberikan beban hingga pada titik A, setelah itu ketika

bebannya dihilangkan, maka bahan uji atau pun material uji dari uji tarik tersebut akan kembali ke kondisi mula-mula (atau hampir kembali ke kondisi mula) yaitu regangan “nol” pada titik O (ditunjukkan dalam Gambar 2.9). Namun apabila beban itu ditarik hingga melewati titik A, hukum Hooke tidaklah berlaku dan terjadi perubahan permanen dari material. Terdapat perubahan batas regangan permanen (permanent strain) maka masih dinyatakan perubahan elastisitas atau kurang dari 0.03%, namun sebagian referensi menyatakan 0.005% .

2. Deformasi plastis (*plastic deformation*)

Adalah perpanjangan bentuk permanen tidak kembali ke keadaan awal. Ketika bahan ditarik sampai melewati batas proporsional dan hingga daerah landing.

3. Batas proporsional σ_p (*proportional limit*)

Ketika Titik hingga pada penerapan hukum Hook masih bisa ditolerir. Tidak terdapat standarisasi dari nilai ini. Dalam pengaplikasiannya, umumnya batas proporsional sama dengan batas elastis.

4. Tegangan luluh bawah σ_{ly} (*lower yield stress*)

Yaitu tegangan rata-rata area landing sebelum memasuki pada fase deformasi plastis. Apabila hanya disebutkan tegangan luluh (yield stress), maka yang digambarkan adalah tegangan ini.

5. Tegangan luluh atas σ_{uy} (*upper yield stress*)

Yaitu tegangan maksimum sebelum bahan uji memasuki fase area landing pergantian deformasi elastis ke plastis.

6. Regangan permanen yaitu pada saat material memasuki fase deformasi plastis.

7. Regangan luluh ϵ_y (*yield strain*)

8. Regangan elastis ϵ_e (*elastic strain*)

Regangan yang disebabkan perubahan elastis pada bahan. Saat beban dihilangkan regangan ini akan kembali ke posisi awal.

9. Regangan plastis ϵ_p (*plastic strain*)

Yaitu Regangan yang diakibatkan perubahan plastis. Ketika beban dihilangkan regangan ini tetap tinggal sebagai perubahan permanen bahan.

10. Regangan total (*total strain*)

Yaitu gabungan antara regangan elastis dan plastis, $\epsilon_T = \epsilon_e + \epsilon_p$. Pada beban diarah OABE. Pada titik B, reganganmya adalah regangan total. Saat beban dihilangkan, posisi regangan ada di area titik E kemudian besar regangan yang tetap (OE) yaitu regangan plastis.

11. Kekuatan patah (*breaking strength*)

Pada Gambar 2.9 digambarkan dengan area D, adalah besar tegangan ketika bahan yang diuji putus dan patah.

12. Tegangan tarik maksimum TTM (UTS, *ultimate tensile strength*)

Pada Gambar 2.9 ditunjukkan dengan area titik C (σ_β), maka besar tegangan maksimum yang didapatkan dalam uji tarik.

Uji kekuatan tarik yang dilakukan pada suatu benda uji (padatan logam dan non logam) dapat menunjukan keterangan yang cukup lengkap perihal perilaku bahan uji tersebut terhadap gaya pembebanan mekanis. Data yang penting yang didapat dari pengujian tarik yaitu sebagai berikut:

1. Batas elastis (*elastic limit*)
2. Modulus elastisitas (E)
3. Titik luluh (yield point) dan kekuatan luluh (*yield strength*)
4. Batas proporsionalitas (*proportionality limit*)
5. Kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*)
6. Kekutan putus (*breaking strength*)
7. Keuletan (*ductility*)

Dari semu data yang dihasilkan yang paling penting adalah kekuatan maksimum bahan dalam menahan beban. Nilai ini disebut "*Ultimate Tensile Strength*" disingkat dengan UTS, yang berarti tegangan tarik maksimum

K. *Magnesium AZ31*

Magnesium AZ31 adalah paduan *magnesium* yang terdiri dari 3% aluminium dan 1% seng. Bahan ini merupakan paduan *magnesium* yang paling sering digunakan karena memiliki sifat yang bagus seperti kekuatan yang tinggi, ringan, tahan korosi, dan mudah diproses. AZ31 biasa digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan kekuatan ringan, seperti dalam industri otomotif, penerbangan, dan elektronik. Selain itu, AZ31 biasa digunakan dalam produksi bingkai kaca mata, alat musik, dan produk olahraga.

Titik lebur dari *magnesium AZ31* adalah sekitar 630°C-640°C (1176°F-1184°F). AZ31 adalah paduan *magnesium* yang mengandung sekitar 3% aluminium (Al) dan 1% seng (Zn), dan memiliki titik lebur yang lebih rendah dari pada *magnesium* murni (titik lebur sekitar 650°C atau 1202°F). Paduan *magnesium AZ31* sering digunakan dalam berbagai aplikasi karena kekuatan yang tinggi, ringan, dan ketahanan korosinya, serta mampu untuk dapat ditempa dan dibentuk dengan baik.

Untuk kekuatan tarik dari *magnesium AZ31* sesuai dengan jurnal oleh Jayasathyakawin dkk dengan judul “Mechanical properties and applications of Magnesium alloy – Review” dikatakan bahwa bahan material *magnesium AZ31* memiliki kekuatan tarik normalnya sebesar 145.8 MPa - 256.4 MPa.

Tabel 2.1 Sifat Mekanik *Magnesium AZ31*

Sifat Mekanik	<i>Magnesium AZ31</i>
Kekuatan tarik	256 Mpa
Kekuatan Luluh	172 Mpa
Modulus Elastisitas	34 Gpa
Total Elongation	16.7 %

Meskipun memiliki kekuatan yang baik, paduan *magnesium AZ31* juga memiliki beberapa kekurangan. Paduan ini biasa lebih mudah terbakar daripada logam lain, sehingga harus dihindari dari sumber api atau panas

yang tinggi. Kemudian, paduan *magnesium* AZ31 tidak tahan terhadap temperatur tinggi dan kelembaban yang tinggi, yang dapat menyebabkan korosi dan penurunan kekuatan. Untuk mengatasi kelemahan ini, paduan magnesium AZ31 sering digunakan dengan teknik perlakuan panas atau perlakuan permukaan khusus untuk meningkatkan ketahanannya terhadap suhu tinggi dan korosi. Untuk sifat kimia *magnesium* AZ31 itu sendiri adalah paduan *magnesium* yang terdiri dari 3% aluminium dan 1% seng. Beberapa sifat kimia yang dimilikinya antara lain:

1. Reaktif terhadap air: *magnesium* AZ31 dapat bereaksi dengan air untuk menghasilkan hidrogen dan *magnesium* hidroksida.
2. Korosi: *magnesium* AZ31 mudah terkorosi dan juga sensitif terhadap lingkungan asam.
3. Kestabilan termal: *magnesium* AZ31 memiliki titik leleh yang relatif rendah (sekitar 650°C) dan sifat termal yang baik, karena itu dapat digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan stabilitas termal yang tinggi.
4. Pembakaran: *magnesium* AZ31 dapat mudah terbakar ketika terpapar panas atau api. Sifat elektrokimia: *Magnesium* AZ31 memiliki potensial *elektrokimia yang rendah, sehingga rentan terhadap korosi ketika terhubung dengan logam lain dalam lingkungan yang lembab.*

Ada pun sifat fisik dari *magnesium* AZ31 antara lain:

1. Kepadatan: *magnesium* AZ31 untuk kepadatan sekitar 1,78 g/cm³, karena itu merupakan logam yang relatif ringan.
2. Kekerasan: *magnesium* AZ31 mempunyai tingkat kekerasan yang relatif rendah, sehingga mudah ditebuk, dibentuk, dan ditekankan.
3. Konduktivitas termal dan listrik: *magnesium* AZ31 memiliki konduktivitas termal dan listrik yang cukup tinggi, kemudian sering digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan sifat konduktivitas tersebut.
4. Titik leleh: *magnesium* AZ31 titik leleh sekitar 650°C, yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan logam-logam lain seperti besi atau baja.
5. Warna: *agnesium* AZ31 memiliki warna keabuan yang khas dan umumnya memiliki penampilan yang bersih dan mengkilap.

6. Kekuatan: *magnesium* AZ31 memiliki kekuatan yang cukup tinggi, meskipun kekuatannya lebih rendah dibandingkan dengan baja

Tabel 2.2 Sifat Fisik Magnesium AZ31

Sifat fisik	Paduan Magnesium AZ31
Titik Cair, K	922 K
Titik Didih, K	1380 K
Energi Ionisasi 1	738 kJ/mol
Energi Ionisasi 11	1450 kJ/mol
Elektronegatifitas	1,31
Kerapatan massa (ρ)	1,74 g/cm
Potensial reduksi standar	-2,38

L. Besi Plat KS ST 37

Besi ST37, juga disebut sebagai baja karbon ST37, adalah salah satu jenis baja karbon rendah yang biasa digunakan pada berbagai aplikasi industri.

Tabel 2.3 Sifat Fisik Besi ST37

Sifat fisik	Paduan ST37
Titik Cair, K	1535 °C
Kepadatan	7,87 g/cm ³
Konduktivitas Termal	55 W/(m·K)

Komposisi kimia daripada besi baja ST37 secara umum dapat meliputi unsur-unsur berikut:

1. Karbon (C): karbon adalah salah satu unsur utama pada baja karbon rendah. Pada baja karbon rendah ST37 komposisi karbon berkisar antara 0,17% hingga 0,20%. Karbon memberikan kekuatan dan kekerasan pada baja.

2. Silikon (Si): silikon merupakan unsur peneras dan penguat dalam baja. Komposisi silikon dalam baja karbon rendah ST37 biasanya berkisar antara 0,17% hingga 0,30%.
3. Mangan (Mn): mangan adalah unsur yang dapat meningkatkan kekuatan dan ketangguhan baja. Komposisi mangan dalam baja ST37 umumnya berkisar antara 0,35% hingga 0,65%.
4. Fosfor (P): fosfor adalah salah satu unsur pencemar yang harus dijaga supaya ada pada jumlah rendah dalam baja. Komposisi fosfor dalam ST37 umumnya kurang dari 0,05%.
5. Sulfur (S): sulfur adalah unsur pencemar yang juga harus dijaga supaya ada pada jumlah rendah dalam baja. Komposisi sulfur dalam baja ST37 umumnya kurang dari 0,05%.
6. Besi (Fe): besi adalah unsur utama dalam semua baja, dan komposisi besi dalam baja ST37 sangat tinggi, umumnya lebih dari 98%.

Adapun berikut ini adalah beberapa contoh sifat-sifat fisik yang dimiliki oleh besi baja ST37:

1. Kepadatan: kepadatan pada besi ST37 umumnya berkisaran antara 7,85 g/cm³ hingga 7,87 g/cm³. Ini adalah nilai yang umum untuk baja karbon rendah.
2. Konduktivitas termal: baja karbon rendah seperti ST37, memiliki konduktivitas termal yang bagus. Konduktivitas termal ini mengukur kemampuan material untuk menghantarkan panas. Baja ST37 memiliki konduktivitas termal sekitar 51-55 W/(m·K) pada suhu kamar.
3. Konduktivitas listrik: besi ST37 juga mempunyai konduktivitas listrik yang baik. Ini adalah salah satu sifat yang penting dalam aplikasi di mana konduktivitas listrik dibutuhkan, seperti di dalam pembuatan sebuah komponen listrik atau elektronik.
4. Titik lebur: titik lebur besi ST37 tergantung pada komposisi dan juga perlakuan termal yang dilakukan padanya. Secara umum, besi memiliki titik lebur sekitar 1.535 derajat Celsius (2.795 derajat Fahrenheit). Namun, titik leburnya dapat berubah jika ada unsur-unsur tambahan

dalam komposisi atau jika dilakukan perlakuan termal tertentu terhadapnya.

5. Ekspansi termal: besi ST37 memiliki koefisien ekspansi termal yang cukup rendah. Ini berarti bahwa jika terjadi perubahan dimensi dari benda yang terbuat dari besi ST37 akibat dari perubahan suhu maka akan relatif kecil.
6. Warna: besi ST37 memiliki warna abu-abu hingga abu-abu gelap pada permukaannya.
7. Kekerasan: kekerasan besi ST37 dapat bervariasi tergantung pada perlakuan termal yang diterapkan. Baja karbon rendah seperti ST37 cenderung memiliki kekerasan yang moderat, kekerasan ini dapat diubah dengan melakukan perlakuan panas terhadapnya seperti pemanasan dan pendinginan yang tepat.
8. Kekuatan tarik: untuk kekuatan tarik dari Baja karbon ST37 sesuai dengan jurnal oleh Regna dengan judul “Studi Pengujian Sifat Mekanik Material Baja ST-37” dikatakan bahwa bahan material baja karbon ST37 memiliki kekuatan tarik normalnya sebesar 301 MPa - 327 MPa.

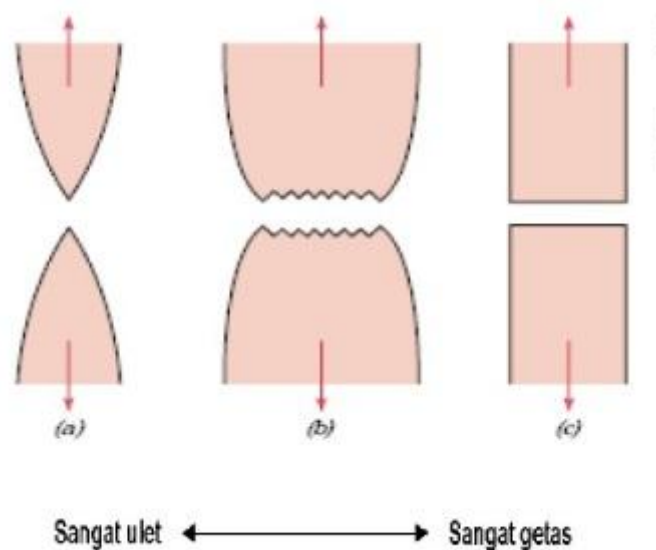
Tabel 2.4 Sifat Mekanik Besi ST37

Sifat Mekanik	ST 37
Kekuatan tarik	327 Mpa
Kekuatan Luluh	235 Mpa
Modulus Elastisitas	217Gpa
Total Elongation	25 %

M. Perbedaan Material Getas Dan Ulet

Dalam pengujian tarik ada dua jenis klasifikasi deformasi hasil material uji tarik yang umum yaitu getas dan ulet dimana sifat material yang getas adalah sifat material yang keras tetapi tidak ulet sedangkan material ulet bersifat lunak namun ulet. Kedua material ini dapat diperoleh dengan memberikan perlakuan panas dan pendinginan pada material sesuai dengan apa yang

diinginkan. Jika dilihat dari hasil pengujian tarik yang dilakukan pada bahan material logam material yang getas dapat diidentifikasi dengan bentuk deformasi elastis bahan setelah diuji tarik yang tidak memanjang atau melar dan tetap keras sebelum putus sementara material logam yang ulet diidentifikasi dengan bentuk deformasi elastis material yang memanjang sebelum putus. Berikut adalah gambar contoh patahan pada uji tarik sesuai dengan jenisnya.



Gambar 2.10 Mode Perpatahan Material Ulet Dan Getas

Sumber: (Masdipa, 2016)

Dapat dilihat dari gambar diatas bahwa patahan hasil uji tarik pada ulet dan getas sangat berbeda dimana patah ulet deformasi nya memanjang terlebih dahulu sebelum patah sementara bahan yang getas patahannya terjadi dengan deformasi memanjang yang sedikit ataupun tidak ada sama sekali.

N. Perbedaan Las Gesek Dan Las Busur

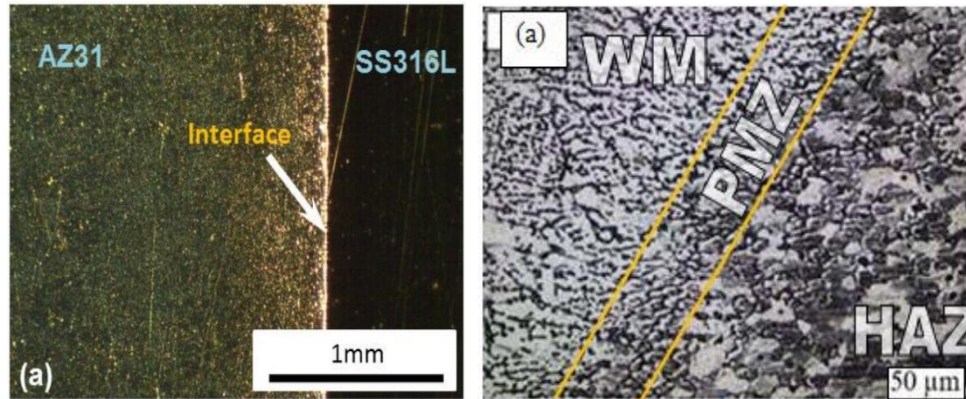
Didapat dari jurnal pengelasan gesek "*Friction welding of AZ31-SS316L for partially degradable orthopaedic pins*" bahwa pengelasan gesek menghasilkan struktur mikro yang berbeda dari pengelasan busur, dimana pengelasan gesek menghasilkan struktur mikro yang terlihat tidak memiliki

diffusion zone yang signifikan dikarenakan panas yang diterima oleh logam tidak cukup panas untuk melelehkan sambungan logam tidak seperti las busur, mengakibatkan distribusi kekerasan yang tidak signifikan hal ini dapat dilihat lebih jelas dengan sambungan material yang *dissimilar* (tidak sejenis)

Walaupun begitu sambungan menggunakan *friction welding* cukup kuat dan dapat dikatakan sukses dan sempurna tetapi pada sambungan las gesek tidak terdapat *intermetallic bond* atau ikatan *atom metal* yang ada pada sambungan las yang didapatkan. Sedangkan bila dibandingkan dengan sambungan yang menggunakan las busur dimana pemberian panas yang tinggi dilakukan pada kedua material yang akan disambungkan hingga material sampai ke titik lebur sebelum disambung struktur mikro yang didapat menunjukkan bahwa terdapat *diffusion zon* atau zona *difusi* yang lebih terlihat menunjukkan adanya ikatan *atom metal* yang lebih banyak

Struktur mikro yang dihasilkan oleh pengelasan gesek/*friction welding* memiliki beberapa perbedaan dengan pengelasan yang menggunakan las busur, hal ini disebabkan oleh jenis pengelasan keduanya yang memiliki karakteristik berbeda dimana pengelasan busur/*Arc welding* adalah jenis pengelasan liquid state welding yaitu proses penyambungan dua permukaan bahan atau material dengan cara mencairkan daerah yang akan disambung hingga cairan tersebut menyatu dengan merata. Sedangkan pengelasan gesek/*friction welding* adalah sebuah proses pengelasan dimana 2 benda atau material yang ingin disambungkan dalam keadaan padat digesekkan satu sama lain sehingga terjadi panas yang cukup untuk mendekati suhu dibawah titik lebur material akibat oleh gesekan tersebut sebelum kemudian memberikan tekanan terhadap material bahan hingga bahan dapat menempel dan menyatu. Kedua pengelasan tersebut memiliki hasil uji struktur mikro yang cukup berbeda

Kedua pengelasan tersebut memiliki hasil uji struktur mikro yang cukup berbeda apabila dilihat dari uji *struktur mikro* hal ini dapat dilihat dari hasil pengujian struktur mikro dibawah ini.



Gambar 2.11 Struktur Mikro Hasil Pengelasan *Friction Welding* dan *Arc Welding*

Sumber: (Nasution, 2019)

Dilihat dari gambar struktur mikro diatas dapat diketahui perbedaan kedua pengelasan tersebut dimana pngelasan *friction welding* memiliki daerah HAZ yang sangat tipis bahkan hampir tidak ada dibandingkan dengan daerah HAZ pengelasan *Arc welding* selain itu *difusi* kedua material yang disambungkan terlihat terjadi difusi lebih baik pada las busur dibanding las gesek dikarenakan panas dari pengelasan busur mencapai titik lebur kedua material menghasilkan difusi atom metal sedangkan *friction welding* yang suhunya tidak mencapai titik lebur tidak terlihat *difusi atom metal* yang signifikan.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Adapun tempat dan waktu pelaksanaan penelitian tugas akhir dilaksanakan di Laboratorium Material uji tarik Intituts Teknologi Sumatera, Lampung Selatan dan di Laboratorium Produksi Universitas Lampung, Bandar Lampung. Adapun waktu pelaksanaan penelitian ini diliat pada tabel berikut:

Tabel 3.1 Waktu Pelaksanaan Penelitian

No	Kegiatan	Febuari	Maret	April	Mei	Juni
1	Studi literatur					
2	Perancangan dan pembuatan alat					
3	Percobaan/pengujian, pengambilan data dan analisa data					
4	Pembuatan laporan akhir					

B. Alat dan Bahan

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

1. Alat

a. Mesin Bubut

Mesin Las *Friction Stud Welding* digunakan untuk menyambungkan 2 material *magnesium AZ31* dan Besi Plat KS ST37



Gambar 3.1 Mesin Bubut Pinacho Motor

Spesifikasi dari mesin bubut

Merek: PINACHO

Buatan: SPAIN, JULY 1999

Main Motor Power : 4 Kw

Type : S-90/200

Pump Motor Power :0.06 Kw

Penyerahan: 22-8-2000

SPESIFIKASI

Central Distance: 750 – 1150 mm

Swing Over Carriage : 370 mm

Bed width: 300 mm

Central High: 200 mm

Swing Over Grap: 600 mm

Swing Cross Slide: 210 mm

Bed width: 300 mm

Swing over bad: 400 mm

Berikut adalah cara mengoperasikan mesin bubut Pinocho S-90/20

1. Menyalakan mesin mesin bubut Pinocho S-90/200, Menekan tombol power untuk menghidupkan mesin mesin bubut Pinocho S-90/200 hingga mesin siap digunakan.

2. Kalibrasi mesin sebelum memulai pengujian. Kalibrasi untuk memastikan mesin bubut Pinocho S-90/200
3. Memasang benda uji pada mesin bubut Pinocho S-90/200 dengan baik dan tegak lurus
4. Mengatur parameter pengujian seperti kecepatan pengujian, kemiringan sudut
5. Memulai pemutaran dengan tekan tombol start pengontrol mesin uji tarik mesin bubut Pinocho S-90/200.
6. Memantau pengujian selama pengujian berlangsung
7. Stop Pengujian dapat dihentikan secara manual atau otomatis ketika pengoperasian telah selesai

b. Mesin Uji Tarik

Mesin uji tarik digunakan untuk mengetahui nilai kekuatan tarik magnesium AZ31 dan Besi Plat KS ST37 yang sudah dilas, seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.2



Gambar 3.2 Mesin Uji Tarik Zwick/Roell Z25

Mesin uji tarik digunakan untuk menguji kekuatan dan sifat mekanik dari bahan atau material, seperti logam, plastik, karet, kertas, dan sebagainya. Fungsi utama mesin uji tarik adalah untuk mengukur kemampuan suatu bahan untuk menahan beban tarik, yaitu berapa banyak tekanan atau gaya yang dapat dihasilkan sebelum bahan tersebut mengalami kegagalan atau patah.

Spesimen diuji dengan mesin uji tarik Zwick/Roell Z250 berkapasitas 250 KN. Adapun spesifikasi mesin Zwick/Roell Z250 sebagai berikut :

Merk : Zwick/Roell Z250
Landmark Kapasitas : 250 KN
Tipe : Z020
Tahun : 2007

Berikut adalah tutorial cara mengoperasikan mesin uji tarik MTS Landmark:

- 1) Menyalakan mesin uji tarik Zwick/Roell Z250, Menekan tombol power untuk menghidupkan mesin uji tarik Zwick/Roell Z250 hingga mesin siap digunakan.
- 2) kalibrasi mesin sebelum memulai pengujian. Kalibrasi untuk memastikan mesin uji tarik Zwick/Roell Z250 dapat menghasilkan data yang akurat.
- 3) Memasang benda uji pada mesin uji tarik Zwick/Roell Z250 dengan baik dan tegak lurus dengan mesin uji tarik.
- 4) Mengatur parameter pengujian seperti kecepatan pengujian, metode pengujian, dan batas beban sesuaikan dengan standar yang berlaku.
- 5) Memulai pengujian dengan tekan tombol start pada software pengontrol mesin uji tarik Zwick/Roell Z250 untuk memulai pengujian.
- 6) Memantau pengujian selama pengujian berlangsung, memantau grafik yang ditampilkan pada software pengontrol mesin uji tarik Zwick/Roell Z250 Grafik tersebut menunjukkan nilai beban yang diterapkan pada benda uji dan perubahan panjang benda uji.
- 7) Stop Pengujian dapat dihentikan secara manual atau otomatis ketika benda uji pecah atau batas beban telah tercapai.
- 8) Menganalisis data setelah pengujian selesai, data hasil pengujian dianalisis menggunakan software pengontrol mesin uji tarik Zwick/Roell Z250. Data tersebut digunakan untuk menentukan

sifat mekanik bahan seperti kekuatan tarik, modulus elastisitas, dan regangan patah.

- 9) Mematikan mesin dengan menekan tombol power untuk mematikan mesin uji tarik Zwick/Roell Z250.

c. Termometer digital

Termometer digital digunakan untuk mengetahui suhu panas yang dihasilkan panas dari hasil gesekan material



Gambar 3.3 Termometer digital

Sumber:(multimeter-digital.com)

Berikut langkah-langkah umum untuk menggunakan termometer digital:

- 1) Hidupkan Termometer: Hidupkan termometer dengan menekan tombol on
- 2) Siapkan Sensor: Pastikan sensor termometer bersih dan steril agar pengukuran tidak terjadi error
- 3) Lakukan Pengukuran: Arahkan sensor termometer ke area permukaan area welding ketika terjadi proses friction stud welding
- 4) Baca Hasil Pengukuran: Hasil pengukuran akan muncul di layar termometer digital. Biasanya, suhu ditampilkan dalam derajat Celsius (°C)

- 5) Matikan Termometer: Setelah selesai menggunakan termometer, matikan daya dengan pencet off

2. Bahan

a. Magnesium AZ31

Magnesium AZ31 adalah bahan material yang digunakan dalam penelitian ini, dengan diameter 14.5 cm dengan panjang 13 cm, ada yang menggunakan sudut *chamfer* 45° dan ada yang tidak menggunakan sudut *chamfer*, sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 3.4 dibawah ini:



Gambar 3.4 Material Magnesium AZ31

b. Besi plat KS ST37

Besi plat KS ST37 adalah bahan material yang digunakan dalam penelitian ini, dengan dimensi 5x5 cm dengan ketebalan 3 ml sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 3.5 dibawah ini:



Gambar 3.5 Besi Plat KS ST37

C. Prosedur Penelitian

Proses pengelasan dengan metode *friction welding* dilakukan di laboratorium Produksi Universitas Lampung, Bandar Lampung. Adapun prosedur penelitian yang digunakan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Prosedur Pengelasan Las Gesek *Friction Stud Welding*

Friction Stud Welding (FSW) adalah metode pengelasan yang digunakan untuk menggabungkan *stud* atau baut ke permukaan logam lainnya dengan menggunakan panas gesekan dan tekanan yang dihasilkan oleh gerakan putar. Berikut ini adalah prosedur pengelasan FSW untuk las gesek:

- a. Persiapan bahan kerja: Pastikan permukaan bahan kerja telah dibersihkan dari kotoran dan karat. Pasang *stud* pada posisi yang tepat.
- b. Pasang spesimen las: Pasang spesimen Magnesium AZ31 dan besi plat KS ST37 pada mesin bubut
- c. Atur tekanan: Atur kecepatan putar pada kecepatan 2200 rpm.
- d. Mulai pengelasan: Hidupkan mesin but dan mulai pengelasan. Posisikan *stud* pada permukaan bahan kerja dan mulai gerakan putar. Tekan *stud* ke permukaan bahan kerja dengan kuat dan biarkan gerakan putar melunakkan ujung *stud*.
- e. Selesaikan pengelasan: Setelah ujung *stud* meleleh, hentikan gerakan putar dan tekan *stud* dengan kuat ke permukaan bahan kerja. Biarkan *stud* dan permukaan bahan kerja mendingin.
- f. Inspeksi: Inspeksi hasil las untuk memastikan bahwa pengelasan telah dilakukan dengan benar dan sesuai dengan spesifikasi.
- g. Finishing: Finishing dapat dilakukan dengan mengamplas atau membersihkan permukaan las yang telah jadi.

2. Prosedur Pengujian Tarik

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

- a. Menyiapkan spesimen yang akan di uji menggunakan pengujian tarik.
- b. Melakukan pengukuran panjang awal dari spesimen yang akan di uji tarik dan menandai atau memberi *gauge length* pada spesimen.

- c. Melakukan pengukuran dimensi kepada spesimen mencatat jenis spesimen dan datapengukuran pada lembar kerja.
- d. Melakukan pengujian tarik sampel dengan menempatkan sampel pada tempat pengujian di mesin uji tarik dan melakukan pembebanan tarik sampai benda uji putus.
- e. Mengambil dan mencatat data dari hasil pengujian tarik seperti tegangan luluh dan tegangan tarik.
- f. Melepaskan spesimen dari alat uji tarik.
- g. Mengukur panjang regangan yang terjadi atau posisi patah spesimen.
- h. Mengulangi langkah diatas untuk seluruh spesimen agar mendapat data yang diinginkan.

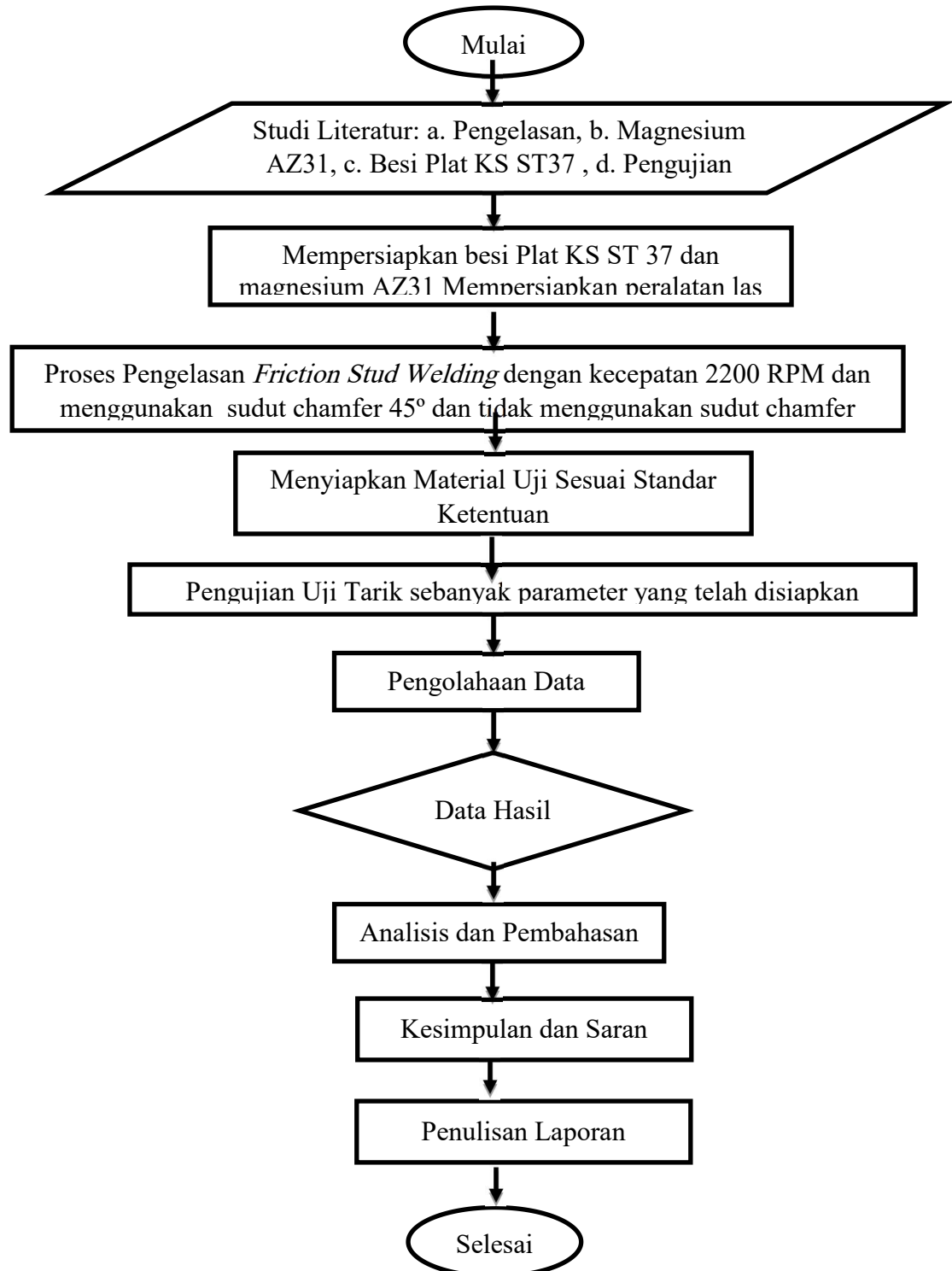
D. Metode Penelitian

Metode penelitian pada skripsi tentang *friction stud welding* dapat dilakukan dengan menggunakan metode eksperimental. Berikut adalah tahapan-tahapan yang dapat dilakukan dalam metode penelitian pada skripsi *friction stud welding*:

1. Menentukan masalah yang akan diteliti, yaitu pengujian tarik *magnesium AZ31* dan besi Plat KS ST37 pada las *stud* gesek (*Friction Stud Welding*)
2. Melakukan studi literatur terkait dengan *friction stud welding*, parameter *welding*, sifat mekanik dan mikrostruktur, serta material yang akan digunakan.
3. Menentukan variabel bebas (parameter *welding*) dan variabel terikat (sifat mekanik) yang akan diukur. Tentukan juga material dan mesin *friction stud welding* yang akan digunakan.
4. Pengujian sifat mekanik untuk menentukan hasil las: Lakukan pengujian sifat mekanik pada *friction stud welding* yang telah dibuat, seperti kekuatan tarik
5. Analisis data: Analisis data memakai metode kualitatif dan kuantitatif
6. Pembahasan hasil: Membahas hasil percobaan dengan menghubungkan antara hasil yang diperoleh dengan studi literatur dan rancangan percobaan.

7. Saran: Memberikan saran untuk penelitian selanjutnya berdasarkan temuan dari penelitian yang telah dilakukan.

E. Diagram Alur Penelitian



Gambar 3.6 Diagram Alur Penelitian

F. Pengambilan Data

Adapun data yang diperoleh pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

Data Uji Tarik

Dalam pengujian tarik diperoleh hasil tegangan luluh, tegangan maksimum, modulus elastisitas, 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 3.2 Data Hasil Uji tarik

No	Variasi Chamfer	Kecepatan putaran (rpm)	Lama Waktu (Menit)	Spesimen	Tegangan maksimum (MPa)	Posisi patah	Rata-rata
1	No Chamfer	2200 rpm	2 Menit	1	0.699		0.812
				2	0.926		
2	45°			3	1.016		1.090
				4	1.164		

V. PENUTUP

A. 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 2200 Rpm dengan menggunakan sudut *chamfer* 45° dengan nilai tegangan maksimum 1.164 MPa. Dan yang memiliki nilai tegangan maksimum terendah yaitu pada variasi kecepatan putaran 2200 rpm dengan tanpa sudut *chamfer* dengan nilai tegangan maksimum 0.699 MPa
2. Seluruh material uji tarik yang telah dilakukan pengelasan gesek stud (*friction stud welding*) berdasarkan variasi sudut *chamfer* dan tidak menggunakan sudut *chamfer* dan kecepatan putar 2200 rpm diperoleh hasil yang tidak begitu memuaskan karena patahan terjadi di area lasan (*weld zone*).

B. Saran

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

1. Untuk penelitian selanjutnya lebih baik menambahkan variasi kecepatan putar dan variasi sudut *chamfer*.
2. Untuk penelitian selanjutnya bisa menggunakan material berbeda yang dengan variasi ketebalan plat.

DAFTAR PUSTAKA

- Buldum B. B., Sik A, Ozkul. I. 2011. *Investigation of Magnesium Alloys Machinability. International Journal of Electronics: Mechanical and Mechatronics Engineering*. Vol. 2, No. 3. pp. (261-268).
- Darsin, M., Sumarji, S., & Sudrajat, A. (2012). Analisis Sifat Mekanik Hasil Pengelasan Aluminium AA 1100 Dengan Metode *Friction Stir Welding* (FSW). ROTOR. Vol. 5, No. 1. pp. (8-17).
- Firmansyah. (2021) Analisis Kekuatan Tarik Sambungan Aluminium (Al) dan Tembaga Cu) Pada Pengelasan Gesek (Friction Welding) Dengan Variasi Waktu Gesek dan Tempa. Jurnal. Vol. 23, No. 3
- Hermawa, Sugiyanto (20133). Analisa Hasil Pengelasan Gesek Pada Sambungan Sama Jenis Baja ST 60, Sama Jenis AISI 201, Dan Beda Jenis Baja ST 60 Dan AISI 201. Vol.1, No. 4, pp. 46-53.
- Husodo. (2013). Penerapan Teknologi Las Gesek (Friction Welding) Dalam Rangka Penyambungan Dua Buah Logam Baja Karbon St41 pada Produk Back Spring Pin. Vol.6, No. 1. pp. (1-94).
- Iqbal, Muhammad. (2018). Studi Sifat Mekanik Magnesium AZ31 Hasil Proses Pengecoran Tekan (Squeeze Casting). Jurnal. Vol. 11, No. 1. PP. 1-5
- Jebaraj, D. Jones Joseph. dan Sankanaranayan, R. (2020). *Friction stud welding - An overview. AIP Conference Proceedings* 2220, 140049.
- Lamidi, M. Miftah Alkautsar. (2020). Pengaruh Gaya Tekan Terhadap Kekuatan Bending Pengelasan Gesek BAJA ST60. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Mesin. Universitas Muhammadiyah Malang.
- Ardian Prabowo, Irza Sukmana, Yanuar Burhanuddin. (2017). Las Gesek (*Friction Stud Welding*) Logam Tidak Sejenis Magnesium AZ-31 Terhadap Aluminium AL-13. Jurnal. Vol. 8
- Nafsana upara , Azhari nugroho (2019), *Friction Welding* Pengaruh Parameter Proses Las Gesek Rotari Pada Kekuatan Sambungan Las Baja Karbon Rendah Jurnal. Vol.5, No. 4

- Nasution . (2018). *Friction Welding Off AZ31 - SS316L For Partielly Degredable Orthopaedic Pins*. Vol.10, No 1088. pp. 1757-899x.
- Nicholas, E.D. (1984). *Undewater Friction Welding For Electrical Coupling of Sacrificial Anodes*. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*. DOI: 10.1115/1.4028466
- Nur Husodo, Budi. (2013). Penerapan Teknologi Las Gesek Dalam Rangka Penyambungan Dua Buah Logam Baja Karbon ST41 Pada Produk *Back Spring Pin*. *Jurnal*. Vol.6, No.1. 1-94
- Putra, Idra; K, Arwizet. (2019). Analisis Kekuatan Tarik dan *Impact* Hasil Sambungan Las Gesek Pada Baja ST 37. *Jurnal*. Vol.1, No.4. pp. 914-920.
- Sai'in, A., & 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. pp. 10-19.
- Sanyoto, Budi Luwar; (2012). Penerapan Teknologi Las Gesek (Friction Welding) Dalam Proses Penyambungan Dua Buah Pipa Logam Baja Karbon Rendah. *Jurnal*. Vol.5, No.1. ISSN 2541-5328.
- Saputra, Robby. (2018). Efek Pelumasan Metode Minimum Quantity Lubrication(MQL) Terhadap Kualitas Permukaan Benda Kerja Magnesium. *Jurnal*. Vol. 1, No. 4
- Sari, N. H. (2018). *Material Teknik*. Yogyakarta: *Deepublish*. 2018: 93-102. Buku.
- Sari, N.H.; Suteja; Lelio, R.C. (2021). *Corrosion protection by sacrificial anode method on underground solar pipe installation: a case study in the Lombok Gas Engine Combine Cycle Power plant (Peaker)* 130-150 MW. *Jurnal* . Vol.6, No.2.
- Satyadianto, D. (2015). Las Gesek (*Friction Welding*) Dengan Menggunakan Baja *Effect of Friction Pressure, Forge Pressure, and Friction Time Variation To Impact Strength in Friction Welding Joint Using Aisi 4140 Alloy*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Situmeang, Ian Desi Rosalina; Komalasari; Evelyn. 2019. Proteksi Katodik Dengan Menggunakan Anoda Korban Pada Struktur Baja Karbon Untuk Mengendalikan Laju Korosi. *Jurnal*. Vol. 6
- Setiawan .F. (2013). Karakterisasi Penyalaan *Magnesium* AZ31 Pada Proses Bubut Menggunakan Aplikasi Thermografi. Tugas Akhir. Universitas Lampung, Bandar Lampung.

- Solihin, K. Ummah, I. Sukmana, "Pengaruh Waktu Kontak Gesek Las Magnesium AZ-31 Terhadap Kualitas Sambungan *Friction Welding*. Jurnal. Vol. 10, No. 1. pp. 2541-5328.
- Utomo, Budi. 2009. Jenis Korosi Dan Penanggulangannya. Jurnal. Program Diploma III Teknik Perkapalan. Jurnal. Vol. 6, No. 2.
- Wiryosumarto, Okumura, T. (2004). Metal Hand Book. *ASM Hand Book Committee*. Vol. 9
- Wiryosumarto, Harsono, Toshie Okumura (1996), Teknologi Pengelasan Logam, Cetakan Ke-7, PT. Pradnya Paramita, Jakarta