

**PENGARUH BENTUK PIN INDENTOR LAS GESEK PUNTIR
(*FRICTION STIR WELDING*) TERHADAP KUALITAS HASIL
PENGELASAN MAGNESIUM AZ31**

(Skripsi)

**Oleh
FAUZI IBRAHIM**



**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2018**

ABSTRAK

PENGARUH BENTUK PIN INDENTOR LAS GESEK PUNTIR (*FRICTION STIR WELDING*) TERHADAP KUALITAS HASIL PENGELASAN MAGNESIUM AZ31

Oleh

FAUZI IBRAHIM

Magnesium merupakan salah satu jenis material yang bisa digunakan sebagai logam dasar dalam pengelasan, karena pada dasarnya magnesium memiliki sifat yang diunggulkan, diantaranya memiliki kepadatan rendah, keuletan yang baik, kekuatan menengah serta ketahanan korosi yang baik, karena sifat – sifat ini maka logam tersebut penggunaannya sangat luas, mulai dari barang – barang keperluan rumah tangga sampai komponen pesawat terbang. Apabila dilihat dari berat jenis magnesium, logam dasar ini termasuk golongan yang ringan yaitu $1,74 \text{ g / cm}^3$ dan $1,83 \text{ g / cm}^3$.

Pengelasan merupakan proses penggabungan dua atau lebih logam dasar yang disatukan di permukaan kontakannya dengan atau tanpa zat penambah maupun pengisi. Pengelasan terbagi menjadi dua kategori utama yaitu *Liquid-State Welding* dan *Solid-State Welding*. *Friction Stir Welding* merupakan salah satu contoh pengelasan *Solid-State Welding (Non-Fusion Welding)*.

Friction Stir Welding (FSW) atau Las Gesek Puntir adalah proses pengelasan gesek yang memuntir *tool* dengan memanfaatkan energi panas dan penekanan tanpa zat penambah maupun pengisi hingga terjadi perubahan fasa pada logam dasar. Parameter proses pengelasan yang dilakukan pada penelitian ini adalah bentuk pin indentor yaitu, *cone shape* dan *spiral shape* dengan putaran *tool* 2000 rpm dan kecepatan pengelasan 16 mm/menit. Adapun pengujian yang dilakukan yaitu, pengujian tarik dan pengujian kekerasan.

Hasil dari penelitian ini adalah ditemukan bahwa bentuk pin indentor, putaran *tool* dan kecepatan pengelasan sangat mempengaruhi sifat – sifat mekanik magnesium AZ31 yang telas dilas. Bentuk pin indentor *spiral shape* akan meningkatkan luas adukan sedangkan bentuk pin *cone shape* luas adukan kecil namun tampilan las lebih sempurna dengan kekuatan tarik yang baik, sedangkan nilai kekerasan kedua bentuk pin indentor hampir mendekati sama, hanya *spiral shape* lebih unggul.

Keywords: magnesium AZ31, pengelasan, *friction stir welding*

ABSTRACT

THE INFLUENCE OF TYPE INDENTOR FRICTION STIR WELDING TOWARD QUALITY OF MAGNESIUM AZ31 WELDING PRODUCT

**By
FAUZI IBRAHIM**

Magnesium is one of type materials it can be used as base metal in welding, basically because of magnesium has the superior characteristics, among of them has the low density, the good perseverance, the middle strength along with the good endurance corrosion, because all of characteristics it is used then very broad of metal, commence from necessity items of household till aircraft components. Image of magnesium, this metal belongs to the lightweight groups they are 1.74 g / cm³ and 1.83 g / cm³.

Welding is the process of combining two or more base metals together on the contact surface with or without additives and fillers. Welding divided into two main categories namely Liquid-State Welding and Solid-State Welding. Friction Stir Welding is one of example in welding Solid-State Welding (Non-Fusion Welding).

Friction Stir Welding (FSW) or Las Gesek Puntir is a welding rotating process that twists the tool by using heat and vigor energy without additives until take a change delivery to the end of the base metal. Parameter of welding process done in this research that is a form of Indentor pin they are, cone shape and spiral shape with tool of rotations 2000 rpm and welding speed 16 mm / minutes. Tests conducted are, tensile and violent testing.

The results of this research were found in the form of Indentor pins, turning tools and welding speed greatly affect the mechanical characteristics of magnesium AZ31 that were welded. The Indentor pin shape of spiral shape will increased an area of the mortar while the form of pin cone shape is small but the weld look is more perfect with a good tensile strength, whereas the percentage of both forms the Indentor pin is almost the same face, only the spiral shape is superior.

Keywords: magnesiumAZ31, welding, friction welding

**PENGARUH BENTUK PIN INDENTOR LAS GESEK PUNTIR
(*FRICTION STIR WELDING*) TERHADAP KUALITAS HASIL
PENGELASAN MAGNESIUM AZ31**

Oleh

Fauzi Ibrahim

Skripsi

**Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2018**

Judul Skripsi : **PENGARUH BENTUK PIN INDENTOR
LAS GESEK PUNTIR (*FRICTION STIR
WELDING*) TERHADAP KUALITAS
HASIL PENGELASAN MAGNESIUM AZ31**

Nama Mahasiswa : **Fauzi Ibrahim**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1415021044

Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik



Pembimbing I

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Irza".

Irza Sukmana, S.T., M.T., Ph.D.
NIP 19700812 200112 1 001

Pembimbing II

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Tarkono".

Tarkono, S.T., M.T.
NIP 19700415 199802 1 001

2. Ketua Jurusan Teknik Mesin

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Ahmad Su'udi".

Ahmad Su'udi, S.T., M.T.
NIP 19740816 200012 1 001

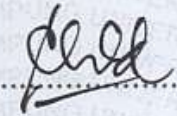
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Irza Sukmana, S.T., M.T., Ph.D.



Sekretaris : Tarkono, S.T., M.T.



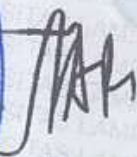
**Penguji
Bukan Pembimbing : Dr. Eng. Shirley Savetlana, S.T., M.Met.**



2. Dekan Fakultas Teknik



Prof. Dr. Suharno, M.Sc., Ph.D.
NIP 19620717 198703 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 30 Juli 2018

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kotabumi, pada tanggal 7 November 1996, sebagai anak pertama dari tiga bersaudara, putra dari Bapak Idham dan Ibu Liyawati.

Penulis menempuh pendidikan kanak-kanak di TK Dharma Wanita Hanura. Setelah itu penulis melanjutkan pendidikan dasar di SD Negeri 01 Hanura, Lampung Selatan tahun 2002 - 2008. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan menengah pertama di SMP Negeri 08 Bandar Lampung tahun 2008 - 2011. Penulis melanjutkan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 13 Bandar Lampung tahun 2011 - 2014. Tahun 2014, penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik (FT) Universitas Lampung (UNILA) melalui Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) dan melaksanakan kuliah di perguruan tinggi hingga meraih gelar Sarjana Teknik pada tahun 2018, serta mendapatkan beasiswa Peningkatan Prestasi Akademik (PPA) selama 6 semester, yakni semester dua hingga tujuh (2015-2017).

Selama menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Mesin FT UNILA, penulis aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) FT UNILA sebagai Anggota Muda Baru periode 2014 - 2015, Anggota Bidang Keagamaan

periode 2015 – 2016, dan Pimpinan Redaksi CREMONA FT UNILA 2016-2017. Selain itu juga, penulis pernah menjadi asisten dosen untuk kegiatan praktikum tiga matakuliah, yakni Menggambar Teknik, Fisika Teknik dan Statika Struktur baik di kelas maupun laboratorium. Pada awal tahun 2017, penulis melaksanakan Kerja Praktik di PT. PERTAMINA EP Jakarta Selatan dengan judul laporan “Penghitungan Ulang Pipa Bertekanan Tinggi Pada Unit *Separator* ke *Scrubber* di Aset 3 Area Subang (Stasiun Pengumpul Gas Pasir Jadi)”. Pada pertengahan tahun 2017, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) selama 40 hari di Desa Air Kubang, Kecamatan Air Nainingan, Kabupaten Tanggamus. Sejak bulan desember 2017 penulis mulai melakukan penelitian **“Pengaruh Bentuk Pin Indentor Las Gesek Puntir (*Friction Stir Welding*) terhadap Kualitas Hasil Pengelasan Magnesium AZ31”** dibawah bimbingan Bapak Irza Sukmana, S.T., M.T., Ph.D. selaku Pembimbing utama dan Bapak Tarkono, S.T., M.T., sebagai pembimbing pendamping.

الرَّحِيمِ الرَّحْمَنِ

“Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang”

*Atas Rahmat Allah SWT
Kupersembahkan Karya Sederhanaku ini
kepada ayah dan ibuku tercinta, adik-adikku tersayang, guru-
guruku yang ku hormati, dan seseorang yang akan mendampingi
hidupku kelak.*

*Karena sesungguhnya setelah kesulitan itu ada kemudahan
(Q.S Al. Insyirah : 5)*

*Never stop learning, because life never stops teaching
(Anonim)*

*Pemenang sejati adalah orang yang tidak pernah berhenti mencoba dan mencoba
untuk berhenti
(Anonim)*

*Believe in yourself
(Anonim)*

*Tidak ada masalah yang bermasalah yang menjadi masalah adalah cara kita
yang salah dalam memecahkan masalah
(Abdullah Gymnastiar)*

*Sometimes life doesn't give you what you want, not because you don't deserve it,
but because you deserve so much more
(Anonim)*

SANWACANA

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah puji syukur kehadirat Allah SWT. atas berkat rahmat, hidayah serta karunia-Nya dan tak lupa pula sholawat serta salam selalu tercurahkan kepada Nabi besar Muhammad SAW. sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini dengan judul, **“Pengaruh Bentuk Pin Indentor Las Gesek Puntir (*Friction Stir Welding*) terhadap Kualitas Hasil Pengelasan Magnesium AZ31”** sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Pada kesempatan kali ini penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Ayah dan ibu tercinta yang telah memberikan kasih sayang, membiayai sekolahku, membimbing, mendidik dan menasehatiku serta doa yang diberikan. Terima Kasih Ayah dan Ibu.
2. Adikku Fauzia Aini (Ani) dan Fitria Nuraini (Iti), terima kasih atas nasehat, doa, motivasi serta sabar menunggu penulis hingga dapat menyelesaikan studi.
3. Bapak Prof. Dr. Suharno, M.Sc., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
4. Bapak Ahmad Su'udi, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
5. Bapak Dr. Irza Sukmana, S.T., M.T., selaku pembimbing I dan Pembimbing Akademik yang telah banyak memberikan ilmu pengetahuan, bimbingan,

arahan, bantuan, dukungan, saran dan kritik kepada penulis dalam proses penyelesaian skripsi ini.

6. Bapak Tarkono, S.T., M.T. selaku Pembimbing II yang telah membimbing dan memberikan saran kepada penulis sebelum, saat, dan setelah penelitian hingga skripsi ini selesai disusun.
7. Ibu Dr. Eng. Shirley Savetlana, S.T., M.Met., selaku pembahas atas kesediaan memberikan arahan, koreksi, saran dan kritik untuk pelaksanaan penelitian dan penyusunan skripsi ini.
8. Bapak Isman Suhadi, S.Pd. Bapak Priyono, S.Pd, selaku Pembimbing Lapangan Balai Latih Kerja yang telah bersedia dan membantu dalam peminjaman alat maupun semua keperluan penelitian.
9. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung yang telah mendidik dan memberikan ilmu pengetahuan kepada penulis.
10. Seluruh karyawan dan staf Jurusan Teknik Mesin atas bantuan-bantuannya selama penulis menempuh pendidikan di Jurusan Teknik Mesin.
11. Teman-teman tersayang Hafiz, Herdi Cina, Amrizal, Algho, Lek jentak, Wahyu, Bang Chris (12), Angga (17) yang telah menjadi teman berbagi dukungan, saling membantu, menemani, berbagi pengetahuan, dan semangat dalam melaksanakan penelitian.
12. Mia Aulina, Dini Indria Putri dan Astiriana Septiriani sebagai sahabat seperjuangan untuk semangat, perhatian, dukungan, dan tempat curahan semoga kita akan selalu bersahabat hingga tua, Aamiin.

13. Seseorang yang akan mendampingi hidupku kelak hingga tua, semoga kita dipertemukan dan dipersatukan di jalan Allah dengan cara yang di ridhoi-Nya.
14. Kepada teman-teman angkatan 2014, terima kasih atas kekeluargaannya yang telah terjalin selama ini, salam SOLIDARITY M FOREVER.
15. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu secara tulus memberikan bantuan moril dan materil kepada penulis.

Semoga Allah SWT. Senantiasa membalas semua kebaikan-kebaikan yang telah kalian berikan. Akhir kata, penulis memohon maaf kepada semua pihak apabila skripsi ini masih terdapat kesalahan dan kekeliruan, semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat sebagaimana mestinya, Aamiin.

Bandar Lampung, 1 Juli 2018
Penulis,

Fauzi Ibrahim

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR GAMBAR	iii
DAFTAR TABEL	iv
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Sistematika Penulisan	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pengelasan.....	6
2.2 <i>Friction Stir Welding</i>	9
2.3 Magnesium.....	18
2.4 Uji Mekanik	20
2.5 Cacat pada Pengelasan <i>Friction Stir Welding</i>	26

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	29
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	30
3.3 Pelaksanaan Penelitian	34
3.4 Pengujian – Pengujian.....	36
3.5 Diagram Alir Penelitian	40

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Pengujian Kekerasan <i>Rockwell</i>	41
4.2 Analisa Pengujian Tarik.....	45

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan	53
5.2 Saran.....	54

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Klasifikasi Pengelasan	8
2. <i>Tool</i> sebelum dan sesudah pengelasan	10
3. <i>Tool Friction Stir Welding</i>	11
4. Struktur Mikro <i>Friction Stir Welding</i>	12
5. Magnesium Kristal	20
6. <i>Hydraulic Universal Testing Machine</i>	21
7. Kurva Tegangan – <i>Axial Displacement</i>	22
8. Prinsip <i>Rockwell</i>	25
9. Tipe cacat akibat ketidaksempurnaan <i>Friction Stir Welding</i>	26
10. Berbagai jenis cacat akibat ketidaksempurnaan pengelasan <i>FSW</i>	27
11. Plat Magnesium AZ31	30
12. Indentor Baja ST41	31
13. Mesin <i>Milling</i>	31
14. Mesin uji tarik	32
15. Alat uji kekerasan <i>rockwell</i>	33

16. Desain Plat Magnesium AZ31	34
17. Indentor <i>Cone Shape</i> dan <i>Spiral Shape</i>	35
18. Spesimen uji tarik E8/E8M	36
19. Diagram Alir Penelitian	40
20. Grafik Perubahan Nilai Kekerasan.....	42
21. Permukaan Spesimen yang telah dilakukan pengujian <i>rockwell</i>	44
22. Grafik Nilai <i>Ultimate Stress</i> dan <i>Yield Strength</i>	46
23. Spesimen sebelum dan sesudah uji tarik.....	48

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Komposisi Kimia dan Sifat Mekanik dari Magnesium AZ31	19
2. Skala untuk Metode Uji Kekerasan <i>Rockwell</i>	24
3. Hasil Pengelasan <i>Cone</i> dan <i>Spiral Shape</i>	28
4. <i>Time Schedule</i> Penelitian.....	29
5. Data Uji Tarik.....	37
6. Data Uji Kekerasan	38
7. Data Hasil Uji Kekerasan <i>Rockwell</i>	41
8. Data Hasil Uji Tarik	45
9. Jenis Cacat dan Hasil Pengelasan.....	48

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemikiran manusia akan penggunaan teknologi semakin luas dan berkembang. Saat ini saja teknik pengelasan telah dipergunakan dalam banyak aplikasi material dengan variasi metode yang berbeda. Apabila dilihat secara luas pengelasan telah dipakai dalam penyambungan batang-batang pada konstruksi bangunan logam maupun konstruksi mesin. Secara terperinci las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair dalam sambungan setempat dengan menggunakan energi panas. Penggunaan dan pengembangan teknologi las kini meliputi bidang perkapalan, bidang pesawat, kendaraan rel, rangka baja serta lain sebagainya (Wiryo Sumarto dan Okumura, 1996).

Proses penyambungan pada logam plat, batang maupun poros terbagi menjadi dua kelompok sesuai dengan keadaan bahan dasar selama proses pengelasan berlangsung yaitu *Liquid-State Welding (Fusion Welding)* dan *Solid-State Welding (Non-Fusion Welding)*. Pengelasan *Solid-State Welding (Non-Fusion Welding)* dua

bagian logam dasar didekatkan atau ditempelkan dengan dikombinasikan antara tekanan dan panas. Jika panas diterapkan, suhu kontak berada di bawah titik leleh logam dasar tersebut (Marinov, 2010). Salah satu proses pengelasan *Solid-State Welding* adalah *Friction Stir Welding (FSW)* atau yang lebih dikenal Las Gesek Puntir. *Friction Stir Welding (FSW)* adalah proses pengelasan gesek yang memuntir *tool* dengan memanfaatkan energi panas dan penekanan tanpa zat penambah maupun pengisi hingga terjadi perubahan fasa pada logam dasar, setidaknya memerlukan satu bagian yang ingin digabungkan sepanjang penampang melintang yang dibutuhkan serta logam dasar yang biasa digunakan berbentuk plat. Proses *FSW* berlangsung dalam fase padatan dibawah titik leleh logam dan mampu mengelas berbagai logam dasar seperti alumunium, magnesium, perunggu, titanium dan baja (Singh, 2012).

Magnesium merupakan salah satu jenis material yang bisa digunakan sebagai logam dasar dalam pengelasan *Friction Stir Welding (FSW)*, karena pada dasarnya magnesium memiliki sifat yang diunggulkan, diantaranya memiliki kepadatan rendah, keuletan yang baik, kekuatan menengah serta ketahanan korosi yang baik (Buldum, *et al.*, 2011). Apabila dilihat dari berat jenis magnesium, logam dasar ini termasuk golongan yang ringan yaitu $1,74 \text{ g/cm}^3$. Selain itu juga magnesium dapat dipergunakan sebagai unsur pepadu dalam berbagai bentuk bersamaan dengan memperbaiki sifat mekanik logamnya contohnya seperti alumunium. Ini digunakan terutama sebagai bahan paduan dalam berbagai bentuk, termasuk tuang, tempa, ekstrusi, digulung untuk lembaran, dan plat. Kerak bumi merupakan salah satu tempat adanya magnesium yaitu sekitar 2,7%. Magnesium tidak ditemukan dalam bentuk logam tetapi terdapat di alam sebagai karbonat, dolomit,

dan magnesit. Sumber utama magnesium ada di air laut (Brown *and* Kutz, 2006). Namun, magnesium terdapat kekurangan seperti titik nyala magnesium lebih rendah dibandingkan titik lelehnya karena sifat ini magnesium mudah terbakar pada suhu tinggi yang membuat bahan tersebut sulit dilakukan proses pengelasan. Masalah utama yang dihadapi dalam pengelasan paduan magnesium adalah adanya porositas dan emisi sejumlah besar asap tidak beracun pada pengelasan busur. Dengan adanya *Friction Stir Welding (FSW)* yang ramah lingkungan karena tidak ada asap atau percikan serta tidak adanya silauan busu nyala pada fusion. Proses pengelasan ini tidak memerlukan banyak biaya karena tidak mempergunakan *filler metal* dan hanya membutuhkan input energi yang rendah serta daerah *TMAZ (Thermomechanically Affected Zone)* lebih kecil dibandingkan pengelasan busur nyala (Wijayanto dan Anelis, 2010).

Namun berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan (Muhammad Iqbal, 2013) hasil pengelasan kurang maksimal seperti bagian bawah plat tidak ikut tercampur ketika proses pengelasan berlangsung, banyak nya *surface tearing*, sehingga nilai kekerasan pada daerah pengelasan menurun begitu pula nilai tegangan regangan, hal ini diakibatkan variasi bentuk pin indentor hanya satu. Maka dari itu penelitian ini bertujuan melihat kualitas terbaik dari bentuk indentor dan sifat mekanik logam dasar magnesium AZ31 dengan memvariasikan bentuk pin indentor yaitu: *cone shape* dan *changing spiral shape*, sedangkan kecepatan rotasi indentor yaitu 2000 rpm. Kemudian pada hasil pengelasan akan dilakukan pengujian seperti: uji tarik (E8/E8M-09) dan uji kekerasan terhadap magnesium AZ31 dengan *Friction Stir Welding (FSW)*.

1.2 Tujuan

Mengetahui pengaruh bentuk pin indenter pada sambungan plat magnesium AZ31 (*similiar metal*) dengan menggunakan metode *Friction Stir Welding (FSW)* dan mengetahui sifat mekanik dengan cara pengujian tarik dan uji kekerasan *rockwell* serta hasil sebelum dan sesudah pengelasan dengan perbedaan variasi bentuk pin indenter yaitu: *cone shape* dan *spiral shape*.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah diberikan agar pembahasan dari hasil yang didapatkan lebih tertuju dan tersusun dengan baik. Adapun batasan masalah yang diberikan pada penelitian ini, yaitu:

1. Bahan awal Magnesium AZ31 berupa Magnesium *casting* atau hasil pengecoran logam dan Baja ST41 untuk indenter.
2. Logam dasar yang dipergunakan dua plat magnesium AZ31 (*similiar metal*).
3. Metode pengelasan dengan cara *Solid-State Welding (Non-Fusion Welding)* yaitu *Friction Stir Welding (FSW)*.
4. Pengujian yang akan dilakukan adalah pengujian tarik dan uji kekerasan *rockwell*.
5. Kedua permukaan logam dasar difrais terlebih dahulu agar rata pada saat proses pengelasan.
6. Indenter yang digunakan *cone* dan *spiral shape*.

1.4 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Bab I Pendahuluan : Pendahuluan berisi latar belakang, tujuan, batasan masalah dan sistematika penulisan.
- Bab II Tinjauan Pustaka : Tinjauan pustaka membahas mengenai pengelasan, *friction stir welding*, magnesium, uji mekanik dan cacat pada pengelasan *friction stir welding*.
- Bab III Metodologi Penelitian : Metodologi penelitian berisi waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan penelitian, pengujian – pengujian dan diagram alir penelitian.
- Bab IV Hasil dan Pembahasan : Hasil dan pembahasan berisi data, hasil penelitian dan pembahasan.
- Bab V Kesimpulan dan Saran : Penutup berisi hasil akhir berupa kesimpulan serta saran.

Daftar Pustaka

Lampiran

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengelasan

Pada tahap – tahap permulaan dari pengembangan teknologi pasti kita pernah mendengar kata penggabungan atau *joint*. Istilah kata penggabungan atau *joint* umumnya tidak digunakan untuk *welding* saja, selain *welding* terdapat beberapa macam penggabungan atau *joint* yaitu: *brazing*, *soldering*, dan *adhesive bonding*. Kata penggabungan atau *joint* bisa diartikan membentuk sambungan permanen antara bagian-bagian dua atau lebih logam dasar yang tidak mudah dipisahkan. Las sendiri berarti ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair dalam sambungan setempat dengan menggunakan energi panas, sedangkan pengelasan merupakan proses penggabungan dua atau lebih logam dasar yang disatukan di permukaan kontakannya dengan atau tanpa zat penambah maupun pengisi (Kenyon dan Ginting, 1985).

Pengelasan terbagi menjadi dua kategori utama yaitu *Liquid-State Welding (Fusion Welding)* dan *Solid-State Welding (Non-Fusion Welding)*. *Liquid-State Welding (Fusion Welding)* adalah tipe pengelasan yang pada inti prosesnya

memerlukan zat penambah atau pun pengisi, diantara nya seperti *Arc Welding*,
Resistance *Welding*,

dan *Oxyfuel Gas Welding*. Hal ini berbeda dengan *Solid-State Welding (Non-Fusion Welding)* yang hanya memanfaatkan energi panas akibat gesekan dan tekanan yang ditimbulkan akibat logam dasar yang akan dilas, contohnya seperti *Forge Welding, Cold Welding, Roll Welding, Hot Pressure Welding, Diffusion Welding, Explosion Welding, Friction Welding* dan *Friction Stir Welding* (Iqbal, 2014).

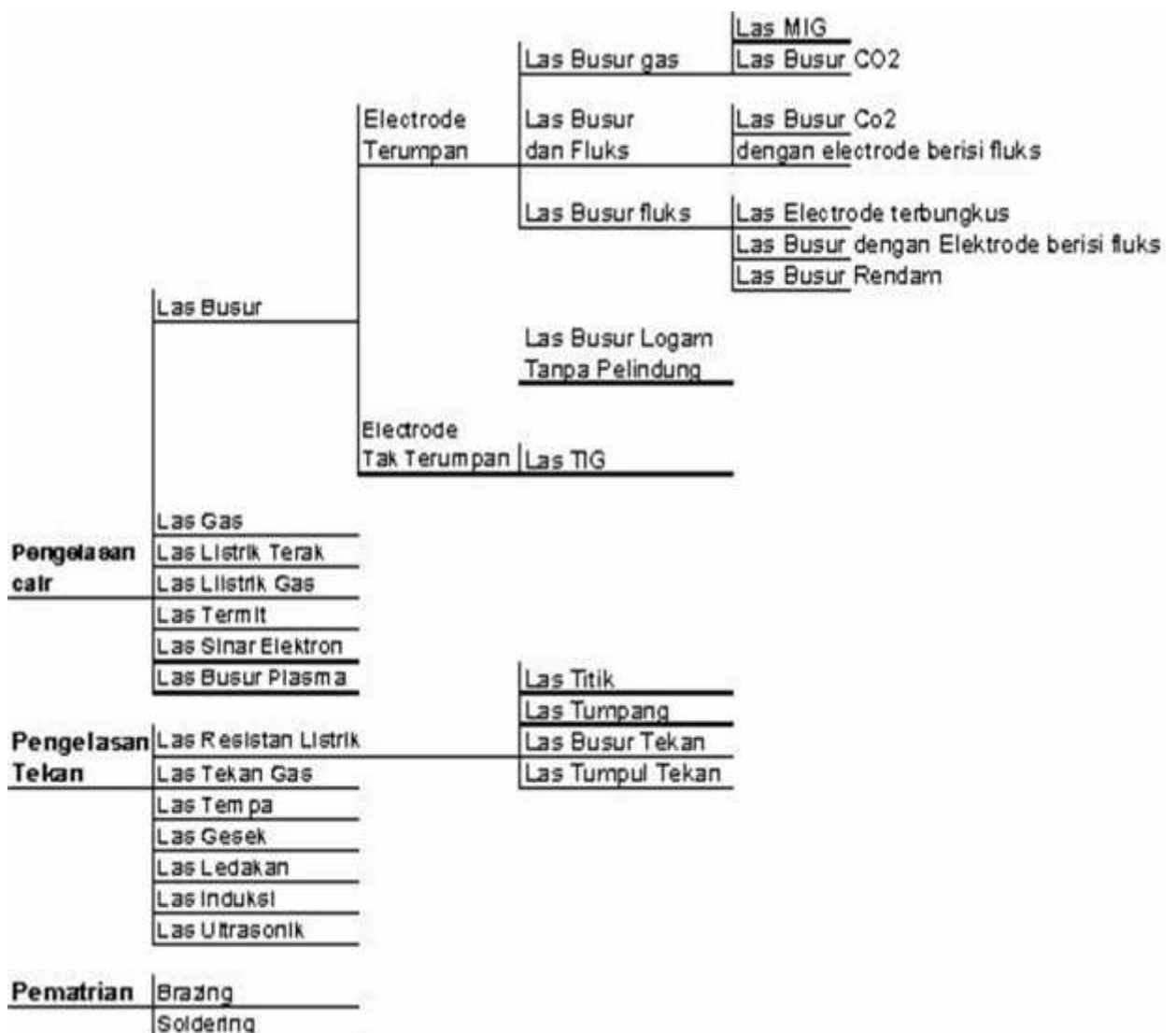
2.1.1 Jenis Pengelasan

Hingga sekarang pengelasan mulai dikembangkan sampai berbagai macam yang telah diciptakan demi memenuhi kebutuhan dan terdapat dua klasifikasi dalam pengelasan. Seperti klasifikasi berdasarkan cara kerja dan klasifikasi berdasarkan energi yang digunakan serta berdasarkan klasifikasi tersebut pengelasan dapat dibagi dalam pengelasan cair, pengelasan tekan dan pematrian.

1. Jenis pengelasan ini pertama kali diperkenalkan dan masih terpakai hingga saat ini dan pengelasan cair merupakan cara pengelasan dengan letak sambungan dipanaskan hingga mencair dengan sumber panas dari busur listrik atau semburan api gas yang terbakar.
2. Pengelasan tekan merupakan jenis pengelasan yang telah diubah prinsip kerjanya. Cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu. Pengelasan ini kerap kali dipergunakan untuk jenis material yang sulit dilakukan pengelasan, seperti aluminium dan magnesium.

3. Generasi pengelasan berikutnya adalah Pematrian. Pematrian adalah cara pengelasan dimana sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah. Dalam cara ini logam induk tidak turut mencair.

Pada gambar 1 terdapat contoh klasifikasi pengelasan cair, pengelasan tekan dan pematrian.



Gambar 1. Klasifikasi Pengelasan (Saputra, 2017).

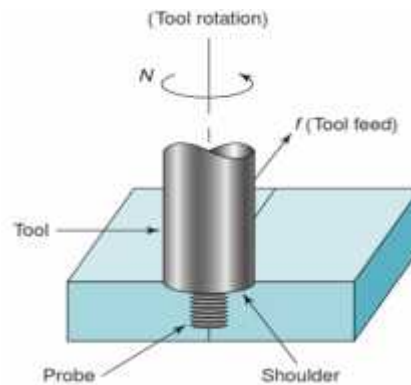
2.1.2 Pengelasan Magnesium

Kian bertambah dan lebih baiknya suatu material atau logam dasar dapat dipastikan teknologi pengelasan akan berkembang untuk mengimbangi proses pengelasan nya. Dalam hal ini proses pengelasan magnesium dibagi dalam dua kategori utama, yaitu pengelasan lebur dan pengelasan padat. Berdasarkan pengelasan lebur magnesium, jenis pengelasan ini menggunakan panas untuk meleburkan permukaan yang akan disambung, beberapa operasi menggunakan logam pengisi dan yang lain tanpa logam pengisi. Dalam pengelasan lebur magnesium dan paduannya, pada umumnya menggunakan proses seperti las TIG (*tungsten inert gas*) maupun las MIG (*metal inert gas*), sedangkan jenis pengelasan padat proses penyambungannya menggunakan panas dan tekanan, tetapi tidak terjadi peleburan pada logam dasar dan tanpa penambahan logam pengisi contohnya *friction welding* maupun *friction stir welding* (Tarmizi dan Hutapea, 2015).

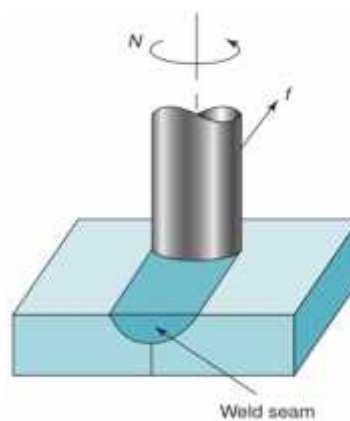
2.2 *Friction Stir Welding*

Friction Stir Welding (FSW) atau Las Gesek Puntir adalah proses pengelasan gesek yang memuntir *tool* dengan memanfaatkan energi panas dan penekanan tanpa zat penambah maupun pengisi hingga terjadi perubahan fasa pada logam dasar, setidaknya memerlukan satu bagian yang ingin digabungkan sepanjang penampang melintang yang dibutuhkan serta logam dasar yang biasa digunakan berbentuk plat. Las Gesek Puntir pertama kali dikembangkan pada tahun 1991 di

Welding Institute terletak di lokasi Cambridge, Inggris. Pada gambar 2a *probe* dan *shoulder* bergerak dengan cara memuntir lalu bergesekan dengan permukaan logam dasar yang akan digabungkan, sebagian besar panas terus meningkat akibat adanya gesekan logam dasar dengan *tool*, sementara *probe* terus menghasilkan panas tambahan karena sifat mekanis dari campuran logam di sepanjang permukaan lasan dan gambar 2a menunjukkan hasil yang sudah dilas (Groover, 2010). Terdapat beberapa geometri *probe* untuk mempermudah dalam proses pengadukan cairan logam dasar seperti *oval shape*, *paddle shape*, *re-entrant* dan *changing spiral form* (Bradley and James, 2000).



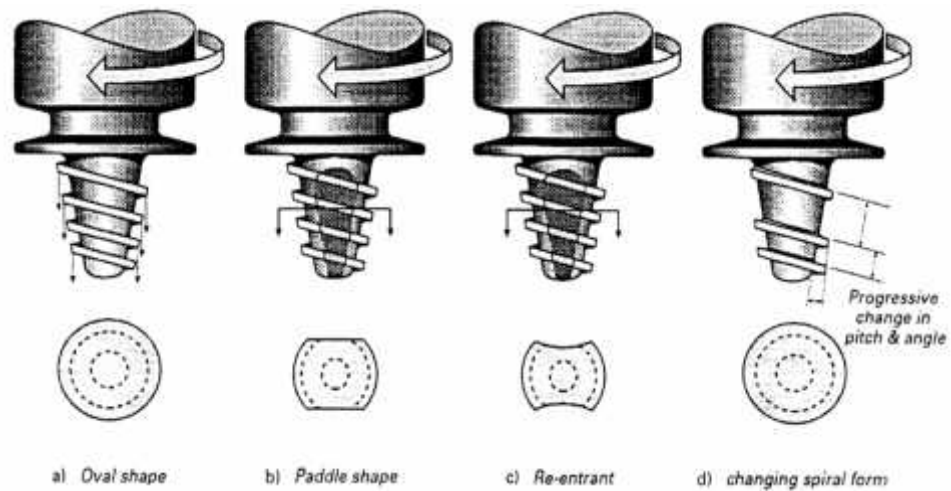
(a)



(b)

Gambar 2. (a) *Tool* berputar sebelum pengelasan, (b) Bagian yang sudah selesai dilas “N” *rotation tool* dan “f” *tool feed* (Groover, 2010).

Pada bagian *tool* terdapat berbagai macam pin seperti pada gambar 3 yaitu *opal shape*, *paddle shape*, *re-entrant* dan *changing spiral form*.



Gambar 3. *Tool Friction Stir Welding* (Bradley and James, 2000).

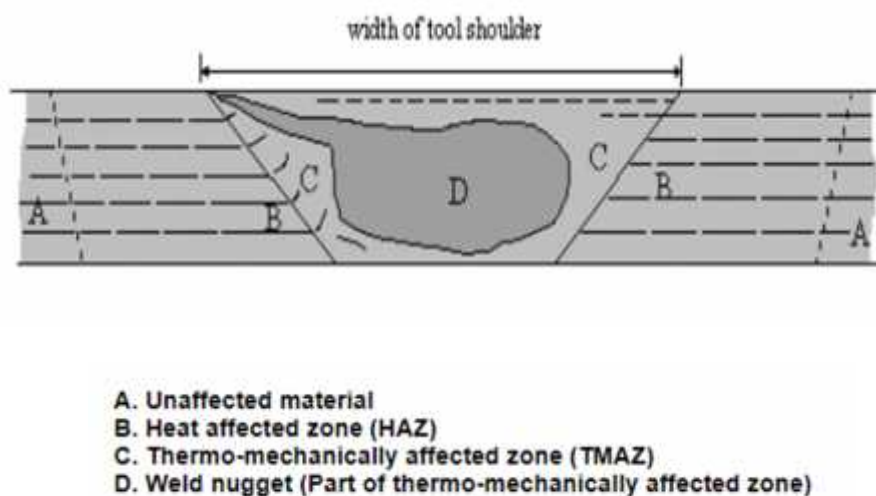
2.2.1 Cara Kerja *Friction Stir Welding*

Terdapat beberapa tahapan yang harus dilakukan sebelum pengerjaan Las Gesek Puntir yaitu seperti penyiapan dan pemasangan *tool* (pahat) las pada bahu pencekam dan kemudian berikan putaran yang tetap terhadap *tool*, setelah itu menempatkan *tool* pada daerah yang akan dilakukan pengelasan (*weld line*). *Weld Line* merupakan batas antara dua benda kerja, sehingga dengan adanya putaran dan gesekan antara indenter dan benda kerja maka terjadilah panas. Lalu tahap terakhir yaitu pengelasan, pengelasan dilakukan setelah terjadinya panas yang cukup untuk mencapai suhu sekitar $0.6-0.8 T_c$ (titik cair) berdasarkan logam dasar (*base metal*). *Tool* kemudian dijalankan kearah mengikuti garis las. Proses pengangkatan *tool* las dilakukan setelah *tool* las mencapai daerah ujung logam

dasar. Pada proses penyelesaian (*finishing*) dengan mematikan putaran dan mesin freis (Sukmana dan Sustiono, 2016).

2.2.2 Struktur Mikro

Berdasarkan hasil pengelasan *Friction Stir Welding*, Pada gambar 4 terlihat struktur mikro hasil pengelasan terdiri dari daerah bagian logam dasar yang tidak terkena efek pengelasan (*base metal*), bagian pencampuran atau adukan lelehan logam dasar (*stir zone*), bagian yang langsung terkena pengaruh panas secara mekanik (*thermomechanical affected zone*) dan bagian pengaruh panas (*heat affected zone*) (Sukmana, 2007).



Gambar 4. Struktur Mikro *Friction Stir Welding* (Commin, 2014 dan Sukmana, 2007).

Pada pencampuran atau adukan lelehan logam dasar (*stir zone*) mengalami laju tegangan dan regangan tertinggi serta temperatur yang tinggi. Kombinasi ini menyebabkan bagian ini terjadi rekristalisasi dinamik. Strukturmikro bagian

adukan ini sangat tergantung pada bentuk perkakas las, kecepatan rotasi dan translasi, tekanan dan karakteristik bahan yang akan disambung. Disamping itu, bagian ini juga merupakan bagian yang terdeformasi. Pada bagian pengaruh panas secara termomekanik (*thermomechanical affected zone*) terjadi pengkasaran penguat presipitat tetapi tidak ada rekristalisasi dinamik. Sedangkan panas pada bagian pengaruh panas (*heat affected zone*) selama pengelasan panasnya hanya menumbuhkan butir-butir saja (Sudrajat, dkk., 2012).

2.2.3 Kelebihan dan Keterbatasan *Friction Stir Welding*

Friction Stir Welding atau Las Gesek Puntir merupakan salah satu proses mekanis yang berulang dan sangat memungkinkan terjadinya penggabungan bahan las yang sulit. Adanya banyak manfaat dalam proses pengelasan ini, singkatnya seperti dapat mengelas dengan orientasi apapun, pada prosesnya memiliki distorsi dan penyusutan rendah, tidak perlu melindungi gas atau kawat pengisi serta konsumsi energi rendah dan juga lebih baik untuk kesehatan dan keselamatan daripada metode lainnya. Sudah banyak digunakan di industri kedirgantaraan, otomotif, kelautan dan rel kereta api.

Umumnya dalam metode pengelasan *solid-state FSW* terdapat beberapa keunggulan dibandingkan metode pengelasan *liquid-state* karena masalah intinya terkait pada fase pendinginan dan fase cair yang tidak diperlukan. Contohnya permasalahan seperti porositas, keretakan kecil, retak dingin dan distribusi suhu tidak merata tidak timbul selama proses *FSW*. Secara umum, *FSW* telah

ditemukan menghasilkan konsentrasi cacat yang rendah dan sangat toleran terhadap variasi parameter dan bahan. Apabila dilihat dari kelebihan *FSW* memang cenderung lebih unggul, namun demikian terdapat cacat yang unik terkait pada pengelasan *solid-state FSW*, jika tidak dilakukan dengan benar sesuai dengan standar yang ada. Seperti halnya suhu las yang tidak memadai atau tak memenuhi standar $0,8 T_c$ (Titik Cair) material tersebut, dilain hal apabila kecepatan rotasi rendah atau kecepatan pengelasan (*Transverse Speed*) yang tinggi akan menimbulkan bahan las yang tidak mampu mengakomodasi deformasi yang luas selama proses pengelasan berlangsung. Hal ini dapat menyebabkan kerusakan pada garis lasan seperti menyerupai terowongan yang mengalir di sepanjang lasan yang mungkin terjadi pada permukaan atau permukaan bawah permukaan, begitupula dengan suhu rendah yang dapat mengurangi kontinuitas ikatan antara material dari masing-masing sisi lasan. Kontak cahaya antara material dapat menimbulkan *kissing-bond*.

Cacat ini sangat mengkhawatirkan karena sulit untuk dideteksi dengan menggunakan metode *non-destruktif* seperti uji sinar-X atau ultrasonik. Jika pin pada indenter tidak cukup panjang atau alat keluar dari plat yang akan dilas maka antarmuka di bagian bawah lasan mungkin tidak terkena putaran pin, sehingga menyebabkan hasil lasan kekurangan penetrasi (gaya tekan) atau tidak terdapat lasan pada bagian bawah. *Fatigue Cracks* juga bisa ditimbulkan oleh takikan yang dibuat pada plat yang akan dilas (Sigh, et al., 2016).

Apabila ditinjau secara menyeluruh terdapat sejumlah potensi keuntungan *FSW* selama proses pengelasan :

1. Sifat mekanik yang baik dalam kondisi dilas.
2. Peningkatan keselamatan kerja karena tidak adanya asap beracun atau percikan bahan yang mencair.
3. Tidak ada bahan habis pakai, seperti indenter yang bisa dipakai terus menerus.
4. Tidak ada pengisi atau pelindung gas yang diperlukan untuk aluminium.
5. Mudah dioperasikan secara manual maupun otomatis pada mesin *milling*.
6. Biaya pengelasan yang lebih rendah dan sedikit pelatihan dalam penggunaan alat maupun mesin.
7. Bisa beroperasi di semua posisi (horizontal, vertikal, dll), karena tidak ada lubang atau kolam las.
8. Umumnya penampilan las bagus dan ketebalan di bawah minimal *lover matching*, sehingga mengurangi kebutuhan akan mesin mahal setelah pengelasan.
9. Bisa menggunakan bahan tipis dengan kekuatan sambungan yang sama.
10. Dampak lingkungan rendah.
11. Kinerja umum serta keuntungan biaya didapatkan dari perpaduan atau peleburan menjadi gesekan.

Namun, beberapa kelemahan proses *FSW* telah diidentifikasi:

1. Tertinggalnya sebuah lubang ketika proses pencabutan pin hasil lasan.
2. Kekuatan penekanan yang besar dibutuhkan dengan penjepitan yang mumpuni, hal ini diperlukan untuk menahan kedua pelat secara bersamaan dan seimbang.

3. Kurang fleksibel dari pada proses manual dan tentunya pada lengkungan (kesulitan dengan variasi ketebalan dan lasan non linier).
4. Seringkali laju pengelasan yang lebih lambat daripada tingkat pengelasan fusi lainnya, namun hal ini tidak akan menghambat apabila dibutuhkan sejumlah kecil hasil pengelasan *FSW*.

2.2.4 Parameter Pengelasan *Friction Stir Welding*

2.2.4.1 Desain alat dan *Heat Input*

Pada proses perancangan alat sebaiknya harus diperhatikan secara standar atau *SOP* nya, hal ini merupakan faktor penting karena alat yang baik dapat meningkatkan kualitas pengelasan dan kecepatan maksimum pengelasan yang diharapkan. Sangat diharapkan bahwa bahan perkakas cukup kuat, tangguh, dan keras pada saat pengelasan terutama pengaruh dari suhu pengelasan, selanjutnya harus memiliki ketahanan oksidasi yang baik dan konduktivitas termal yang rendah untuk meminimalkan kehilangan panas dan kerusakan termal pada mesin saat *shoulder* bergerak. Pada proses pemberian panas awal, indentor akan ditahan ketika sudah menyentuh permukaan plat atau sudah mulai bergesekan, dengan waktu tahan 5 – 10 menit. Pengelasan dapat dilakukan ketika permukaan plat sudah terdapat ciri – ciri akan terjadi fase transisi, seperti permukaan sudah berwarna kemerahan dan luas daerah yang terkena gesekan sudah mulai mencair.

2.2.4.2 Kecepatan Pengelasan dan Rotasi Alat

Ada dua faktor penentu untuk dipertimbangkan dalam *Friction Stir Welding*, yaitu seberapa cepat alat berputar dan laju pengelasan. Kedua parameter ini sangat penting dan harus dipilih dengan hati-hati untuk memastikan siklus pengelasan yang berhasil dan efisien. Hubungan antara kecepatan putaran, kecepatan pengelasan dan *input* panas awal selama pengelasan adalah suatu kesatuan namun, secara umum dapat dikatakan bahwa meningkatkan kecepatan rotasi atau menurunkan kecepatan laju pengelasan akan menghasilkan lasan yang lebih panas.

Agar menghasilkan lasan yang baik dalam segi *weld line* atau kekuatan hasil lasan, bahannya tidak diperbolehkan hingga dingin, apabila terjadi maka rongga atau kekurangan lainnya mungkin ada di daerah adukan dan pada kasus yang ekstrim alat ini bisa pecah. *Input* panas yang terlalu tinggi pun memungkinkan merugikan sifat akhir pengelasan. Secara teoritis, ini bahkan bisa mengakibatkan cacat karena likuidasi fase leleh-titik rendah.

2.2.4.3 Kemiringan dan Penekanan Alat

Memiringkan alat hingga 2-4 derajat dengan bagian belakang alat lebih rendah dari bagian depan, akan membantu proses pengelasan ini. Dalam penekanannya pun perlu diatur dengan benar, hal ini dikarenakan untuk memastikan arah tekanan ke bawah yang diperlukan hingga tercapai dan alat tersebut sepenuhnya menembus lasan. Mengingat tingginya beban yang dibutuhkan, mesin las bisa membelok dan mengurangi kedalaman penekanan pada pengaturan awal, yang dapat menyebabkan kekurangan pada lasan. Di sisi lain, kedalaman penekanan

yang berlebihan dapat menyebabkan pin terlalu bergesekan dengan plat, sehingga hasil ketebalan pengelasan terlalu signifikan dibandingkan dengan bahan dasarnya (Hariyanto, 2010).

2.3 Magnesium

Magnesium merupakan salah satu jenis material yang bisa digunakan sebagai logam dasar dalam pengelasan *Friction Stir Welding (FSW)*, karena pada dasarnya magnesium memiliki sifat yang diunggulkan, diantaranya memiliki kepadatan rendah, keuletan yang baik, kekuatan menengah serta ketahanan korosi yang baik, karena sifat – sifat ini maka logam tersebut penggunaannya sangat luas, mulai dari barang – barang keperluan rumah tangga sampai komponen pesawat terbang (Buldum, *et al.*, 2011). Apabila dilihat dari berat jenis magnesium, logam dasar ini termasuk golongan yang ringan yaitu $1,74 \text{ g / cm}^3$ dan $1,83 \text{ g / cm}^3$.

Selain itu juga magnesium dapat dipergunakan sebagai unsur pemuat dalam berbagai bentuk bersamaan dengan memperbaiki sifat mekanik logamnya contohnya seperti aluminium, selain itu juga untuk mempertinggi kekuatannya magnesium dipadu dengan Al, Zn, Mn, Zr dan material lain. Ini digunakan terutama sebagai bahan paduan dalam berbagai bentuk, termasuk tuang, tempa, ekstrusi, digulung untuk lembaran, dan plat. Paduan magnesium tempa yang digunakan untuk suhu biasa ada tiga jenis yaitu jenis Mg-Al-Zn, jenis Mg-Mn dan jenis Mg-Zn-Zr. Paduan Mg-Al-Zn yang paling banyak terpakai dalam konstruksi las karena sifat mekaniknya yang tidak memenuhi kebutuhan yaitu: sifat mampu potong dan sifat mampu las yang baik. Salah satu magnesium paduan Mg-Al-Zn

adalah Magnesium AZ31 (ASM, 1996). Komposisi kimia dan mekanik magnesium AZ31 terdapat pada tabel 1, komposisi kimia melihat dari % Al, Mn dan Zn, sedangkan sifat mekanik terdapat data kekuatan terjamin, kekuatan tarik dan perpanjangan.

Tabel 1. Komposisi Kimia dan Sifat Mekanik dari Magnesium AZ31 (Wiryo Sumarto dan Okumura, 1996).

Kode Paduan	Komposisi Kimia (%)			Berat Jenis (kg/mm ²)	Perlakuan	Sifat Mekanik		
	Al	Mn	Zn			Kekuatan Terjamin (kg/mm ²)	Kekuatan Tarik (kg/mm ²)	Perpanjangan (%)
AZ31	3,0	0,3	1,0	1,77	Anil	15	26	21
					Keras Regang	22	30	15

Kerak bumi merupakan salah satu tempat adanya magnesium yaitu sekitar 2,7%. Magnesium tidak ditemukan dalam bentuk logam tetapi terdapat di alam sebagai karbonat, dolomit, dan magnesit. Sumber utama magnesium ada di air laut (Brown, 2006). Namun, magnesium terdapat kekurangan seperti titik nyala magnesium lebih rendah dibandingkan titik lelehnya karena sifat ini magnesium

mudah terbakar pada suhu tinggi yang membuat bahan tersebut sulit dilakukan proses pengelasan. Masalah utama yang dihadapi dalam pengelasan paduan magnesium adalah adanya porositas dan emisi sejumlah besar asap tidak beracun pada pengelasan busur (Sukmana, 2007). Sebagai contoh pada gambar 5 magnesium kristal sebelum dilakukan pengolahan.



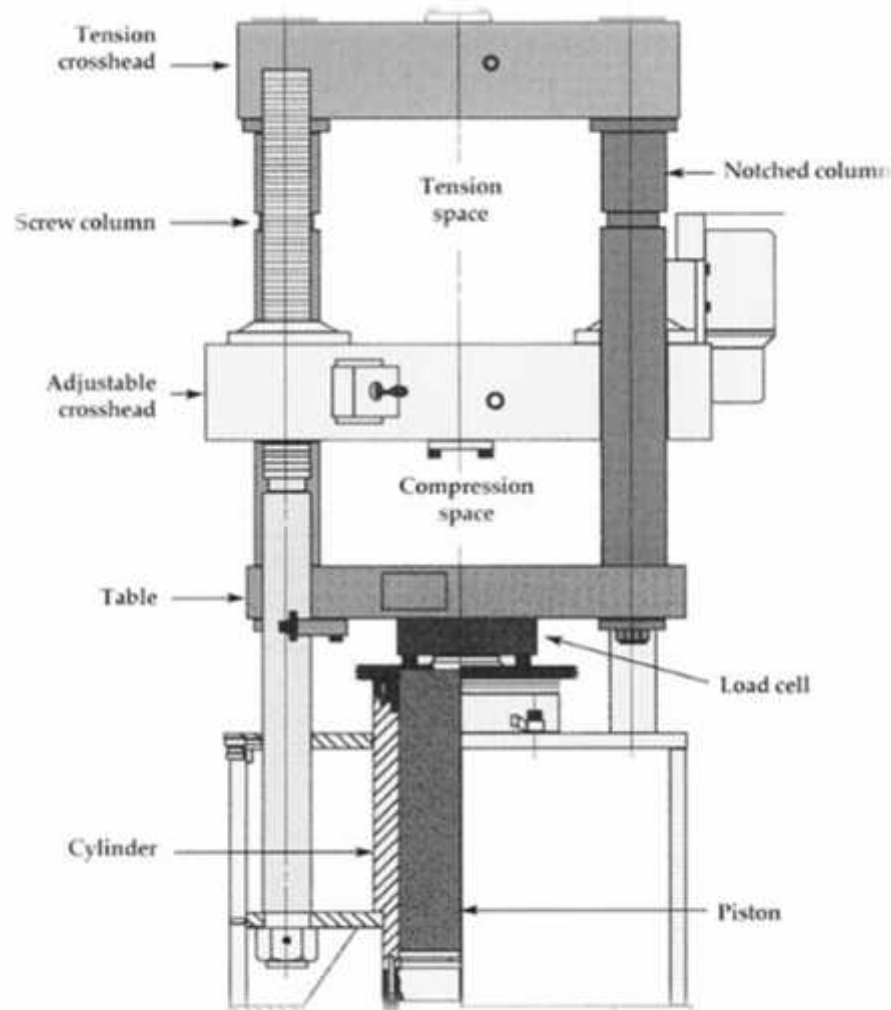
Gambar 5. Magnesium Kristal (Roonghutai, 2007).

2.4 Uji Mekanik

2.4.1 Uji Tarik

Tujuan utama dilakukan pengujian tarik adalah untuk mengetahui berapa nilai kekuatan sambungan logam hasil pengelasan yang sudah dilakukan. Pengujian tarik merupakan pengujian yang paling sering digunakan, karena pengujian ini mampu memberikan informasi representatif dari perilaku mekanis suatu material. Pengujian tarik dilakukan untuk beberapa alasan. Hasil uji tarik digunakan untuk pemilihan bahan dan diaplikasikan ke dunia teknik. Sifat mekanis dari hasil uji tarik sering disertakan dalam material spesifikasi untuk memastikan kualitas. Uji

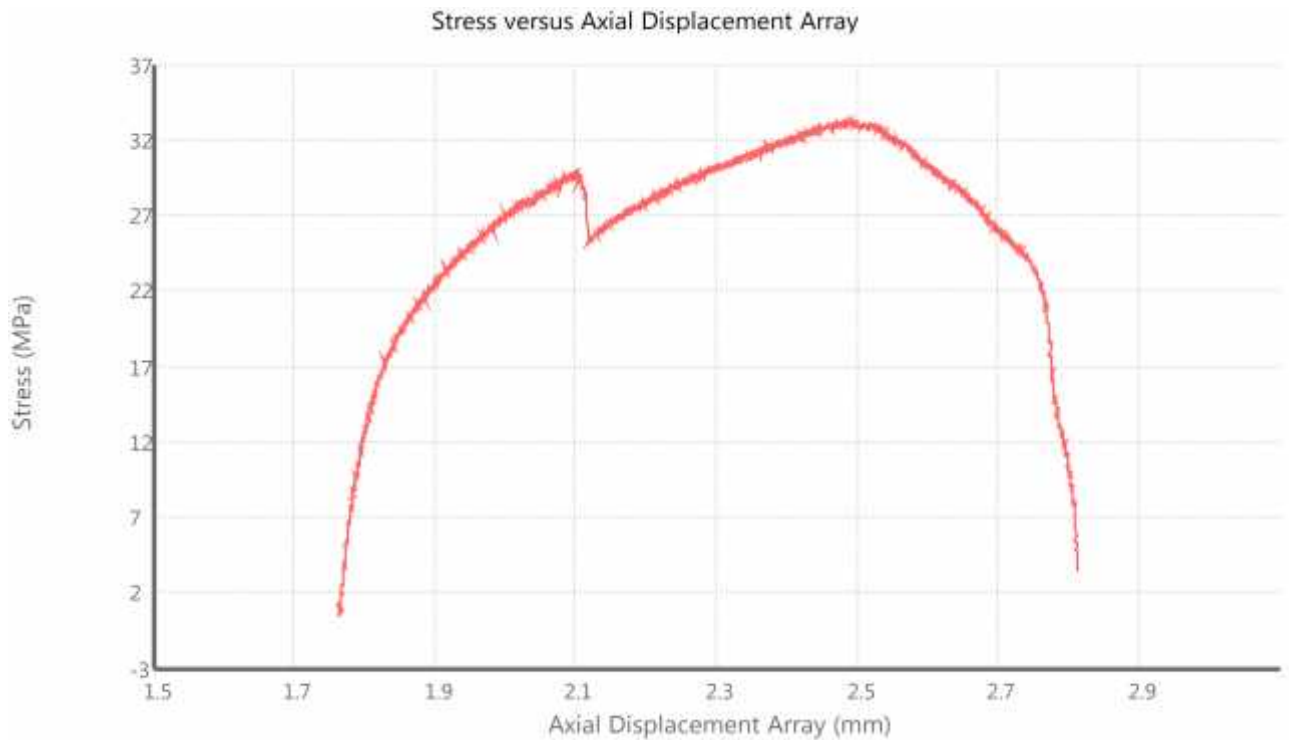
Tarik adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan atau material dengan cara memberikan beban gaya yang satu sumbu. *Hydraulic Universal Testing Machine* pada gambar 6 prinsip pengujian ini ialah sampel atau benda uji dengan ukuran dan bentuk tertentu ditarik dengan beban kontinu sambil diukur pertambahan panjangnya.



Gambar 6. *Hydraulic Universal Testing Machine* (ASM, 2004).

Kemudian data yang didapat berupa perubahan panjang dan perubahan beban seperti gambar 7 yang selanjutnya ditampilkan dalam bentuk kurva tegangan-*axial displacement*. Data – data penting yang diharapkan didapat dari pengujian

tarik ini adalah: perilaku mekanik material dan karakteristik perpatahan. Sifat mekanis dari hasil uji tarik sering dibandingkan selama pengembangan dari bahan baru maupun proses baru, sehingga perbedaan bahan dan proses akan menghasilkan nilai yang berbeda, setelah itu hasilnya dibandingkan (Chamos, *et al.*, 2008 and Marya, *et al.*, 2005).



Gambar 7. Kurva Tegangan – *Axial Displacement Array*

Dalam pengujian batang uji tersebut dibebani dengan kenaikan beban sedikit demi sedikit sampai batang uji patah. Berdasarkan sifat – sifat tariknya dapat dihitung dengan persamaan:

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

Dimana:

= Tegangan (kg/mm^2)

F = Beban (kg)

A_0 = Luas mula dari penampang batang uji (mm^2)

$$\varepsilon = \frac{L-L_0}{L_0} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

Dimana:

= Regangan

L_0 = Panjang mula dari batang uji

L = Panjang batang uji yang dibebani

(ASM, 2004 and ASM E8, 2009).

2.4.2 Uji Kekerasan

Metode uji *Rockwell* merupakan salah satu pengujian kekerasan dengan mekanisme indentasi bahan uji dengan berlian kerucut atau bola baja. Kita harus mempertimbangkan kekuatan dari benda kerja ketika memilih bahan benda tersebut, karena cenderung memiliki tingkat kekerasan yang lebih tinggi. Secara umum penumbuk yang digunakan berupa kerucut intan 120° dengan puncak yang hampir bulat dan dinamakan *penumbuk Brale*, serta bola baja berdiameter 1/16 inci dan 1/8 inci dan besar beban yang di gunakan adalah 60, 100, dan 150 kg (ASM, 1999 dan Dowling, 1993).

Secara umum, tabel 4 menjelaskan skala yang dipakai dalam pengujian *Rockwell* dan terbagi dalam 3 kategori utama berdasarkan kekerasan material.

1. HRa (Untuk material yang sangat keras).

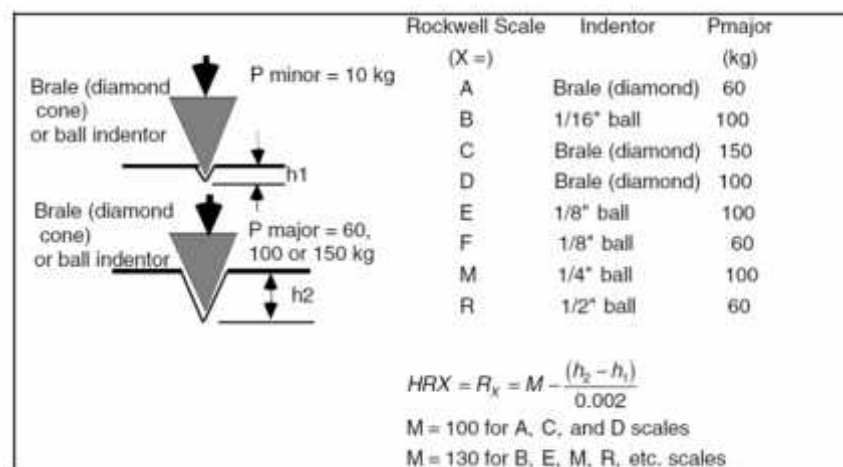
2. HRb (Untuk material yang lunak) indenter berupa bola baja dengan diameter 1/6 inchi dan beban uji 100 Kgf.
3. HRc (Untuk material dengan kekerasan sedang). Indenter berupa Kerucut intan dengan sudut puncak 120 derajat dan beban uji sebesar 150 kgf.

Tabel 2. Skala untuk Metode Uji Kekerasan *Rockwell* (ASM, 1999).

Scale	Indentor	F0(kgf)	F1(kgf)	F(kgf)	E	Jenis Material Uji	Warna
A	Diamond cone	10	50	60	100	Extremely hard materials, tugsen carbides, dll	Hitam
B	1/16" steel ball	10	90	100	130	Medium hard materials, low dan medium carbon steels, kuningan, perunggu, dll	Merah
C	Diamond cone	10	140	150	100	Hardened steels, hardened and tempered alloys	Hitam
D	Diamond cone	10	90	100	100	Annealed kuningan dan tembaga	Hitam
E	1/8" steel ball	10	90	100	130	Beryllium copper, phosphor bronze, dll	Merah
F	1/16" steel ball	10	50	60	130	Alumunium sheet	Merah
G	1/16" steel ball	10	140	150	130	Cast iron, alumunium alloys	Merah
H	1/8" steel ball	10	50	60	130	Plastik dan soft metals seperti timah	Merah
K	1/8" steel ball	10	140	150	130	Sama dengan H scale	Merah
L	1/4" steel ball	10	50	60	130	Sama dengan H scale	Merah

M	1/4" steel ball	10	90	100	130	Sama dengan H scale	Merah
P	1/4" steel ball	10	140	150	130	Sama dengan H scale	Merah
R	1/2" steel ball	10	50	60	130	Sama dengan H scale	Merah
S	1/2" steel ball	10	90	100	130	Sama dengan H scale	Merah
V	1/2" steel ball	10	140	150	130	Sama dengan H scale	Merah

Adapun prinsip pengujian kekerasan *rockwell* seperti gambar 10 menggunakan *diamond cone* atau *ball indenter*.



Gambar 8. Prinsip *Rockwell* (ASM, 1999 and Dowling, 1993).

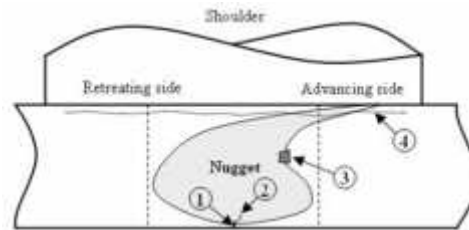
Berdasarkan penelitian sebelumnya terdapat berbagai variasi hasil dari uji kekerasan *brinell* dan *vickers*, seperti contoh tabel 5, tabel 6 dan gambar 11 merupakan hasil peneliti dengan variasi putaran *tool*. Selain uji kekerasan *rockwell* ada pula uji dengan metode *Vickers*. Pengujian kekerasan dengan metode

Vickers bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap intan berbentuk piramida dengan sudut puncak 136 Derajat yang ditekan pada permukaan material uji tersebut dan dibawah ini beberapa contoh penelitian *FSW* dan uji *hardness vickers*.

2.5 Cacat pada Pengelasan *Friction Stir Welding*

Secara umum cacat yang terjadi pada *friction stir welding* diakibatkan oleh dua parameter utama yaitu kecepatan rotasi alat dan kecepatan pengelasan. Namun, *input* panas awal yang tidak tepat dapat juga mengakibatkan cacat pada hasil lasan *FSW*. Selain itu pula, beberapa ketidaksempurnaan mungkin timbul akibat pengadukan bahan induk yang tidak tepat, persiapan material pada permukaan yang tidak memadai, berlebih atau kurangnya penetrasi pin pada alat, atau kekuatan tempa aksial yang tidak memadai. Beberapa ketidakmampuan las *FSW* yang sering terjadi yaitu kurangnya penetrasi atau *kissing-bond*, pengelasan lemah atau *intermiten*, rongga pada sisi depan dari lasan, dan partikel fase kedua dan oksida sejajar di bawah bahu. Adapun beberapa contoh seperti gambar dibawah ini:

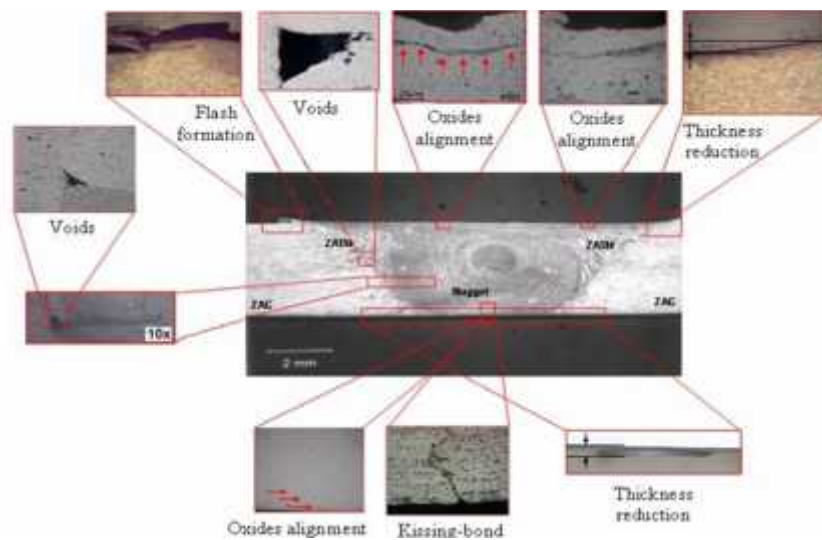
Pada Gambar 14 dan 15 menjelaskan bahwa cacat atau ketidaksempurnaan pengelasan bisa diakibatkan oleh *tool*, tekanan mesin dan terutama gesekan.



Types of imperfections:

- 1) Lack of penetration (kissing-bonds),
- 2) Root flaw (weak or intermittent linking),
- 3) Voids on the advancing side;
- 4) Second phase particles and oxides alignment under shoulder.

Gambar 9. Tipe cacat akibat ketidaksempurnaan *FSW* (Santos, *et al.*, 2007).



Gambar 10. Berbagai jenis cacat akibat ketidaksempurnaan pengelasan *FSW* (Santos, *et al.*, 2007).

2.5.1 Cacat pada bagian bawah material las

1. *Lack of Penetration*

Kurang nya penetrasi atau gaya tekan kebawah. Tidak sepenuhnya pin alat *FSW* mencapai bagian bawah pada plat. Biasanya terjadi bila panjang pin

kurang dari ketebalan bahan induknya. Pada material tidak terjadi kontak terikat secara kimiawi atau mekanis (*kissing-bond*).

2. *Root Flaw*

Terdapat zona rekristalisasi dinamis yang mengisi ketebalan sambungan secara menyeluruh, tapi masih terdapat beberapa partikel fase kedua dan ada oksida selaras dari bagian bawah dan berbentuk seperti bongkahan.

2.5.2 Cacat pada bagian penampilan material las

1. *Cavities*













Cavities atau rongga pada hasil lasan. Ketidakterpurnaan ini biasanya hasil dari pilihan yang buruk dari parameter alat *FSW* dan parameter proses seperti kecepatan putaran pin maupun kecepatan pengelasan, dalam kaitannya dengan sifat termo-fisik bahan dasar atau logam induk.

2. *Second phase particles and aligned oxides*

Cacat ini ditemukan di banyak lokasi, terutama pada bagian permukaan yang digesek akibat gesekan pin dan logam induk (Santos, *et al.*, 2007).

Tabel 3. Hasil Pengelasan *Cone* dan *Spiral Shape*

No	<i>Cone Shape</i>	<i>Spiral Shape</i>

1				
2				
3				

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan tempat Penelitian

Pelaksanaan waktu penelitian dilaksanakan pada bulan Desember 2017 sampai dengan Mei 2018.

Tabel 4. *Time Schedule* Penelitian

<i>Time Schedule</i> Pelaksanaan Penelitian 2018		Waktu Pelaksanaan					
No	Kegiatan	12	1	2	3	4	5
1	Proses pemotongan magnesium AZ31 dan indentor baja ST41.	■					
2	Proses pembentukan magnesium AZ31 menjadi plat dengan ukuran 65x50x6 mm dan indentor baja ST41 dengan bentuk <i>cone</i> dan <i>spiral shape</i> .		■	■			
3	Proses pengelasan <i>friction stir welding</i> dan dilanjutkan dengan pembentukan spesimen untuk uji tarik.				■	■	
4	Pengujian uji tarik dan uji kekerasan <i>rockwell</i> .						■

Penelitian ini akan dilakukan di beberapa tempat, yaitu sebagai berikut:

1. Proses pemotongan bahan dilakukan di Laboratorium Proses Produksi Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
2. Proses pembentukan plat dan indenter dan dilanjutkan pengelasan serta pembentukan spesimen uji tarik dilakukan di Laboratorium Balai Latih Kerja Bandar Lampung.
3. Pengujian tarik dan uji kekerasan *rockwell* dilakukan di Laboratorium Material Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat dan bahan penelitian yang dipergunakan adalah:

1. Magnesium AZ31



Gambar 11. Plat Magnesium AZ31

Magnesium merupakan salah satu unsur kimia dengan simbol Mg dan nomor atom 12. Bilangan oksidasi umumnya adalah +2, dan memiliki massa atom 24,31. Magnesium memiliki densitas atau rapat massa sebesar 1.738 g/cm^3 titik lebur

sekitar 923°K (650 °C, 1202 °F), titik didih 1363 °K (1090 °C, 1994 °F). Magnesium murni memiliki kekuatan tarik sebesar 110 N/mm² dalam bentuk hasil pengecoran (*casting*).

2. Indentor Baja ST41



Gambar 12. Indentor Baja ST41

3. Mesin *Milling*



Gambar 13. Mesin *Milling*

SPEKIFIKASI

<i>Machine type</i>	: VHF3
Serial no.	:180
<i>Year of constr</i>	: 2015
<i>Total power</i>	: 7 kW
<i>Volt</i>	: 380 volt
<i>Frequency</i>	: 50GHZ/3 phase
<i>Min/ max rotation</i>	: 90/ 2000 rpm
<i>Min/ max transversal speed</i>	: 16/ 320 mm/menit

4. Mesin uji tarik



Gambar 14. Mesin uji tarik

SPEKIFIKASI

Merk : MTS *Landmark*

Kapasitas : 100 kN

Tipe : U PD 10

Tahun : 2015

Memiliki tiga skala pengukuran beban

A= 0 s/d 20 kN

A+B= 0 s/d 50 kN

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

5. Alat uji kekerasan *Rockwell*



Gambar 15. Alat uji kekerasan *Rockwell*

SPESIFIKASI

Nama alat : *Rockwell Hardness Tester*

Merk : AFFRI Seri 206.RT – 206.RTS

Loading : *Maximum* 150 KP dan *Minimum* 60 KP

HRC Load : 150 KP

Indentor : Kerucut intan 120°

HRB Load : 100 KP

Indentor : *Steel Ball* Ø 1/16"

HRA Load : 60 KP

Indentor : Kerucut intan 120°

HRE Load : 100 KP

Indentor : *Steel Ball* Ø 1/8"

HRG Load : 150 KP

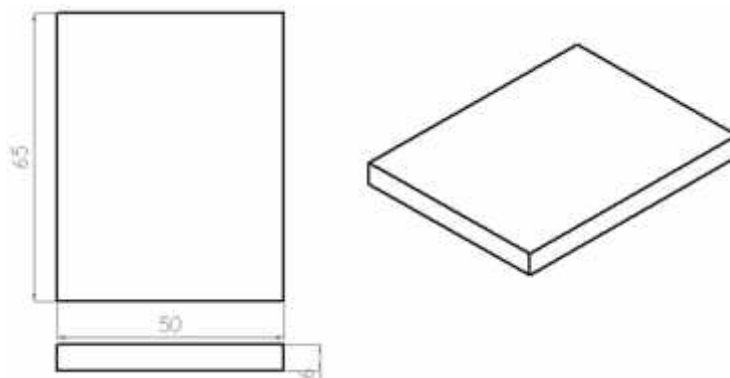
Indentor : *Steel Ball* Ø 1/16"

HRD Load : 100 KP

Indentor : Kerucut intan 120°

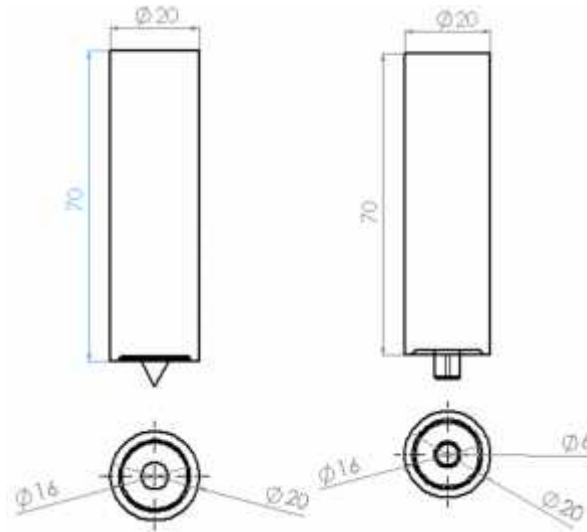
3.3 Pelaksanaan Penelitian

1. Pembuatan benda uji untuk pengelasan gesek, bahan Magnesium AZ31 dengan ukuran panjang 50 mm, lebar 65 mm, dan tebal 6 mm.



Gambar 16. Desain Plat Magnesium AZ31

2. Pembuatan Indentor *Cone Shape* dan *Spiral Shaped* dengan bahan Baja ST41.



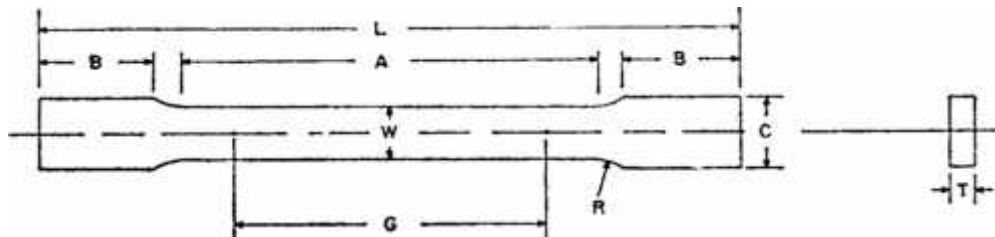
Gambar 17. Indentor *Cone Shape* dan *Spiral Shape* dengan bahan Baja ST41.

Prosedur Pengelasan:

- a. Menyiapkan mesin *milling*.
- b. Menyiapkan benda kerja pada mesin *miling*.
- c. Menghidupkan mesin, sehingga pin memutar dan menekan material lalu *shoulder* terkena permukaan benda kerja sampai *probe* berada di dalam permukaan benda kerja.
- d. Tool bergerak mundur dan terjadi proses penyatuan material magnesium AZ31 (*joining process*).
- e. Proses selesai, *tool* diangkat dan spesimen dipindahkan dari mesin las.

3. Pembuatan spesimen uji tarik

Material magnesium AZ31 yang telah dilas dibentuk sesuai ukuran standar ASTM E8/E8M.



Gambar 18. Spesimen uji tarik E8/E8M

4. Pembuatan spesimen uji kekerasan

Dalam penelitian ini uji kekerasan yang digunakan menggunakan metode uji *Rockwell* dengan standar HR_C . Gambar dibawah menunjukkan spesimen yang akan di uji kekerasan.

3.4 Pengujian-pengujian

1. Uji Tarik

Pada pengujian tarik magnesium ini menggunakan standar ASTM E8/E8M. Adapun proses pengujian dimulai dari meletakkan kertas *millimeter block* dan meletakkannya pada *plotter*. Kemudian mengukur benda uji dengan menggunakan tenaga hidrolik yang dimulai dari 0 kg sehingga benda putus pada beban maksimum. Setelah benda uji putus kemudian diukur berapa besar penampang dan panjang benda uji setelah putus. Untuk melihat beban dan gaya

maksimum benda uji terdapat pada layar digital dan dicatat sebagai data, setelah semua data diperoleh kemudian menghitung kekuatan tarik, kekuatan luluh, dan perpanjangan benda.

Tabel 5. Data Uji Tarik

Spesimen	Bentuk Pin Indentor	N (rpm)	v (mm/mnt)	<i>Ultimate Stress</i> (MPa)	<i>Yield Strength</i> (MPa)	Daerah Patah
1	Cone	2000	16			
2						
3						
x (rata-rata)						
s (standar deviasi)						
4	Spiral	2000	16			
5						
6						
x (rata-rata)						
s (standar deviasi)						

2. Uji Kekerasan *Rockwell*

Pengujian kekerasan yang dilakukan pada Magnesium AZ31 yang telah dilas menggunakan *FSW* ialah dengan pengujian kekerasan *Rockwell*, dengan menggunakan standar HR_C . Adapun langkah kerja yang dilakukan dimulai dari

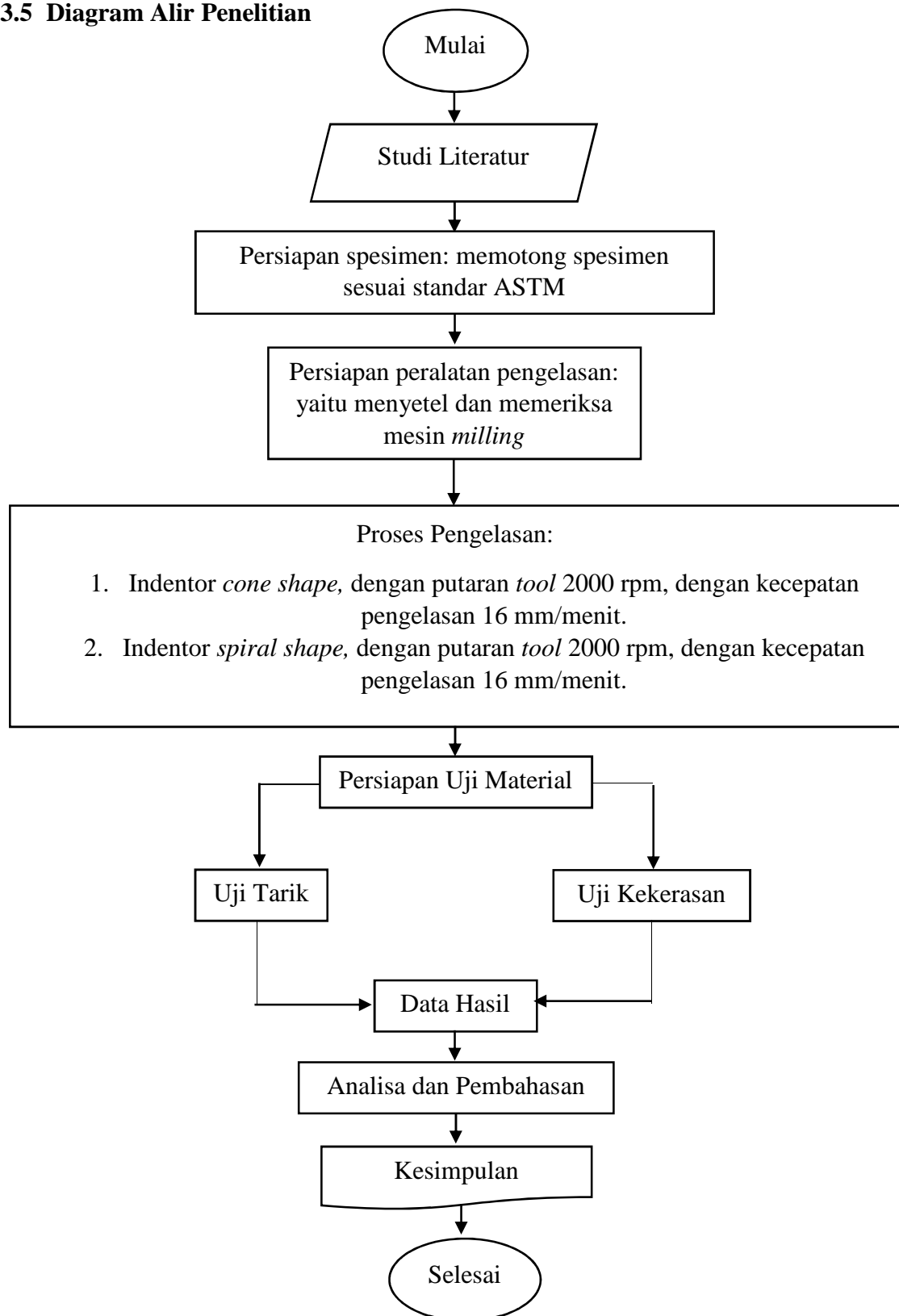
meletakkan benda kerja pada mesin uji. Kemudian menyentuh benda kerja pada indenter, dengan cara memutar piringan searah jarum jam. Setelah itu melepaskan handel secara perlahan - lahan, dan jangan menekan menekan handel ke bawah tetapi membiarkan handel bergerak sendiri turun ke bawah. Jarum besar pada skala akan bergerak seiring turunnya handel ke bawah. Tunggu hingga jarum besar pada skala berhenti, setelah berhenti tunggu hingga 30 detik dari saat jarum berhenti. Kemudian gerakkan handel ke atas secara perlahan sampai maksimum dan langkah terakhir membaca harga kekerasan pada saat jarum jam berhenti.

Tabel 6. Data Uji Kekerasan

Spesimen	Bentuk Pin Indenter	N (rpm)	v (mm/mnt)	HR _c	HR _c rata- rata	x (rata- rata)	s
1	Spiral	2000	16				
2	Spiral	2000	16				

3										
1	Cone	2000	16							
2										
3										

3.5 Diagram Alir Penelitian



Gambar 19. Diagram Alir Penelitian

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan pengolahan data yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai kekerasan rata – rata tertinggi didapat pada spesimen hasil las dengan bentuk pin indentor *cone shape* menggunakan putaran *tool* 2000 rpm dengan kecepatan pengelasan 16 mm/menit yaitu 43,68, sedangkan nilai kekerasan rata – rata terendah pada spesimen hasil las dengan bentuk pin indentor *spiral shape* menggunakan putaran *tool* 2000 rpm dengan kecepatan pengelasan 16 mm/menit yaitu 43,35.
2. Nilai *Ultimate Stress* tertinggi didapat pada spesimen hasil las dengan bentuk pin indentor *cone shape* menggunakan putaran *tool* 2000 rpm dengan kecepatan pengelasan 16 mm/menit yaitu 58,55 MPa, sedangkan *Ultimate Stress* terendah pada spesimen hasil las dengan bentuk pin indentor *cone shape* menggunakan putaran *tool* 2000 rpm dengan kecepatan pengelasan 16 mm/menit yaitu 40,88 MPa.
3. Nilai *Yield Strength* tertinggi didapat pada spesimen hasil las dengan bentuk pin indentor *cone shape* menggunakan putaran *tool* 2000 rpm

dengan kecepatan pengelasan 16 mm/menit yaitu 31,2 MPa, sedangkan *Yield Strength* terendah pada spesimen hasil las dengan bentuk pin indenter *cone shape* menggunakan putaran *tool* 2000 rpm dengan kecepatan pengelasan 16 mm/menit yaitu 28 MPa.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka penelitian dapat menyarankan beberapa hal sebagai berikut:

1. Pada proses *friction stir welding*, sebaiknya pengukuran indenter harus sesuai dengan *clearance* yang dibutuhkan, agar mendapatkan nilai kekuatan tarik yang maksimal.
2. Ketika proses pembentukan plat, sebaiknya plat yang akan dilas dilebihkan agar pada saat pengujian dilakukan, spesimen yang akan diuji berasal dari satu plat yang sama dan apabila ada kegagalan masih terdapat cadangan spesimen.

DAFTAR PUSTAKA

- ASM E8/E8M – 09. 2009. “Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials”. West Conshohocken. ASTM International.
- ASM Speciality Handbook. 1999. “*Hardness Testing*”. Second Edition. Ohio. ASM International.
- ASM Speciality Handbook. 1999. “*Magnesium and Magnesium Alloys*”. Ohio. ASM International.
- ASM Speciality Handbook. 2004. “*Tensile Testing*”. Second Edition. Ohio. ASM International.
- Bradley, G.R., James, M.N. 2000. “*Geometry and Microstructure of Metal Inert Gas and Friction Stir Welded Aluminium Alloy 5383-H321*”.
- Brown, R.E., Kutz, M. 2006. “*Mechanical Engineer’s Handbook: Materials and Mechanical Design*”. Prattville. Wiley.
- Buldum, B.B., Sik, A., Ozkul, I. 2011. “*Investigation of Magnesium Alloys*”. Turki. International Journal of Electronics; Mechanical and Mechatronics Engineering Vol.2, No.3, Hal. 261-268.
- Chamos, A.N., Pantelakis, Sp. G., Haidemenopoulus, G.N., Kamoutsi, E. 2008. “*Tensile and Fatigue Behaviour of Wrought Magnesium Alloys AZ31 and AZ61*”. Panepistimioupoli Patron. Journal Compilation Blackwell Publishing. Hal 812-821.
- Commin, L., Dumont, M., Masse, J.E., Barrallier, L. 2014. “*Friction Stir Welding of AZ31 Magnesium Alloy Rolled Sheets: Influence of Processing Parameters*”. France. Science Artsand Metiers (SAM). Acta Materilia. Vol. 57, No. 2, Hal. 326-334.

- Dewanto, A.P. 2016. “Analisa Kekuatan Mekanik Sambungan Las Metode MIG (Metal Inert Gas) dan Metode FSW (Friction Stir Welding) 800 RPM Pada Alumunium Tipe 5083”. Jurnal Teknik Perkapalan.Vol. 4, No. 3, Hal 613-621.
- Dowling, N., 1993. “*Mechanical Behaviour of Materials*”. Prentice Hall.
- Groover, M.P., 2010. “*Fundamentals of Modern Manufacturing: Material, Processes and Systems*”. Hoboken. Wiley.
- Hariyanto. 2010. “Pengaruh Putaran dan Kecepatan Tool Terhadap Sifat Mekanik Sambungan Tumpul Las FSW Tak Sejenis Antara AL 2024 – T3 dengan AL 1100”. Skripsi. Indonesian Publication Index. Hal. 11-15.
- Iqbal, M., Tarkono., Ibrahim, G.A. 2014. “Pengaruh Putaran dan Kecepatan Tool Terhadap Sifat Mekanik Pada Pengelasan Friction Stir Welding Alumunium 5052”. Skripsi. Jurnal Fema. Vol. 2, No. 1, Hal 23-27.
- Juliaptini, D. 2010. “Analisis Sifat Mekanik dan Metalografi Baja Karbon Rendah”. Skripsi.
- Kenyon, W., Ginting, D. 1985. “*Dasar – Dasar Pengelasan*”. Jakarta. Erlangga.
- Marinov, V. 2010. “*Manufacturing Technology*”. Dubuque. Kendall Hunt Publishing Company.
- Marya, M., Hector, L.G., Verma, R., Tong, W. 2005. “*Microstructural Effect of AZ31 Magnesium Alloys on its Tensile Deformation and Failure Behaviors*”. United States. Materials and Science Engineering A 418. Hal. 341-356.
- Nurdiansyah, F., Soeweify., Zubaydi, A. 2012. “Pengaruh RPM Terhadap Kualitas Sambungan dan Metalurgi Las pada Joint Line untuk Alumunium Seri 5083 dengan Proses Friction Stir Welding”. Skripsi. Jurnal Teknik ITS. Vol. 1, Hal 55-58.
- Raziun, Md., Zhu, J. 2015.”*Microstructure Examination and Hardness Tests*”. Hong Kong. Skripsi. Hal 1 -11.

- Roonghutai, W., 2007. "Magnesium Kristal". Di Akses pada https://id.wikipedia.org/wiki/Berkas:Magnesium_crystals.jpg dan diunduh tanggal 29 Desember 2017 pukul 20.30 WIB.
- Santos, T., Vilaca, P., Quintino, L. 2007. "Developments in NDT for Detecting Imperfections in Friction Stir Welding in Alumunium Alloys". Lisbon.
- Saputra, A.A. 2017. "Analisis Pengelasan Friction Stir Welding Magnesium AZ31 Menggunakan Aplikasi Thermografi". Skripsi.
- Serindag, H.T., Kiral, B.G. 2016. "Friction Stir Welding of AZ31 Magnesium Alloys – A Numerical and Experimental Study". Kültür Mahallesi . Latin American Journal of Solids and Structure. No. 14, Hal. 113-130.
- Singh, B.R. 2012. "A Handbook on Friction Stir Welding". Kanpur. LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG.
- Singh, K., Singh, G., Singh, H. 2016. "Friction Stir Welding of Magnesium Alloys: A Review". The research Publication. Vol. 5, No. 1, Hal. 5-8.
- Sudrajat, A., Sumarji., Darsin, M. 2012. "Analisis Sifat Mekanik Hasil Pengelasan Alumunium AA1100 dengan Metode Friction Stir Welding". Skripsi. Jurnal ROTOR. Vol. 5, No.1, Hal 8-17.
- Sukmana, I. 2007. "Friction Stir Welding as New emerging Trend in Joining Technology for Aluminum Alloys". Bandar Lampung. Pusat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Sekolah Tinggi Teknologi Jakarta. Journal Teknologi. Vol. 10, No. 2, Halaman 155- 160.
- Sukmana, I., Sustiono, A. 2016. "Pengaruh Kecepatan Putar Indentor Las Gesek Puntir (Friction Stir Welding) Terhadap Kualitas Hasil Pengelasan Alumunium 1100-H18". Skripsi. Jurnal Mechanical. Vol. 7, No. 1, Hal 15-19.
- Tarmizi., Hutapea, O.D. 2015. "Desain dan Pembuatan Perkakas Untuk Proses Friction Stir Welding Pada Material Alumunium 5052". Jurnal Riset Teknologi Industri. Vol.9, No. 2, Hal 107-119.
- Wijayanto, J., Anelis, A. 2010. "Pengaruh Feed Rate terhadap Sifat Mekanik pada Pengelasan Friction Stir Welding Alumunium 6110". Jurnal Kompetensi Teknik. Vol. 2, No.1, Hal. 19-28.

Wiryo Sumarto, H., Okumura, T. 1996. "*Teknik Pengelasan Logam*". Jakarta.
Pradya Paramitha.