

**ANALISIS PENGELASAN FRICTION WELDING  
MAGNESIUM AZ31 MENGGUNAKAN APLIKASI  
THERMOGRAFI**

(Skripsi)

Oleh

**AHMAD ADI SAPUTRA**



**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS LAMPUNG-BANDAR LAMPUNG**

**2017**

## **ABSTRAK**

### **ANALISIS PENGELASAN FRICTION WELDING MAGNESIUM AZ31 MENGGUNAKAN APLIKASI THERMOGRAFI**

**Oleh**

**AHMAD ADI SAPUTRA**

Magnesium adalah jenis logam ringan yang memiliki kekuatan yang baik dan juga ketahanan terhadap korosi, namun magnesium memiliki kekurangan yaitu sifat mudah terbakar pada suhu tinggi, kekurangan tersebut membuat bahan magnesium sulit untuk dilakukan proses pengelasan. Oleh karena itu, untuk mengatasi hal tersebut digunakanlah metode pengelasan *Friction welding*. Proses pengelasan *Friction welding* dilakukan pada kondisi padat dengan memanfaatkan energi panas yang timbul dari gesekan kedua bahan yang akan disambung.

Besarnya energi panas yang timbul digunakan untuk meluluhkan ke dua permukaan gesekan, sehingga bahan dapat menyatu saat penempaan (*forging*) dilakukan, hal tersebut menunjukkan bahwa energi panas dapat berpengaruh terhadap hasil pengelasan, oleh sebab itu digunakanlah aplikasi Termografi untuk memantau besarnya energi panas yang dapat dibangkitkan sesuai suhu pengelasan yang diperlukan.

Pengambilan data suhu pengelasan dilakukan dengan meletakkan kamera termografi di depan proses pengelasan. Data pengelasan diambil saat pengelasan berlangsung dan didapat hasil berupa gambar yang menunjukkan kenaikan suhu pada masing-masing parameter. Pada kecepatan gesek 1150rpm didapat suhu maksimal sebesar 218°C sedangkan pada kecepatan gesek 1750rpm didapat suhu maksimal sebesar 482°C. Dari data pengujian dan analisis suhu yang diperoleh menunjukkan bahwa, semakin tinggi kecepatan gesekan maka semakin besar energi panas yang dapat dibangkitkan (hingga mendekati titik luluh bahan), maka semakin baik pula sambungan yang dihasilkan.

Kata kunci: Magnesium AZ31, *Friction welding*, Termografi, Distribusi suhu

## **ABSTRACT**

### **ANALYSIS OF FRICTION WELDING MAGNESIUM AZ31 USING THERMOGRAPHY APPLICATIONS**

**By**

**AHMAD ADI SAPUTRA**

Magnesium is a kind of lightweight metal that has good strength and corrosion resistance, but has the disadvantage that magnesium flammable properties at high temperatures, it makes magnesium deficiency is difficult to do the welding process. Therefore, to overcome this welding Friction welding method is used. Friction welding process of welding performed on the solid condition by utilizing heat energy arising from the friction of the two materials to be joined.

The amount of heat energy arising used to leach into two surface friction, so that the material can be fused when forging (forging) is done, it shows that thermal energy can affect the results of welding, therefore it is used apps Thermography to monitor the amount of heat energy that can be generated appropriate temperature welding required.

Data retrieval temperature welding is done by putting a thermography camera in front of the welding process. Data taken during welding welding in progress and the results obtained in the form of images showing the temperature rise on each parameter. At a speed of 1150rpm swiipe obtained maximum temperature of 218 ° C while the swiipe speed 1750rpm obtained maximum temperature of 482 ° C. Testing and analysis of the data obtained showed that the temperature, the higher the speed the greater the friction heat energy that can be raised (to near the yield point of the material), the better the connection is produced.

Keywords: Magnesium AZ31, Friction welding, Thermography, temperature distribution

**ANALISIS PENGELASAN FRICTION WELDING  
MAGNESIUM AZ31 MENGGUNAKAN  
APLIKASI THERMOGRAFI**

Oleh  
**AHMAD ADI SAPUTRA**

**Skripsi**

**Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar  
SARJANA TEKNIK  
pada  
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2017**

**Judul Skripsi** : **ANALISIS PENGELASAN FRICTION  
WELDING MAGNESIUM AZ31  
MENGUNAKAN APLIKASI  
THERMOGRAFI**

**Nama** : **Ahmad Adi Saputra**

**Nomor Pokok Mahasiswa** : **0915021020**

**Jurusan** : **Teknik Mesin**

**Fakultas** : **Teknik**



**MENYETUJUI**  
**1. Komisi Pembimbing**

**Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T.**

**NIP. 19640506 200003 1 001**

**Dr. Irza Sukmana, S.T., M.T.**

**NIP. 197103311999031003**

**2. Ketua Jurusan Teknik Mesin**

**Ahmad Su'udi, S.T., M.T.**

**NIP. 197408162000121001**

# MENGESAHKAN

## 1. Tim Penguji

Ketua Penguji

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



Anggota Penguji

: **Dr. Irza Sukmana, S.T., M.T.**



Penguji Utama

: **Dr. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T.**



## 2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung



**Prof. Suharno MS, M.Sc., PhD.**

**NIP. 19620717 198703 1 002**

Tanggal lulus ujian skripsi: 29 Desember 2016

## PERNYATAAN PENULIS

TUGAS AKHIR INI DIBUAT SENDIRI OLEH PENULIS DAN BUKAN  
HASIL PLAGIAT SEBAGAIMANA DIATUR DALAM PASAL 27  
PERATURAN AKADEMIK UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN SURAT  
KEPUTUSAN REKTOR No. 3187/H26/DT/2010

YANG MEMBUAT PERNYATAAN



AHMAD ADI SAPUTRA

NPM: 0915021020

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Tanjung Bintang pada tanggal 6 Oktober tahun 1990, sebagai anak pertama dari 4 bersaudara dari pasangan Suhadi dan Saminah. Penulis menyelesaikan pendidikan Taman kanak-kanak di TK Dharma Wanita Jati Indah, Provinsi Lampung pada tahun 1997, Sekolah Dasar di SD Negeri 1 Jati Indah pada tahun 2003, pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 1 Tanjung Bintang pada tahun 2006, Pendidikan Sekolah Menengah Kejuruan di SMK Negeri 5 Bandar Lampung pada tahun 2009, dan pada tahun 2009 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur ujian Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, penulis juga aktif dalam organisasi internal kampus, yaitu pengurus Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai Kepala Divisi Kaderisasi periode 2011-2012. Kemudian pada bidang akademik, penulis melaksanakan kerja praktek di PT Indokom Samudra Persada yang berlokasi di Jalan Ir Sutami Km 12,5, Desa Kemang, kec. Tanjung Bintang, Lampung Selatan, pada tahun 2013. Pada tahun 2016 penulis melakukan penelitian pada bidang konsentrasi Produksi sebagai tugas akhir dengan judul “Analisis Pengelasan *Friction Welding* Magnesium AZ31 Menggunakan Aplikasi Thermografi” di bawah bimbingan Bapak Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T. dan Bapak Ir. Irza Sukmana S.T.,M.T.

## **MOTTO**

**“Jangan takut menghadapi masalah besar, karena kita selalu bersama  
ALLAH YANG MAHA BESAR”**

**“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, sesungguhnya  
sesudah kesulitan itu ada kemudahan” (QS. A Lam Nasyrh: 5-6)**

**“Laa Tahzan Inallaha Ma’ana”**

KARYA INI KUPERSEMBAHKAN UNTUK:

*Kedua Orang Tua dan Adikku Tercinta  
Serta Pendamping Hidupku*

**Almamater Tercinta**

**Teknik Mesin- Universitas Lampung**

## SANWACANA

*Assalamu'alaikum Wr. Wb.*

Alhamdulillahirobbalalamin, Penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah, serta inayah-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan mempersembahkan judul "*Analisis Pengelasan Friction Welding Magnesium AZ31 Menggunakan Aplikasi Thermografi*" dengan sebaik-baiknya. Salawat beriring salam selalu tercurah kepada junjungan seluruh alam Nabi Muhammad SAW, sahabatnya, serta para pengikutnya yang selalu istiqomah diatas jalan agama islam hingga hari ajal menjemput.

Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis banyak mendapat bimbingan, motivasi dan bantuan baik moral maupun materi oleh banyak pihak. Untuk itu dengan sepuh ketulusan hati penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. Ir. Hasriadi Mat Akin, M.P. selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Prof. Dr. Suharno, M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Bapak Ahmad Su'udi, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.

4. Bapak Harnowo Supriadi S.T, M.T selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
5. Bapak Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T. selaku dosen pembimbing utama tugas akhir, atas banyak waktu, ide pemikiran dan semangat yang telah diberikan untuk membimbing penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Bapak Dr. Irza Sukmana S.T.,M.T. selaku pembimbing kedua tugas akhir ini, yang telah banyak memberikan waktu dan pemikiran bagi penulis.
7. Bapak Dr. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T.,M.T. selaku dosen pembahas yang telah memberikan waktu, ide pemikiran dan saran yang bermanfaat bagi penulis.
8. Seluruh dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung berkat ilmu yang telah diajarkan kepada penulis selama penulis menjalani masa studi di perkuliahan.
9. Staf Akademik serta Asisten Laboratorium yang telah banyak membantu kepada penulis, sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
10. Kedua Orang Tua dan adikku tercinta yang selalu memberikan dukungan baik berupa doa maupun materil dan sekaligus menjadi inspirator bagi penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini
11. Pendamping hidupku Vivi Atvilina yang selalu membantu dan memberikan semangat serta motivasi agar tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik
12. Sahabat-sahabat terutama Edo septian, Arif Ridwan, Setia Wasis, Eko Hermawan, Solihin, Ardian Prabowo, Ronal Yaki, Anisa Rachman, Raziz yang telah banyak memberikan inspirasi dan dukungan terhadap penulis.

13. Semua rekan di teknik mesin khususnya rekan seperjuangan angkatan 2009 untuk kebersamaan yang telah dijalani. Tiada kata yang dapat penulis utarakan untuk mengungkapkan perasaan senang dan bangga menjadi bagian dari angkatan 2009. “Salam *Solidarity Forever*”.
14. Dan semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan tugas akhir ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu.

Akhir kata, Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, akan tetapi sedikit harapan semoga yang sederhana ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua.

*Wassalamu’alaikum Wr. Wb.*

Bandar Lampung, Januari 2017

Penulis,

AHMAD ADI SAPUTRA  
NPM. 0915021020

## DAFTAR ISI

<b>SANWACANA</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	viii
<b>DAFTAR SIMBOL</b> .....	x
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penulisan.....	4
1.3 Batasan masalah .....	4
1.4 Sistematika penulisan.....	4
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Magnesium dan paduannya.....	6
2.2.1 Magnesium.....	7
2.2.2 Paduan magnesium .....	7
2.2.3 Penggunaan magnesium.....	8
2.2 Pengelasan .....	8
2.2.1 Devinisi Pengelasan .....	8
2.2.2 Jenis-jenis Pengelasan.....	9
2.2.3 Pengelasan Magnesium.....	10

2.2.4 Pengelasan lebur .....	11
2.2.4.1 Las Metal Iner Gas (MIG) .....	12
2.2.4.2 Tungsten Iner Gas (TIG) .....	13
2.2.5 Pengelasan padat .....	14
2.2.5.1 <i>Friction Stir Welding</i> Magnesium .....	15
2.2.5.2 <i>Friction Welding</i> Magnesium .....	16
2.2.6 Keuntungan dan Kelemahan Las <i>Friction Welding</i> .....	18
2.2.7 Parameter Pengelasan <i>Friction Welding</i> .....	19
2.2.8 Aplikasi <i>Friction Welding</i> .....	20
2.3 Pemantauan Suhu Pengelasan <i>Friction Welding</i> Magnesium.....	20
2.3.1 Termografi .....	21
2.3.2 Temperatur Dan Termografi .....	21
2.3.3 Aplikasi Termografi .....	23
2.3.4 Visi Komputer Dan Pengolahan citra .....	23
2.3.5 Unit Kamera Berbasis Termografi .....	24
2.3.6 Pemrosesan Citra Untuk Pengukuran Suhu .....	26
2.3.7 <i>Termovision</i> Sebagai Salah Satu Proses Pengolahan Citra Suhu .....	26
2.4 Uji Mekanik ( <i>mechanical testing</i> ) .....	28
2.4.1 Uji Tarik .....	28
2.4.1.1 Detail Profil Uji Tarik dan Sifat Mekanik Logam .....	31
2.4.2 Uji Kekerasan .....	35
2.4.3 Uji Struktur Mikro .....	41
2.4.3.1 Pengamatan Metalografi .....	42

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian .....	47
3.2 Alat Dan Bahan Penelitian .....	47
3.3 Pelaksanaan Penelitian .....	53
3.4 Pengujian Kualitas Lasan .....	55
3.5 Diagram Alir Penelitian .....	59

### **BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1 Hasil Pengujian .....	60
4.2 Analisis Hasil Pemantauan Termografi .....	61
4.2.1 Distribusi Suhu .....	61
4.2.2 Suhu Pengelasan <i>Friction Welding</i> .....	62
4.3 Analisis Uji Mekanik .....	63
4.3.1 Uji Tarik .....	63
4.3.2 Uji Kekerasan <i>Rockwell</i> .....	67
4.4 Analisis Mikrostruktur .....	69
4.5 Pembahasan.....	71
4.5.1 Distribusi Suhu Saat Proses Pengelasan .....	71
4.5.2 Pengaruh Suhu Terhadap Hasil Pengelasan <i>Friction Welding</i> .....	73

### **BAB V. SIMPULAN DAN SARAN**

5.1 Simpulan .....	78
5.2 Saran.....	79

### **DAFTAR PUSTAKA**

### **LAMPIRAN**

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Skala Kekerasan <i>Rockwell</i> dan Huruf Depan .....	41
Tabel 2. Parameter Pengelasan .....	54
Tabel 3. Data Uji Tarik .....	55
Tabel 4. Data Uji Kekerasan <i>Rockwell</i> .....	56
Tabel 5. Pemaparan Citra Pengelasan .....	60
Tabel 6. Data Uji Tarik .....	67
Tabel 7. Data Uji Kekerasan .....	68

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Magnesium Murni.....	7
Gambar 2. Penamaan Paduan Magnesium.....	7
Gambar 3. Komponen Mobil Yang Terbuat Dari Paduan Magnesium .....	8
Gambar 4. Klasifikasi Pengelasan .....	10
Gambar 5. Pengelasan MIG.....	13
Gambar 6. Prinsip Kerja Las TIG.....	14
Gambar 7. Skema Proses <i>Friction Stir Welding</i> .....	15
Gambar 8. Prinsip Kerja <i>Linier Friction Welding</i> .....	18
Gambar 9. Panjang Gelombang Radiasi Elektromagnetik.....	25
Gambar 10. Aplikasi Termografi.....	27
Gambar 11. Mesin Uji Tarik.....	29
Gambar 12. Batas Elastik dan Tegangan Luluh.....	30
Gambar 13. Kurva Tegangan Regangan.....	31
Gambar 14. Profil Data Hasil Uji Tarik.....	32
Gambar 15. Cara Kerja Mesin Uji Kekerasan <i>Rockwell</i> .....	39
Gambar 16. Media Pengujian <i>Rockwell</i> .....	40
Gambar 17. Alat Uji Struktur Mikro.....	42
Gambar 18. Berbagai Macam Goresan Pada Proses Grinding .....	44
Gambar 19. Mesin Grinding Beserta Prosesnya .....	44
Gambar 20. Material Magnesium AZ31B .....	47
Gambar 21. Penamaan Paduan Magnesium.....	48

Gambar 22. Mesin Bubut.....	49
Gambar 23. Kamera Termografi.....	50
Gambar 24. Mesin Pemotong .....	50
Gambar 25. Mesin Uji tarik .....	51
Gambar 26. Mikroskop .....	52
Gambar 27. Alat Uji Kekerasan.....	53
Gambar 28. Diagram Alir .....	59
Gambar 29. Sampel Standar Uji Tarik .....	63
Gambar 30. Spesimen Uji Tarik Magnesium AZ31 .....	64
Gambar 31. Stuktur Mikro Spesimen B .....	70
Gambar 32. Stuktur Mikro Spesimen D .....	70
Gambar 33. Foto Termografi Pengelasan <i>Friction Welding</i> .....	72
Gambar 34. Suhu Pengelasan <i>Friction Welding</i> .....	73
Gambar 35. Foto Perpatahan Sambungan Las <i>Friction Welding</i> .....	75

## DAFTAR SIMBOL

$A$	Luas awal penampang benda uji	mm <sup>2</sup>
$A_o$	Luas akhir penampang benda uji	mm <sup>2</sup>
$L$	Panjang mula	mm
$L_p$	panjang akhir	mm
$n$	Putaran poros utama	rpm
$t$	Waktu gesek	menit
$\pi$	<i>Phi</i>	3,14
$F$	Beban tarik	kgf
$\Sigma\beta$	Ultimate tensile strength	MPa

## **I. PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Teknologi pengelasan merupakan salah satu jenis teknologi penyambungan logam yang telah dipakai selama puluhan tahun dan telah digunakan secara luas dalam konstruksi permesinan dan kehidupan sehari-hari. Teknologi pengelasan memiliki bermacam-macam jenis metode tergantung penggunaan dan jenis material yang akan disambung. Penggunaan teknologi pengelasan ini banyak digunakan dikarenakan memberikan fleksibilitas yang tinggi serta biaya yang relatif murah. Pengelasan merupakan teknologi yang dapat digunakan hampir pada semua jenis logam, yang salah satunya adalah magnesium.

Magnesium merupakan salah satu jenis logam ringan yang memiliki sifat yang diunggulkan, diantaranya memiliki kepadatan rendah, keuletan yang baik, kekuatan menengah serta ketahanan korosi yang baik, selain itu magnesium dapat digunakan sebagai unsur padu untuk memperbaiki sifat mekanik logam seperti aluminium (Buldum, 2011). Material magnesium memang memiliki banyak kelebihan akan tetapi juga memiliki kekurangan, yaitu sifat mudah terbakar pada suhu tinggi yang membuat bahan tersebut sulit dilakukan proses pengelasan, untuk mengatasi kekurangan tersebut maka

digunakanlah pengelasan *friction welding*. Pengelasan *friction welding* memiliki banyak keunggulan dibanding pengelasan lainya karena tidak memerlukan fluks/selaput las, bahan pengisi/elektroda ataupun gas dalam proses pengelasannya, tidak ada percikan api las ataupun asap yang dihasilkan dan pengelasan dalam kondisi padat, sehingga tidak ada cacat solidifikasi yang terjadi seperti gas porositas, segregasi atau inklusi terak serta dapat menyambung dua bahan logam yang berbeda (*dissimilar*) (Iswar, dkk. 2012).

Pengelasan *friction welding* adalah pengelasan yang memanfaatkan energi panas yang diakibatkan karena adanya gesekan dari dua material yang akan disambung, panas dari gesekan tersebut akan mengakibatkan material menjadi semisolid atau plastis, panas yang timbul akibat gesekan tersebut bahkan mendekati titik lebur logamnya. Dalam kondisi panas tersebut, pergerakan atau pergesekan relatif antar kedua logam dihentikan, kemudian diaplikasikan gaya tekan arah aksial, sehingga terjadi sambungan las (Satoto, 2002).

Panas yang ditimbulkan dari proses pengelasan merupakan variabel yang penting, suhu pengelasan yang tidak cukup tinggi mengakibatkan bahan yang akan disambung tidak dapat menyatu, dan daerah pengaruh panas (HAZ) yang terbentuk pada logam yang disambung juga relative sempit karena panas yang terjadi tidak mencapai temperatur luluh logam sehingga suhu pengelasan pun akan mempengaruhi hasil pengelasan (Husodo, 2013).

Karena pentingnya temperatur panas pada pengelasan, maka diperlukan adanya pemantauan suhu saat proses pengelasan yang dapat mempengaruhi kualitas hasil pengelasan. Hal tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan kamera termografi yang dapat memperlihatkan distribusi panas dan perubahan temperatur yang berupa citra warna, pada setiap warna memiliki batas nilai suhu sesuai proses pengelasan yang dilakukan.

Termografi atau *thermal imaging* adalah teknik yang dengannya energi inframerah yang tidak tampak yang dipancarkan saat proses pengelasan diubah menjadi gambar panas secara visual. Termografi inframerah dapat dianggap sebagai pemetaan panas tanpa sentuhan dan analisa pola panas permukaan objek. Termografi dapat digunakan sebagai cara untuk menginspeksi peralatan listrik atau mekanis untuk menentukan ketidaknormalan fungsi dengan memperoleh pola panasnya. Metode Inspeksi ini didasarkan pada kenyataan sebagian besar komponen di dalam suatu sistem akan menunjukkan kenaikan atau penurunan temperatur jika terjadi malfungsi (Widodo, 2009).

Dengan metode ini diharapkan dapat diketahui parameter batas pengelasan dan fenomena yang terjadi pada pengelasan dengan mengetahui perubahan suhu dan distribusi suhu saat pengelasan dilakukan, sehingga didapat suatu batas maksimum dari parameter pengelasan. Oleh karena itu perlu adanya pemantauan suhu pada saat proses pengelasan terjadi. Dengan memantau proses pengelasan dengan termografi diharapkan dapat mengetahui kenaikan

perubahan suhu dan pola suhu yang nantinya akan digunakan untuk mendeteksi kekurangan yang menghasilkan kesalahan selama proses pengelasan.

## **1.2 Tujuan**

Adapun tujuan dari dilakukanya penelitian ini yaitu :

1. Mengetahui distribusi suhu yang terjadi pada saat melakukan proses pengelasan material AZ31
2. Menganalisa pengaruh distribusi dan input suhu pada hasil pengelasan.

## **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah diberikan agar pembahasan dari hasil yang didapatkan lebih terarah. Adapun batasan masalah pada tugas akhir ini sebagai berikut :

1. Pengujian dilakukan pada mesin bubut dengan material magnesium AZ31.
2. Pengujian dilakukan dengan mempertimbangkan parameter pemesinan yang dapat dilakukan pada mesin bubut.
3. Tekanan tidak diuji secara spesifik pada setiap variasi waktu gesek, namun diasumsikan berdasarkan putaran *tail stock*.
4. Benda yang dilas berupa magnesium

## **1.4 Sistematika Penulisan**

Penulisan tugas akhir ini disusun menjadi lima bab. Adapun sistematika penulisannya adalah sebagai berikut :

Bab I adalah pendahuluan yang berisikan uraian latar belakang penelitian tugas akhir, tujuan penelitian tugas akhir, batasan masalah dan sistematika penulisan.

Bab II adalah tinjauan pustaka yang berisikan uraian tinjauan pustaka yang dijadikan sebagai landasan teori untuk mendukung penelitian ini.

Bab III adalah metodologi yang berisikan uraian metode tentang langkah-langkah, alat dan bahan yang dilakukan untuk mencapai hasil yang diharapkan dalam penelitian ini.

Bab IV adalah hasil dan analisa yang berisikan uraian hasil dan membahas yang diperoleh dari penelitian ini.

Bab V adalah simpulan dan saran yang berisikan uraian kesimpulan dari hasil dan pembahasan sekaligus memberikan saran yang dapat menyempurnakan penelitian ini.

Daftar Pustaka adalah berisikan literatur-literatur atau referensi yang diperoleh penulis untuk mendukung penyusunan laporan penelitian ini.

Lampiran berisikan beberapa hal yang mendukung penelitian.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Magnesium dan Paduan Magnesium

#### 2.1.1 Magnesium

Magnesium berasal dari kata Yunani untuk sebuah kabupaten di Thessaly yang disebut Magnesia. Hal ini terkait pula dengan magnetit dan mangan yang juga berasal dari daerah sekitar Magnesia. Magnesium pula termasuk dalam golongan logam alkali tanah dan juga merupakan unsur kedelapan yang melimpah di kerak bumi, serta merupakan unsur terlarut ketiga terbanyak pada air laut. Logam alkali tanah sering digunakan sebagai zat campuran (*alloy*) untuk membuat campuran aluminium-magnesium yang biasa disebut "*magnalium*" atau "*magnelium*" (Setiawan, 2013).

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  $1.738 \text{ g.cm}^{-3}$ , titik lebur sekitar  $923 \text{ }^\circ\text{K}$  ( $650 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $1202 \text{ }^\circ\text{F}$ ), titik didih  $1363 \text{ }^\circ\text{K}$  ( $1090 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $1994 \text{ }^\circ\text{F}$ ). Magnesium murni memiliki kekuatan tarik sebesar  $110 \text{ N/mm}^2$  dalam bentuk hasil pengecoran (*casting*).

Magnesium murni mempunyai ciri fisik berwarna putih keperakan.

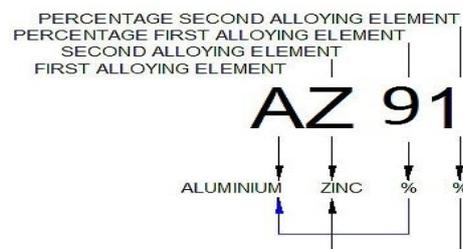


Gambar 1. Magnesium murni

(Sumber: [http://wikipedia/Magnesium\\_crystals.jpg](http://wikipedia/Magnesium_crystals.jpg))

### 2.1.2 Paduan magnesium

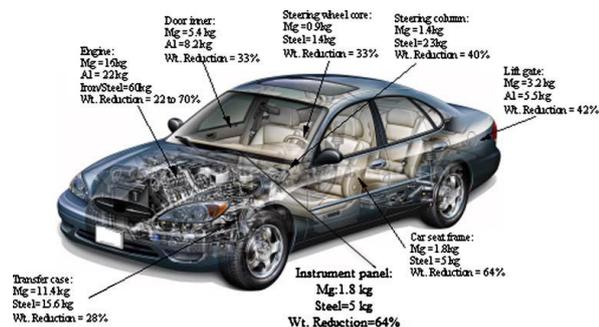
Paduan magnesium sering digunakan terutama untuk bahan yang memerlukan massa yang ringan namun juga tetap memiliki kekuatan yang baik. Magnesium biasa dicampur dengan bahan lain seperti aluminium, mangan, dan juga zinc untuk meningkatkan sifat fisik, namun dengan beberapa persentase yang berbeda. AZ91 merupakan salah satu contoh paduan magnesium dengan aluminium dan zinc dimana persentase dari masing-masing paduan sekitar 9% dan 1%. Penamaan paduan magnesium ditunjukkan pada Gambar.



Gambar 2. Penamaan paduan magnesium (Sumber : Buldum, 2011).

### 2.1.3 Penggunaan Magnesium

Magnesium semakin diminati, hal ini bisa saja disebabkan oleh karakteristik magnesium yang ringan namun juga tetap memiliki ketangguhan spesifik tinggi dan kekakuan. Magnesium sendiri mempunyai sifat mampu pemesinan, mampu cor dan juga mampu las yang baik. Karena sifatnya yang ringan dan daya tahan yang baik serta memiliki umur yang panjang, penggunaan magnesium semakin meningkat seiring perkembangan industri. Terutama pada industri otomotif yang memerlukan material komponen mesin yang mampu bentuk, namun tetap memiliki ketangguhan spesifik yang tinggi. Pengurangan beban kendaraan dapat mengurangi konsumsi bahan bakar (Blawert, 2004).



Gambar 3. Komponen mobil yang terbuat dari paduan magnesium.

(Sumber Mahrudi, 2013)

## 2.2 Pengelasan

### 2.2.1 Definisi Pengelasan

Pengelasan merupakan penyambungan dua bahan atau lebih yang didasarkan pada prinsip-prinsip proses difusi, sehingga terjadi penyatuan bagian bahan yang disambung. Kelebihan sambungan las adalah konstruksi ringan, dapat

menahan kekuatan yang tinggi, mudah pelaksanaannya, serta cukup ekonomis. Namun kelemahan yang paling utama adalah terjadinya perubahan struktur mikro bahan yang dilas, sehingga terjadi perubahan sifat fisik maupun mekanis dari bahan yang dilas (Riswan, 2008). Berdasarkan definisi dari Deuche industrie Normen (DIN) las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dari definisi tersebut dapat dijabarkan lebih lanjut bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas.

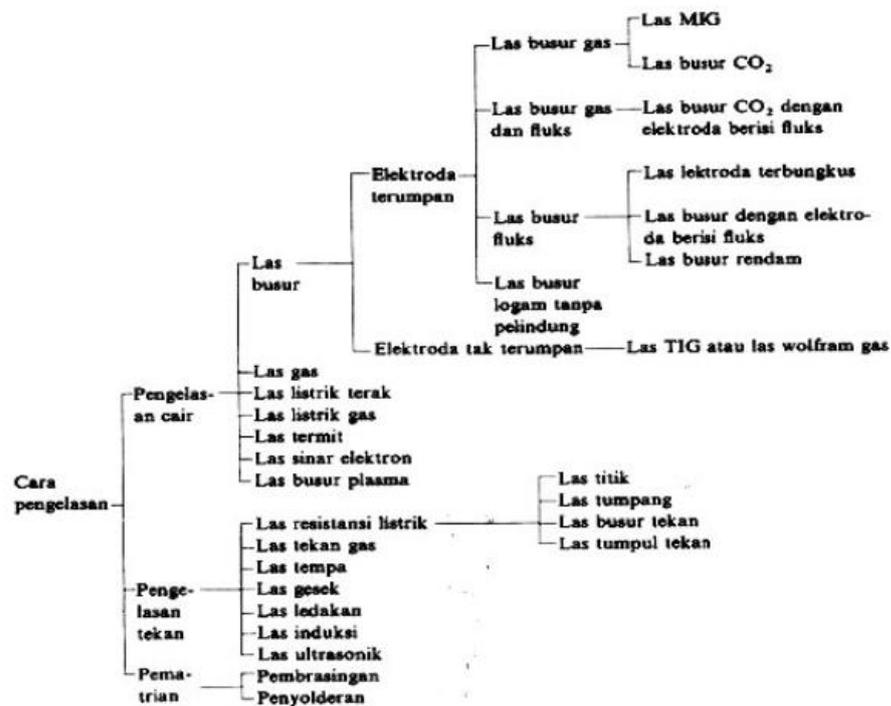
### **2.2.2 Jenis-Jenis Pengelasan**

Sampai pada saat ini sudah terdapat banyak jenis-jenis pengelasan, dan di klasifikasikan dalam 2 golongan yaitu klasifikasi berdasarkan cara kerja dan klasifikasi berdasarkan energi yang digunakan. Berdasarkan klasifikasi tersebut pengelasan dapat dibagi dalam tiga kelas utama yaitu pengelasan cair, pengelasan tekan dan pematrian.

- a. Pengelasan cair adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan sampai mencair dengan sumber panas dari busur listrik atau semburan api gas yang terbakar
- b. Pengelasan tekan adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu.

- c. 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.

Perincian lebih lanjut dari klasifikasi ini dapat dilihat pada tabel dibawah ini. Pada tabel tersebut menerangkan beberapa cara dan jenis jenis pengelasan yang banyak dilakukan.



Gambar 4. Klasifikasi Pengelasan

### 2.2.3 Pengelasan Magnesium

Teknologi pengelasan merupakan salah satu jenis teknologi untuk penyambungan logam yang telah dipakai selama puluhan tahun dan telah digunakan secara luas dalam konstruksi permesinan dan kehidupan sehari-

hari. Luasnya penggunaan teknologi ini dikarenakan memberikan fleksibilitas yang tinggi dalam desain serta biaya yang relatif murah. Untuk memperoleh sambungan logam hasil pengelasan yang sesuai dengan tujuan serta memiliki sifat mekanik yang sesuai dengan konstruksi yang direncanakan, diperlukan beberapa parameter yang digunakan dalam proses pengelasan (Baskoro. ddk, 2013).

Proses pengelasan magnesium dibagi dalam dua kategori utama, yaitu pengelasan lebur dan pengelasan padat. Pengelasan lebur menggunakan panas untuk melebur permukaan yang akan disambung, beberapa operasi menggunakan logam pengisi dan yang lain tanpa logam pengisi. Pengelasan padat proses penyambungannya menggunakan panas dan atau/tekanan, tetapi tidak terjadi peleburan pada logam dasar dan tanpa penambahan logam pengisi contohnya *friction welding*. Dalam pengelasan lebur magnesium dan paduannya, pada umumnya menggunakan proses seperti las TIG (*tungsten inert gas*) maupun las MIG (*metal inert gas*) (Okumura & Wiryosumarto, 2004).

#### **2.2.4 Pengelasan Lebur Magnesium**

Pengelasan magnesium dapat dilakukan dengan pengelasan lebur, proses pengelasan lebur yang dapat digunakan salah satunya dengan proses pengelasan MIG dan TIG.

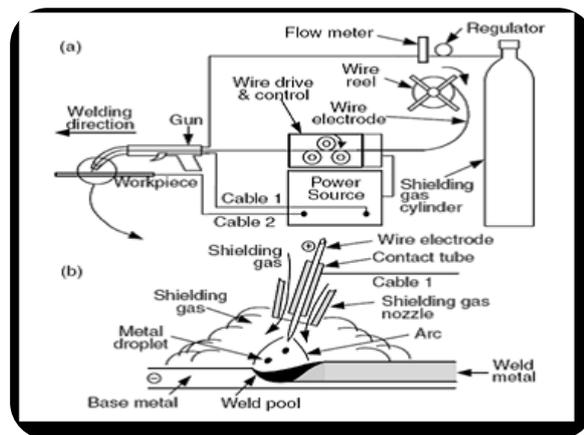
#### 2.2.4.1 Las Metal Iner Gas (MIG)

*Metal Inert Gas* (MIG) adalah las busur gas dengan kawat las pengisi berfungsi sebagai elektroda yang diumpankan secara terus menerus selama pengelasan. Gas pelindung digunakan untuk melindungi daerah pengelasan yang mencair (*molten metal*) dari oksidasi oleh udara atmosfer. Gas pelindung yang digunakan biasanya adalah gas argon, helium atau campuran dari keduanya. Karena kedua gas tersebut harganya relatif mahal, maka gas CO<sub>2</sub> dapat menjadi alternatif. Keuntungan las MIG jika dibandingkan las jenis lain antara lain:

1. Karena konsentrasi busur yang tinggi, maka busurnya sangat mantap dan percikannya sedikit sehingga memudahkan operasi pengelasan.
2. Karena dapat menggunakan arus yang tinggi, kecepatan pengelasan yang digunakan juga tinggi, sehingga efisiensinya sangat baik.
3. Deposit yang terbentuk cukup banyak.
4. Ketangguhan dan elastisitas, kedekatan udara dan sifat-sifat lainnya lebih baik daripada hasil las dengan cara pengelasan lain.

Karena hal-hal tersebut di atas, maka las MIG banyak sekali digunakan dalam praktek terutama untuk pengelasan baja-baja kualitas tinggi seperti baja tahan karat, baja kuat dan logam-logam bukan baja yang tidak dapat dilas dengan cara lain. Kawat pengisi dalam las MIG biasanya diumpankan secara otomatis, sedangkan alat pembakarnya (*torch*) digerakkan dengan tangan. Sehingga dengan ini tercipta suatu alat las semi otomatis seperti yang

ditunjukkan pada Gambar 5. Kadang-kadang, las MIG juga dilaksanakan secara otomatis penuh, dimana alat pembakarnya ditempatkan pada suatu kedudukan pengelasan yang berjalan (Wiryosumarto, 1994).

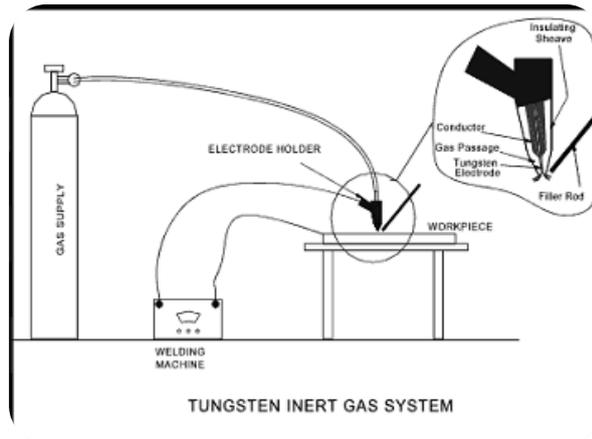


Gambar 5. Pengelasan MIG (a) Proses keseluruhan dan (b) pembesaran daerah pengelasan (Baskoro. ddk, 2013).

#### 2.2.4.2 Las Tungsten Iner Gas (TIG)

Las *Tungsten inert gas* (TIG) Salah satu jenis *non consumable electrode* yang paling banyak digunakan adalah las TIG atau lebih dikenal dengan sebutan las Argon. Argon termasuk gas lemas (*inert gas*) yang berfungsi sebagai pelindung deposit lasan dari pengaruh udara luar. Gas Argon harganya cukup mahal dan sangat berpengaruh terhadap biaya pengoperasian las TIG. Berkaitan dengan hal tersebut, biasanya las jenis ini digunakan untuk mengelas stainless steel dan logam-logam nonfero seperti Aluminium, Titanium, dll. Bagian utama las TIG adalah sebuah Inverter, satu unit peralatan kontrol, *welding gun*, satu tabung gas pelindung beserta regulatornya. Pengoperasian las TIG dimulai dengan mengalirkan arus listrik

ke dalam rangkaian listrik, pada saat ujung elektroda didekatkan pada benda kerja akan terjadi loncatan arus listrik bersamaan dengan keluarnya gas pelindung yang panasnya dapat mencairkan bahan tambah (*filler metal*) dengan benda kerja dan terjadilah pengelasan (Djadmiko, 2008).



Gambar 6. Prinsip Kerja Las TIG

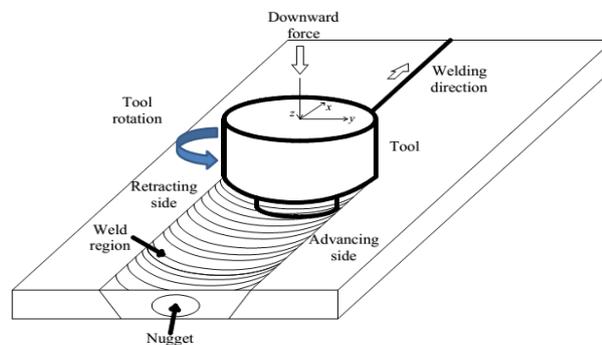
### 2.2.5 Jenis pengelasan padat Magnesium

Pengelasan padat adalah pengelasan yang proses penyambungannya menggunakan panas dan/atau tekanan, tetapi tidak terjadi peleburan pada logam dasar dan tanpa penambahan logam pengisi. Bahan magnesium yang memiliki sifat mudah terbakar membuat bahan tersebut sulit dilas menggunakan las cair. Untuk mengatasi hal tersebut dapat menggunakan jenis pengelasan padat seperti pengelasan *friction stir welding* atau pengelasan *friction welding* tergantung bentuk bahan dan posisi sambungan yang diinginkan.

### 2.2.5.1 *Friction stir welding* magnesium

Pengelasan *friction stir welding* adalah suatu teknologi pengelasan yang merupakan proses solid state joining yang bisa digunakan untuk menyambung material yang berbeda. Pada proses pengelasan FSW material yang dilas tidak benar-benar mencair pada saat proses berlangsung (temperatur kerjanya tidak melewati titik lebur benda kerja) sehingga pengelasan FSW termasuk *unconsumable solid state joining* (Rahayu, 2012).

*Friction stir welding* (FSW) adalah sebuah metode pengelasan yang memanfaatkan gesekan dari benda kerja yang berputar (*tool*) dengan benda kerja lain yang diam sehingga menimbulkan panas yang mampu melelehkan benda kerja yang diam tersebut dan akhirnya tersambung menjadi satu (Wijayanto & Anelis, 2010)



Gambar 7. Skema proses *friction stir welding*

(Sumber: Gabor & Santos, 2013)

Gesekan panas (*frictional heat*) pada FSW dihasilkan oleh gesekan antara *probe* dan *shoulder* dari *welding tool* dengan material benda kerja. Panas ini bersama dengan panas yang dihasilkan dari proses *mechanical mixing* akan menyebabkan material yang diaduk akan melunak tanpa melewati titik leburnya (*melting point*). Hal inilah yang memungkinkan *tool* pengelasan bisa bergerak sepanjang jalur pengelasan. Ketika *pin welding tool* bergerak sepanjang jalur pengelasan, permukaan depan *pin* akan memberikan gaya dorong plastis terhadap material ke arah belakang *pin* sambil memberikan gaya tampa yang kuat untuk mengkonsolidasikan logam las (Rahayu, 2012). Pada umumnya pengelasan *friction stir welding* digunakan pada bahan yang memiliki permukaan datar seperti plat namun pada penelitian ini bahan yang digunakan berbentuk pejal, oleh karena itu penelitian ini menggunakan metode pengelasan *friction welding*.

#### **2.2.5.2 Friction Welding Magnesium**

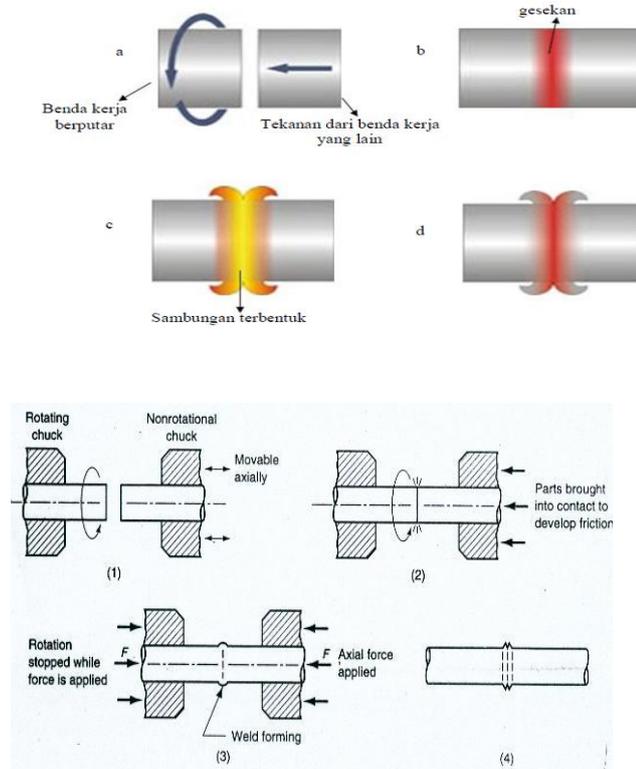
Pengelasan gesek (*friction welding*) merupakan salah satu solusi dalam memecahkan permasalahan penyambungan logam yang sulit dilakukan dengan fusion welding (pengelasan cair) yang salah satunya adalah logam magnesium. Pada pengelasan gesek (*friction welding*) proses penyambungan logamnya tanpa pencairan (*solid state proses*) yang mana proses pengelasan terjadi sebagai akibat penggabungan antara laju putaran salah satu benda kerja yang berputar. Gesekan yang diakibatkan oleh pertemuan kedua benda kerja tersebut akan menghasilkan panas yang dapat melumerkan kedua ujung benda

kerja yang bergesekan sehingga mampu melumer dan akhirnya terjadi proses penyambungan. Pada pengelasan gesek (*friction welding*) terjadi beberapa fenomenafisik seperti perubahan panas akibat gesekan deformasiplastis dan sebagainya. Adapun parameter penting dalam proses pengelasan gesek (*friction welding*) meliputi *friction time*, *rotational speed*, dan *friction pressure*. Parameter-parameter yang ditunjukkan diatas akan berpengaruh terhadap sifat mekanik hasil sambungan las gesek (Sigit dkk, 2012)

Metode las gesek yang memanfaatkan gesekan langsung antara dua permukaan benda kerja yang akan dilas. Proses penyambungan *friction welding* terjadi pada kondisi pada padat (*solid state joining*), kondisi ini dapat dimanfaatkan untuk pengelasan magnesium yang mempunyai kekurangan yaitu sifat mudah terbakar pada suhu tinggi. Mekanisme *friction welding* ditunjukkan pada Gambar 8.

- a) Terdapat dua bagian benda kerja, salah satu benda kerja berputar relative dengan kecepatan tertentu terhadap benda kerja yang lainnya dimana benda kerja yang satunya memberikan tekanan.
- b) Gesekan antara kedua permukaan akan menghasilkan panas yang akan melelehkan ujung permukaan benda kerja.
- c) Tekanan terus diberikan hingga lelehan kedua permukaan menyatu dan membentuk sambungan.

d) Jika kedua permukaan telah menyatu, putaran dihentikan dan pada sisi tekan diberikan tekanan tambahan untuk mengasilkan sambungan yang sempurna.



Gambar 8. Prinsip kerja *linier friction welding*

### 2.2.6 Keuntungan dan Kelemahan Las *Friction Welding*

Keuntungan menggunakan proses penyambungan dengan las *friction welding* antara lain :

- Kebersihan permukaan sambungan tidak diperlukan, karena selama proses *friction* permukaan akan terkelupas dan terdeformasi kebagian luar.
- Tidak memerlukan logam pengisi, pelindung flux dan gas pelindung selama proses
- Tidak terdapat cacat akibat fenomena pencairan dan pembekuan.

- Dimungkinkan untuk menyambung dua material logam yang berbeda.
- Ongkos pengerjaan lebih ringan.

Namun *friction welding* memiliki keterbatasan yaitu ;

- Benda yang disambung harus simetris
- Proses umumnya terbatas pada permukaan plat dan bentuk batang bulat.
- Salah satu material yang disambung harus memiliki sifat mampu dideformasi secara plastis (Tiwan & Ardian, 2005)

### **2.2.7 Parameter Pengelasan *Friction Welding***

Kualitas hasil pengelasan *friction welding* sangat tergantung pada parameter proses pengelasan. Parameter pengelasan meliputi: waktu gesekan, tekanan gesekan, waktu tempa, tekanan tempa dan kecepatan putar (Spindler, 1994). Keberhasilan *friction welding* dipengaruhi oleh 5 faktor, yang berhubungan dengan sifat material dan kondisi kerja. Adapun kelima faktor tersebut yaitu:

- Kecepatan relatif antar permukaan.
- Tekanan yang dikenakan.
- Temperatur yang terbentuk pada permukaan.
- Sifat bulk dari material.
- Kondisi permukaan dan kehadiran lapisan tipis pada permukaan.

Ketiga faktor yang pertama berhubungan dengan kondisi proses pelaksanaan *friction welding*. Sedangkan dua faktor yang terakhir tergantung dari sifat material logam yang disambung. Selama proses *friction welding* timbulnya

panas dipermukaan dikontrol oleh kecepatan relatif antar permukaan, tekanan yang dikenakan dan lamanya penekanan. Kondisi temperatur permukaan merupakan parameter yang kritis untuk menghasilkan sambungan yang baik. Dan hal tersebut tergantung dari kondisi proses dan material yang disambung. Sifat bulk material dan kondisi permukaan mempengaruhi karakteristik gaya gesek dan tekan dari material yang disambung (Tiwana & Ardian, 2005).

### **2.2.8 Aplikasi *Friction Welding***

*Friction welding* biasanya digunakan untuk mengelas bermacam-macam poros dan komponen *tubular*. *Friction welding* dapat dijumpai di bidang otomotif, pesawat terbang, peralatan pertanian, dan migas.

## **2.3 Pemantauan Suhu Pengelasan *Friction Welding* Magnesium**

Pengelasan *friction welding* merupakan pengelasan yang memanfaatkan panas yang dihasilkan dari gesekan dua permukaan bahan las hingga permukaan hampir mencapai titik leburnya yang kemudian diberikan gaya tekan sehingga bahan dapat tersambung. Pada prosesnya penyambungannya suhu pengelasan sangatlah berpengaruh pada hasil pengelasan, suhu pengelasan yang tidak cukup tinggi mengakibatkan bahan yang akan disambung tidak dapat berdifusi (menyatu). Adalah penting bahwa, selama proses tersebut, suhu maksimum juga tidak melebihi titik leleh bahan berikat (Ambroziak dkk, 2011).

Karena hal tersebut perlu adanya pemantauan suhu pada saat proses pengelasan terjadi. Pemantauan ini bertujuan mengetahui fenomena yang terjadi pada saat proses pengelasan dilakukan dan memantau perubahan suhu yang terjadi pada bahan las, sehingga saat suhu yang diperlukan tercapai maka dilakukan lah proses penekanan pada kedua bahan las dan terjadilah proses penyambungan. Pemantaun ini dapat dilakukan dengan beberapa cara, salah satunya adalah dengan radiografi dan themografi inframerah.

### **2.3.1 Termografi Inframerah**

Termografi atau *thermal imaging* adalah teknik yang dengannya energi inframerah yang tidak tampak yang dipancarkan saat proses pengelasan diubah menjadi Gambar panas secara visual. Termografi inframerah dapat dianggap sebagai pemetaan panas tanpa sentuhan dan analisa pola panas permukaan objek. Termografi dapat digunakan sebagai cara untuk menginspeksi peralatan listrik atau mekanis untuk menentukan ketidaknormalan fungsi dengan memperoleh pola panasnya. Metode Inspeksi ini didasarkan pada kenyataan sebagian besar komponen di dalam suatu sistem akan menunjukkan kenaikan atau penurunan temperatur jika terjadi malfungsi (Widodo, 2009).

### **2.3.2 Temperatur dan Termografi**

Temperatur merupakan variabel yang paling mudah dipantau. Hampir semua fenomena alam akan mengakibatkan terjadinya perubahan tempratur. Pengukuran temperatur dapat dilakukan baik secara kontak maupun nonkontak. Sebagian besar pengukuran dengan metode kontak dilakukan

dengan menggunakan termometer dan termokopel. Sedangkan pengukuran non-kontak menggunakan sensor inframerah yang semakin banyak dikembangkan dan mulai banyak digunakan. Pengukuran non-kontak didasarkan pada teori Plank, bahwa semua benda yang bertemperatur diatas  $0^{\circ}$  K memancarkan sinar inframerah. Besarnya intensi terutama bergantung pada temperatur material. Namun demikian lingkungan sekitar, sifat-sifat permukaan bahan, jenis bahan dan lain-lain turut memberikan kontribusi pada intensitas pancaran inframerah. Parameter tersebut bersifat *noise* sehingga harus turut diperhatikan pada waktu menganalisis pola distribusi temperatur.

Karena *noise* tersebut sangat sulit untuk dikoreksi secara numerik, pola distribusi temperatur yang dihasilkan lebih bersifat kualitatif. Dibanding model kontak, pengukuran non-kontak mempunyai keunggulan berupa tidak mengganggu pengoperasian, memonitor dari jarak jauh, akuisisi lebih cepat dan menghasilkan distribusi atau pola panas pada permukaan sebuah benda. Sekarang ini telah tersedia kamera yang dapat merekam pancaran inframerah dari suatu permukaan benda. Dengan demikian distribusi atau pola temperatur pada suatu permukaan benda dapat dimonitor. Dalam tugas akhir ini, topik yang dibahas adalah termografi (Satmoko, 2007).

Dengan teknik ini suatu pemantauan kondisi dilakukan melalui pengukuran panas dan visual dengan merekam, mengukur temperature yang terjadi pada bagian tertentu dari sebuah peralatan. Temperatur abnormal yang sering

disebut dengan istilah titik panas atau *hot spot* mengindikasikan adanya berbagai kemungkinan.

### **2.3.3 Aplikasi Termografi**

Termografi atau *thermal imaging* adalah teknik yang dengannya energi inframerah yang tidak tampak yang dipancarkan saat proses pengelasan diubah menjadi Gambar panas secara visual. Termografi berlandaskan pada perubahan temperature, hal ini dapat diaplikasikan pada beberapa bidang:

- Inspeksi ketidak abnormalan bermacam peralatan listrik
- Inspeksi komponen mesin
- Dan inspeksi dibidang kesehatan

### **2.3.4 Visi Komputer dan Pengolahan Citra**

Definisi dari pengolahan citra adalah pengolahan suatu citra dengan menggunakan komputer secara khusus, untuk menghasilkan suatu citra yang lain. Dengan menggunakan sistem pengolahan citra dapat merepresentasikan suatu proses dalam bentuk visual yang mudah untuk diamati untuk mendapatkan suatu tahap pengambilan keputusan. Dalam prakteknya pengolahan citra begitu erat dalam keseharian untuk beberapa aplikasi yang membutuhkan kecermatan. Seperti pada bidang astronomi untuk pemetaan geografi bumi dengan menggunakan satelit dimana memerlukan suatu integrasi untuk menghasilkan keadaan bumi secara keseluruhan baik kedalaman laut, ketinggian gunung ataupun keadaan pemukiman. Pada contoh lain penggunaan pengolahan citra sebagai alat kemanan untuk melindungi beberapa dokumen penting dan barang berharga dapat

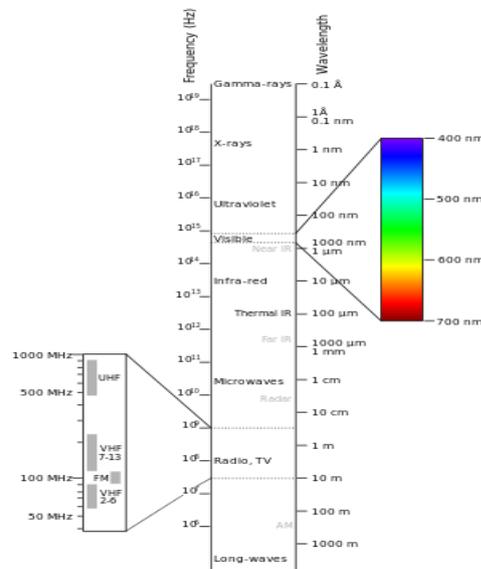
menggunakan pengolahan citra *fingerprint* atau *eye-retina identification*. Melakukan proses pengolahan citra membutuhkan beberapa komponen untuk menangkap Gambar citra dalam hal ini dapat menggunakan kamera video. Dengan cara ini dapat mengolah data yang diperlukan dengan menangkap intensitas cahaya yang tertangkap kamera. Intensitas cahaya itu sendiri merupakan salah satu sinyal listrik dan dengan cara paling sederhana menggunakan *photosensitive cells* dapat membuat kamera primitif yang menghasilkan sederetan sinyal yang menghasilkan tingkatan-tingkatan intensitas cahaya untuk masing-masing spot pada Gambar (Fadlisyah, 2007).

### **2.3.5 Unit Kamera Berbasis Termografi**

Perbedaan mengenai kamera video standar biasa dengan unit kamera termografi umumnya terletak pada objek yang ditangkap. Tanggapan kamera video standar adalah untuk radiasi cahaya tampak dari objek yang terlihat, sedangkan tanggapan unit termografi khusus untuk radiasi inframerah dari objek yang diamati. Oleh karena itu objek ditangkap melewati *viewfinder* ditampilkan dalam bentuk *false colours* untuk membawa informasi suhu.

Panjang gelombang dari objek yang memancarkan warna tampak atau warna-warna yang biasa dilihat oleh mata seperti warna merah, kuning, hijau dan biru berkisar kurang dari  $1\mu\text{m}$  dan panjang gelombang yang dipancarkan oleh sinar inframerah yang memiliki panjang gelombang setingkat lebih kecil dibandingkan dengan warna tampak atau nyata adalah antara  $1\mu\text{m}$  sampai  $10\mu\text{m}$ . Termografi inframerah menggunakan peralatan khusus untuk mengukur

suhu permukaan. Objek bersuhu tinggi memancarkan jumlah energi pada daerah spektrum elektromagnetik inframerah yang lebih besar dari pada suhu rendah objek tersebut. Suatu kamera inframerah mendeteksi besar radiasi inframerah yang dipancarkan dari sebuah objek, dan mengkonversikan suhu tersebut ke dalam citra panas video yang disebut dengan termogram (Haris dkk, 2012).



Gambar 9. Panjang gelombang radiasi elektromagnetik.

(Sumber : Fadlisyah, 2007)

Hal ini yang dapat dipergunakan untuk mengetahui besarnya panas yang dihasilkan oleh material dengan menggunakan efek radiasi yang dihasilkan suatu objek material tersebut. Penggunaan akan termografi diaplikasikan dalam perawatan di pabrik manufaktur, khususnya pada industri-industri besar yang memerlukan beberapa kriteria untuk meloloskan produk jadinya. Karena suhu merupakan hal yang menjadi perhatian utama dan saran diagnostik.

### **2.3.6 Pemrosesan Citra Untuk Pengukuran Suhu**

Proses pengukuran suhu dapat dibagi menjadi dua kategori, yaitu dengan pengukuran langsung (kontak) dan pengukuran secara tidak langsung (nonkontak) dengan mengolah data-data yang diperoleh. Pada umumnya pengukuran suhu dengan metode kontak menggunakan alat seperti termokopel, RTD (*Resistance Temperature Detectors*), dan termometer dengan cara dikenakan secara langsung oleh objek yang akan diukur, dan respon alat-alat tersebut terhadap pengukuran relatif lambat, tetapi tidak terlalu mahal.

Pengukuran secara tidak langsung (nonkontak) menggunakan sensor-sensor suhu untuk mengukur radiasi pancaran energi inframerah dari target. Pengukuran non kontak mempunyai tanggapan cepat, juga dapat digunakan untuk mengukur suhu target yang bergerak, dan terputus-putus. Kelebihan lain dari pengukuran non kontak yaitu dapat mengukur pada daerah hampa, dan target yang tidak dapat diakses secara langsung karena terletak pada daerah yang membahayakan atau yang beresiko. Dengan kelebihan-kelebihan itu pengukuran nonkontak sangat efisien walaupun harganya relatif mahal.

### **2.3.7 Termovision sebagai salah satu proses pengolahan citra suhu**

Termovision merupakan salah satu aplikasi yang bertujuan untuk dapat membaca suhu dari sebuah citra berformat JPG dan distribusi suhu melalui warna merah yang menunjukkan bagian terpanas. Konsep dari termovision ini

sendiri hampir sama dengan metode termografi, hanya saja pada termografi aplikasi utamanya pada bagian kesehatan atau kedokteran.

Seperti pada Gambar 10. Metode termografi didasarkan pada perbedaan suhu antar lingkungan sekitar dengan objek yang dipantau. Distribusi suhu yang bervariasi ini bisa disebabkan karena adanya perbedaan panas yang disebabkan oleh benda yang bergerak. Dimana benda yang bergerak seperti gear akan menghasilkan panas. (Tridinews, 2014).



Gambar 10. Aplikasi Termografi

(Sumber : Tridinews, 2014)

Kelebihan aplikasi termografi adalah dapat menangkap perbedaan suhu yang dinyatakan dalam bentuk warna secara langsung, tanpa harus menempelkan alat pendeteksi pada benda objek. Selain dari kelebihan itu, aplikasi termografi memiliki kekurangan yaitu aplikasi termografi masih dilakukan secara manual.

## **2.4 Uji mekanik (*mechanical testing*)**

Setelah dilakukannya penelitian sehingga mendapatkan beberapa sampel, maka dilanjutkan dengan melakukan pengujian mekanis pada sampel. Pengujian dilakukan dengan tujuan untuk menentukan respon material dari suatu konstruksi, komponen atau rakitan fabrikasi pada saat dikenakan beban atau deformasi dari luar yang menghasilkan suatu nilai. Dari nilai pengujian tersebut dapat ditentukan kualitas hasil dari sebuah sampel dengan membanding data awal dengan data setelah pengujian. Pengujian mekanik yang dilakukan dibagi menjadi beberapa bagian yaitu uji tarik (*tensile strength test*), uji kekerasan (*hardness tester*), dan uji mikrostruktur seperti yang dijelaskan dibawah ini.

### **2.4.1 Uji tarik (*tensile strength test*)**

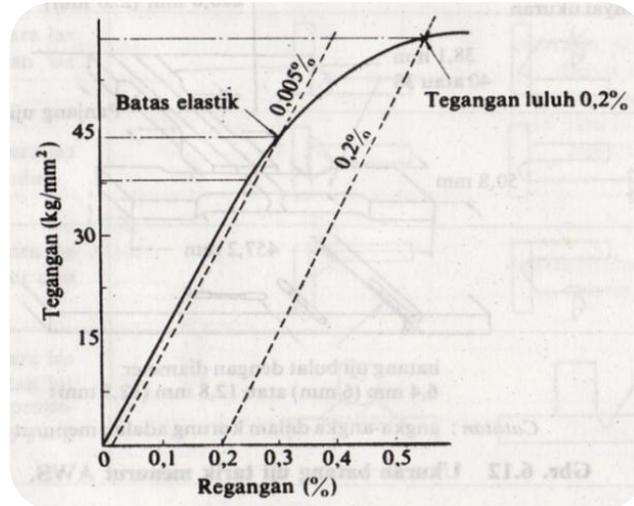
Pengujian tarik merupakan pengujian yang paling sering digunakan, karena pengujian ini mampu memberikan informasi representatif dari perilaku mekanis material. Uji Tarik adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan/material dengan cara memberikan beban gaya yang satu sumbu. Prinsip pengujian ini ialah sampel atau benda uji dengan ukuran dan bentuk tertentu ditarik dengan beban kontinyu sambil diukur pertambahan panjangnya. Kemudian data yang didapat berupa perubahan panjang dan perubahan beban yang selanjutnya ditampilkan dalam bentuk kurva tegangan-regangan. Data-data penting yang diharapkan didapat dari pengujian tarik ini adalah: perilaku mekanik material dan karakteristik perpatahan (Sudrajat, 2012).



Gambar 11. Mesin Uji Tarik (*Universal Testing Machine*)

Uji tarik yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan mesin uji tarik (*universal testing machine*) seperti yang terlihat pada Gambar 10. Pada proses pengujian dilakukan dengan cara Benda uji dijepit pada mesin uji tarik, kemudian diberikan beban statik yang dinaikkan secara bertahap sampai spesimen putus. Besarnya beban dan pertambahan panjang dihubungkan langsung dengan *Plotter*, sehingga diperoleh grafik tegangan (MPa) dan regangan (%) yang memberikan informasi data berupa tegangan luluh ( $\sigma_{ys}$ ), tegangan *Ultimate* ( $\sigma_{ult}$ ), *Modulus Elastisitas* bahan ( $E$ ), ketangguhan dan keuletan spesimen yang diuji tarik (Dowling, 1999).

Dari nilai-nilai uji tarik yang didapatkan dapat diubah menjadi suatu pola profil tarikan berupa kurva yang ditunjukkan oleh Gambar 12. Kurva ini menunjukkan hubungan antara gaya tarikan dengan perubahan panjang.



Gambar 12. Batas Elastik Dan Tegangan Luluh (Wiriyosumarto, 1996)

Dari kurva ini, kekuatan luluh dan modulus elastisnya dapat ditentukan dan besar beban dalam pengujian ini disebut kekuatan tarik maksimum. Setelah spesimen patah panjang akhir dan *Cross-Sectional area* digunakan untuk menghitung persentase *Elongation* dan pengurangan luas.

Tegangan yang digunakan pada kurva tegangan-regangan diperoleh dengan cara membagi beban dengan luas awal penampang benda uji. Sedangkan regangan yang digunakan diperoleh dengan cara membagi perpanjangan benda uji dengan panjang awal benda uji. Tegangan dan regangan tersebut dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$\text{Tegangan: } \sigma = \frac{F}{A_0} \text{ (kgf/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana: F = beban (kgf)

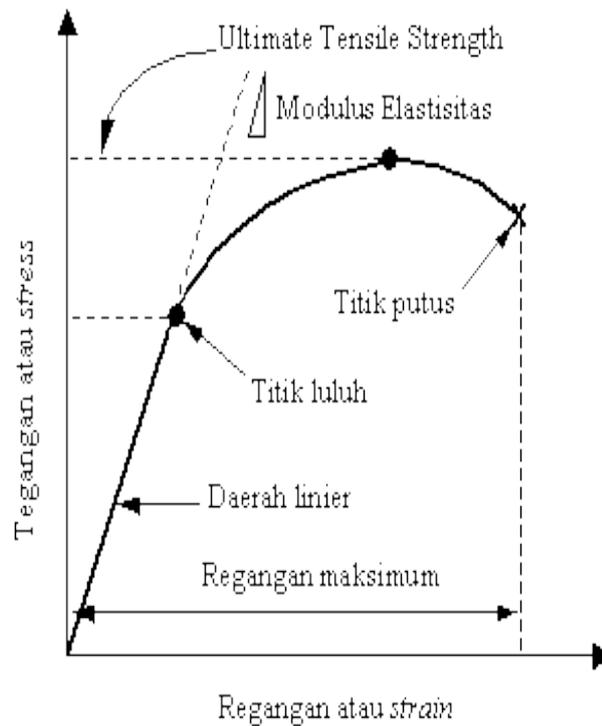
$A_0$  = luas awal dari penampang benda uji (mm<sup>2</sup>)

$$\text{Regangan: } \epsilon = \frac{L-L_0}{L_0} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:  $L_0$  = panjang awal dari batang uji (mm)

$L$  = panjang batang uji yang dibebani (mm)

(Okumura & Wiryosumarto, 2004).



Gambar 13. Kurva regangan tegangan

#### 2.4.1.1 Detail profil uji tarik dan sifat mekanik logam

Sekarang akan kita bahas profil data dari tensile test secara lebih detail. Untuk keperluan kebanyakan analisa teknik, data yang didapatkan dari uji tarik dapat digeneralisasi seperti pada Gambar 14.



kurang dari 0.03%, tetapi sebagian referensi menyebutkan 0.005% . Tidak ada standarisasi yang universal mengenai nilai ini (Shudo, 1983).

Batas proporsional  $\sigma_p$  (*proportional limit*)

Titik sampai di mana penerapan hukum Hook masih bisa ditolerir. Tidak ada standarisasi tentang nilai ini. Dalam praktek, biasanya batas proporsional sama dengan batas elastis.

Deformasi plastis (*plastic deformation*)

Yaitu perubahan bentuk yang tidak kembali ke keadaan semula. Pada Gambar 14 yaitu bila bahan ditarik sampai melewati batas proporsional dan mencapai daerah *landing*.

Tegangan luluh atas  $\sigma_{uy}$  (*upper yield stress*)

Tegangan maksimum sebelum bahan memasuki fase daerah landing peralihan deformasi elastis ke plastis.

Tegangan luluh bawah  $\sigma_{ly}$  (*lower yield stress*)

Tegangan rata-rata daerah *landing* sebelum benar-benar memasuki fase deformasi plastis. Bila hanya disebutkan tegangan luluh (*yield stress*), maka yang dimaksud adalah tegangan ini.

Regangan luluh  $\epsilon_y$  (*yield strain*)

Regangan permanen saat bahan akan memasuki fase deformasi plastis.

Regangan elastis  $\varepsilon_e$  (*elastic strain*)

Regangan yang diakibatkan perubahan elastis bahan. Pada saat beban dilepaskan regangan ini akan kembali ke posisi semula.

Regangan plastis  $\varepsilon_p$  (*plastic strain*)

Regangan yang diakibatkan perubahan plastis. Pada saat beban dilepaskan regangan ini tetap tinggal sebagai perubahan permanen bahan.

Regangan total (*total strain*)

Merupakan gabungan regangan plastis dan regangan elastis,  $\varepsilon_T = \varepsilon_e + \varepsilon_p$ .

Perhatikan beban dengan arah OABE. Pada titik B, regangan yang ada adalah regangan total. Ketika beban dilepaskan, posisi regangan ada pada titik E dan besar regangan yang tinggal (OE) adalah regangan plastis.

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

Pada Gambar 14 ditunjukkan dengan titik C ( $\sigma_B$ ), merupakan besar tegangan maksimum yang didapatkan dalam uji tarik.

Kekuatan patah (*breaking strength*)

Pada Gambar 14 ditunjukkan dengan titik D, merupakan besar tegangan di mana bahan yang diuji putus atau patah.

Pengujian tarik yang dilakukan pada suatu material (padatan logam dan non logam) dapat memberikan keterangan yang relatif lengkap mengenai perilaku

material tersebut terhadap pembebanan mekanis. Informasi penting yang bisa didapat dari hasil pengujian tarik adalah sebagai berikut:

- a. Batas proporsionalitas (*proportionality limit*)
- b. Batas elastis (*elastic limit*)
- c. Titik luluh (*yield point*) dan kekuatan luluh (*yield strength*)
- d. Kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*)
- e. Kekutan putus (*breaking strength*)
- f. Keuletan (*ductility*)
- g. Modulus elastisitas (*E*) (Sudrajat, 2012).

Dari semua informasi tersebut Biasanya yang menjadi fokus perhatian adalah kemampuan maksimum bahan tersebut dalam menahan beban. Kemampuan ini umumnya disebut "*Ultimate Tensile Strength*" disingkat dengan UTS, yang berarti tegangan tarik maksimum.

#### **2.4.2 Uji kekerasan (*hardness tester*)**

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan suatu bahan, uji kekerasan dapat didefinisikan sebagai tahanan yang diberikan oleh bahan terhadap penekanan ke dalam yang tetap, disebabkan oleh benda tekan dengan bentuk tertentu karena pengaruh gaya tertentu. Penekanan yang kecil atau tidak dalam menunjukkan kekerasan yang besar (Vliet & Both, 1984).

Berdasarkan mekanisme penekanannya uji kekerasan dapat dilakukan dengan menjadi 3 metode yaitu:

a. Metode gores

Metode ini dikenalkan oleh Fredrich Mosh yang membagi kekerasan material didunia ini berdasarkan skala mohs. Skala ini bervariasi dari nilai 1 untuk kekerasan yang paling rendah, sebagaimana dimiliki oleh material talk, hingga skala 10 sebagai kekerasan tertinggi, seperti nilai kekerasan yang dimiliki oleh intan.

b. Metode pantul (*rebound*)

Kekerasan suatu material ditentukan oleh alat Scleroscope yang mengukur tinggi pantulan suatu pemukul (*hammer*) dengan berat tertentu yang dijatuhkan dari suatu ketinggian terhadap benda uji. Tinggi pantulan (*rebound*) yang dihasilkan mewakili kekerasan benda uji. Semakin tinggi pantulan tersebut, yang ditunjukkan oleh dial pada alat pengukur, maka kekerasan benda uji dinilai semakin tinggi.

c. Metode indentasi

Tipe pengetasan kekerasan material/logam ini adalah dengan mengukur tahanan plastis dari permukaan suatu material konstruksi mesin dengan *specimen* standar terhadap *penetrator*. Adapun beberapa bentuk *penetrator* atau cara pengetasan ketahanan permukaan yang dikenal adalah:

- *Ball indentation test (Brinell)*
- *Pyramida indentation (Vickers)*
- *Cone indentation test (Rockwell)*

Ketiga metode tersebut memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing, serta perbedaan dalam menentukan nilai angka kekerasannya. Untuk

metode uji kekerasan *Vickers* dan *Brinell* dalam menentukan nilai kekerasannya menitikberatkan pada luas penampang yang menerima pembebanan tersebut. Sedangkan metode *Rockwell* menitikberatkan pada kedalaman hasil penekanan indenter pada material uji.

#### *Ball indentation test (Brinell)*

Pengujian kekerasan dengan metode *Brinell* bertujuan untuk menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap bola baja (indenter) yang ditekan pada permukaan material uji tersebut (*specimen*). Idealnya, pengujian Brinell diperuntukan bagi material yang memiliki kekerasan Brinell sampai 400 HB, jika lebih dari nilai tersebut maka disarankan menggunakan metode pengujian *Rockwell* ataupun *Vickers*. Angka Kekerasan Brinell (HB) didefinisikan sebagai hasil bagi (koefisien) dari beban uji (F) dalam Newton yang dikalikan dengan angka faktor 0,102 dan luas permukaan bekas luka tekan (injakan) bola baja (A) dalam milimeter persegi. Indenter (Bola baja) biasanya telah dikeraskan dan di planting ataupun terbuat dari bahan Karbida Tungsten. Jika indenter 10 mm maka beban yang digunakan (pada mesin uji) adalah 3000 N, sedangkan indentornya 5 mm maka beban yang digunakan (pada mesin uji) adalah 750 N. Dalam praktiknya, pengujian brinell biasa dinyatakan dalam (contoh); HB 5 / 750 / 15 hal ini berarti bahwa kekerasn Brinell hasil pengujian dengan bola baja (indenter) berdiameter 5 mm, beban uji 750 N/0.102 dan lama pengujian 15 detik. Mengenail lama pengujian tergantung pada material yang akan diuji.

### *Pyramida indentation (Vickers)*

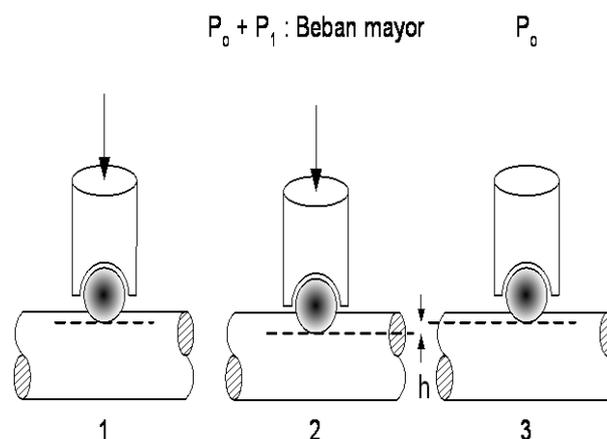
Pengujian kekerasan dengan metode *Vickers* bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap intan berbentuk piramida dengan sudut puncak 136 Derajat yang ditekankan pada permukaan material uji tersebut. Angka kekerasan *Vickers* (HV) didefinisikan sebagai hasil bagi (koefisien) dari beban uji (F) dalam Newton yang dikalikan dengan angka faktor 0,102 dan luas permukaan bekas luka tekan (injakan) bola baja (A) dalam milimeter persegi.

Secara matematis dan setelah disederhanakan, HV sama dengan 1,854 dikalikan beban uji (F) dibagi dengan diagonal intan yang dikuadratkan. Beban uji (F) yang biasa dipakai adalah 5 N per 0,102; 10 N per 0,102; 30 N per 0,102N dan 50 per 0,102 N. Dalam Praktiknya, pengujian *Vickers* biasa dinyatakan dalam (contoh ) : HV 30 hal ini berarti bahwa kekerasan *Vickers* hasil pengujian dengan beban uji (F) sebesar 30 N per 0,102 dan lama pembebanan 15 detik. Contoh lain misalnya HV 30 / 30 hal ini berarti bahwa kekerasan *Vickers* hasil pengujian dengan beban uji (F) sebesar 30 N per 0,102 dan lama pembebanan 30 detik (Wahyuni, 2014)

### *C. Rockwell*

Pengujian kekerasan dengan metode *Rockwell* bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap benda uji (*speciment*) yang berupa bola baja ataupun kerucut intan yang ditekankan pada permukaan material uji tersebut. Pengujian kekerasan metode *rockwell*

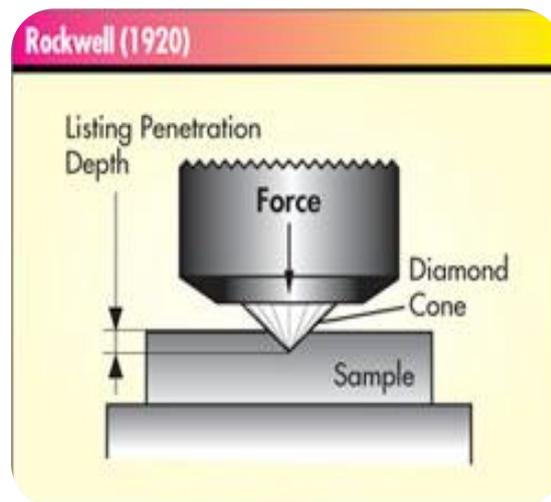
ini memiliki nilai keakuratan yang tinggi oleh karena itu dipilihlah metode *rockwell*. Uji kekerasan ini banyak di gunakan di Amerika Serikat, hal ini di sebabkan oleh sifat-sifatnya yaitu cepat, bebas dari kesalahan manusia, mampu untuk membedakan perbedaan kekerasan yang kecil pada baja yang di perkeras, serta ukuran lekukannya kecil, sehingga bagian yang mendapat perlakuan panas dapat diuji kekerasannya tanpa menimbulkan kerusakan pada material. Pengujian kekerasan *Rockwell* menggunakan kedalaman lekukan pada beban yang konstan sebagai ukuran kekerasannya. Mula-mula diterapkan beban kecil sebesar 10 kg untuk menempatkan benda uji. Hal ini akan memperkecil jumlah preparasi permukaan yang dibutuhkan dan juga memperkecil kecenderungan untuk terjadi penumbukan keatas atau penurunan yang disebabkan oleh penumbuk. Kemudian diberikan beban yang lebih besar, dan secara otomatis kedalaman lekukan akan terekam pada *gauge* penunjuk. Penunjuk tersebut terdiri atas 100 bagian, masing-masing bagian menyatakan penembusan sedalam 0,00008 inci. Ilustrasi pengujian kekerasan *Rockwell* ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 15. Cara kerja mesin penguji kekerasan Rockwell.

(Nugroho, 2010)

Secara umum penumbuk yang digunakan berupa kerucut intan  $120^\circ$  dengan puncak yang hampir bulat dan dinamakan *penumbuk Brale*, serta bola baja berdiameter  $\frac{1}{16}$  inci dan  $\frac{1}{8}$  inci dan besar beban yang di gunakan adalah 60, 100, dan 150 kg. Media pengujian *Rockwell* ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 16. Media Pengujian *Rockwell* (Nugroho, 2010).

Secara umum, skala yang dipakai dalam pengujian *Rockwell* adalah :

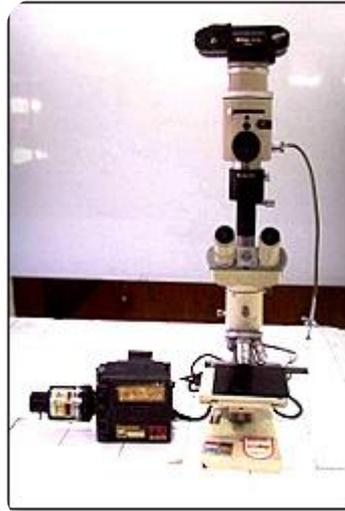
- a. HRa (Untuk material yang sangat keras).
- b. HRb (Untuk material yang lunak). indenter berupa bola baja dengan diameter  $\frac{1}{6}$  Inchi dan beban uji 100 Kgf.
- c. HRc (Untuk material dengan kekerasan sedang). Indenter berupa Kerucut intan dengan sudut puncak 120 derajat dan beban uji sebesar 150 kgf.

Tabel 1. Skala kekerasan *Rockwell* dan Huruf Depan. (Nugroho, 2010)

Skala dan Huruf Depan	Indentor	Beban Mayor	Skala yang Dibaca
	<u>Group I</u>		
B	Bola 1/16"	100	Merah
C	Kerucut Intan	150	Hitam
	<u>Group II</u>		
A	Kerucut Intan	60	Hitam
D	Kerucut Intan	60	Hitam
E	Bola 1/8"	100	Merah
F	Bola 1/16"	60	Merah
G	Bola 1/16"	150	Merah
H	Bola 1/8"	60	Merah
K	Bola 1/16"	150	Merah
	<u>Group III</u>		
L	Bola 1/4"	60	Merah
M	Bola 1/4"	100	Merah
P	Bola 1/4"	150	Merah
R	Bola 1/2"	100	Merah
S	Bola 1/2"	100	Merah
V	Bola 1/2"	150	Merah

### 2.4.3 Uji Struktur mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan untuk mengetahui suatu fisik logam yang nampak pada Gambar bagian luar dan untuk mengetahui susunan fasa pada suatu benda uji atau spesimen. Salah satu cara dalam mengamati struktur mikro suatu bahan adalah dengan teknik metalografi (pengujian mikroskopik).



Gambar 17. Alat uji struktur mikro

Metalografi merupakan suatu ilmu yang mempelajari karakteristik mikrostruktur suatu logam, paduan logam dan material lainnya serta hubungannya dengan sifat-sifat material tersebut.

#### **2.4.3.1 Pengamatan Metalografi**

Fase adalah suatu kondisi dimana komponen kimianya sama. Struktur mikro adalah suatu struktur yang hanya bisa dilihat dengan bantuan alat, dalam hal ini mikroskop optik yang dijadikan sebagai alat dalam pengujian ini, sedangkan struktur makro adalah suatu struktur yang hanya bisa dilihat dengan cara visual/kasat mata.

Pengamatan metalografi dibagi menjadi 2, yaitu

1. Metalografi makro, yaitu penyelidikan struktur logam dengan pembesaran 10-500 kali.
2. Metalografi mikro, yaitu penyelidikan struktur logam dengan pembesaran 1000 kali.

Pada analisa mikro digunakan mikroskop optik untuk menganalisa strukturnya. Berhasil tidaknya analisa ini ditentukan oleh preparasi benda uji, semakin sempurna preparasi benda uji, semakin jelas Gambar struktur yang diperoleh.

Tahapan persiapan benda uji metalografi secara umum adalah sebagai berikut:

#### 1. Memilih atau mengambil spesimen

Ada tiga cara dalam memilih dan mengambil spesimen dari sifat dan tujuan penyelidikan :

- Kontrol kualitas
- Analisa kerusakan
- Keperluan penelitian

#### 2. Pemotongan benda uji

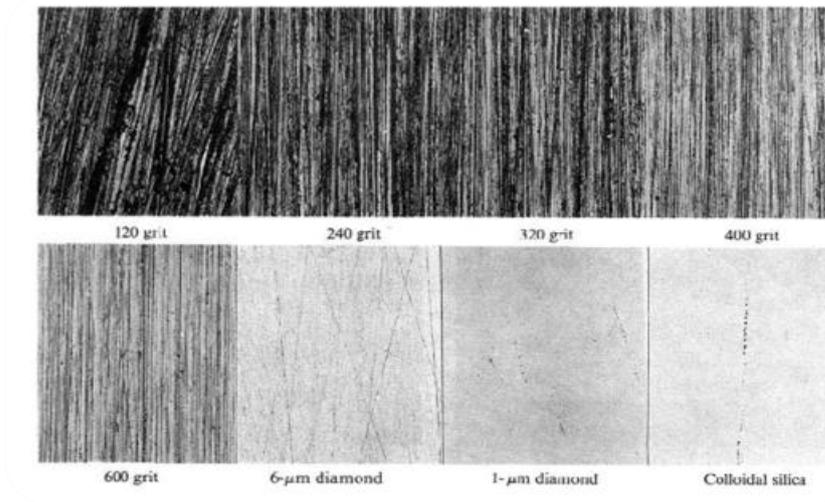
Pemotongan jangan sampai merusak struktur bahan akibat gesekan alat potong dengan benda uji. Untuk menghindari pemanasan setempat dapat digunakan air sebagai pendingin. Selain itu juga perlu menghindari perubahan bentuk spesimen akibat beban alat pemotongan.

#### 3. *Mounting*

Dilakukan untuk benda uji yang kecil dan tipis sehingga memudahkan pemegang benda uji. Proses *mounting* biasanya menggunakan bakelit.

#### 4. Pengampelasan

Dilakukan pada permukaan yang hendak diamati. Dimulai dari amplas yang paling kasar (#400, #600, dan #800) sampai amplas yang paling halus (#1000 dan #1200) dengan posisi tegak lurus sekitar  $90^\circ$  terhadap benda uji.



Gambar 18. Berbagai Macam Goresan pada Proses Grinding

Pada proses pengampelasan memakai mesin berputar, yang digunakan sebagai medianya adalah ampelas dengan tingkat kekasaran yang berbeda. Selama proses pengampelasan benda uji harus dialiri secara terus-menerus untuk menghindari terjadinya panas. Hasil yang diperoleh permukaan spesimen dengan goresan yang searah, halus dan homogen.



Gambar 19. Mesin Grinding beserta Prosesnya

### 5. *Polishing*

Dilakukan untuk menghilangkan goresan-goresan yang masih ada bekas pengampelasan yang halus. Pemolesan dilakukan dengan bahan poles seperti pasta gigi atau autosol, dan aluminium oksida. Tujuan polishing yaitu untuk mendapatkan permukaan spesimen yang memenuhi syarat untuk diperiksa di bawah mikroskop.

### 6. Etsa

Dilakukan untuk mengikis daerah batas butir sehingga struktur bahan dapat diamati dengan jelas dengan menggunakan mikroskop optik. Pada dasarnya ada perubahan atau perkembangan struktur mikro yang terjadi selama proses etsa, dikarenakan :

- Perbedaan warna akibat distribusi struktur mikro.
- Jenis kekerasan yang berbeda.

### 7. Proses Pencucian

Proses pencucian benda uji dilakukan setelah proses pengampelasan, polishing, dan setelah etsa. Proses pencucian paling bersih menggunakan alkohol kemudian dikeringkan. Selain alkohol dapat juga menggunakan air bersih dan aquades untuk mencuci benda uji.

### 8. Analisa

Proses analisa dilakukan dibawah mikroskop optik. Spesimen yang telah memenuhi syarat diamati dibawah mikroskop optik. Berhasil atau tidaknya

dalam mengidentifikasi dan mengamati mikro struktur, lebih banyak ditentukan oleh pengetahuan dan pengalaman mengenai berbagai logam dan paduan.

Pengujian mikroskop dilakukan setelah pemolesan selesai dan setelah selesai proses etsa. Proses etsa dilakukan dengan bantuan larutan kimia yang sesuai dapat memberikan Gambaran seperti kelarutan dan ukuran butir, distribusi fase, hasil deformasi plastis dan eksistensi dari pengotor dan cacat-cacat. Proses kimia atau etsa permukaan, mula-mula memperlihatkan batasan butir tetapi lebih lanjut etsa akan memperlihatkan bayangan yang berbeda antara satu butir dengan butir yang lain. Hal ini menunjukkan bahwa larutan etsa tidak mengikis permukaan logam seluruhnya melainkan sepanjang bidang-bidang kristalografi tertentu. Bagian yang memiliki orientasi yang sama kemudian terdapat dalam butir, dan karena setiap butir memiliki orientasi yang berbeda dari butir-butir sekitarnya, setiap butir akan menentukan sinar kelensa objektif pada mikroskop dan hasilnya akan timbul sinar, sementara butir-butir disekitarnya memantulkan semua sinar ke lain arah dan tampak lebih gelap.

### **III. METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian dilaksanakan pada bulan November sampai dengan selesai. Penelitian dilakukan di Laboratorium Proses Produksi Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.

#### **3.2 Alat dan Bahan Penelitian**

Adapun bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah :

1. Magnesium dan Paduan Magnesium



Gambar 20. Material Magnesium AZ31B

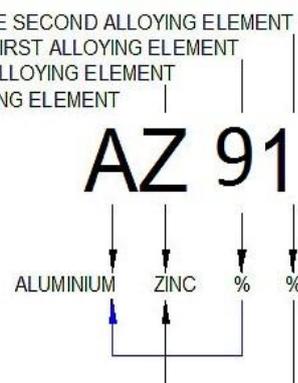
- a. Magnesium

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 masa sebesar  $1.738 \text{ g.cm}^{-3}$ , titik lebur sekitar  $923 \text{ }^\circ\text{K}$  ( $650 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $1202 \text{ }^\circ\text{F}$ ), titik didih  $1363 \text{ }^\circ\text{K}$  ( $1090 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $1994 \text{ }^\circ\text{F}$ ). Magnesium murni memiliki kekuatan tarik sebesar  $110 \text{ N/mm}^2$  dalam bentuk hasil pengecoran (casting).

#### b. Paduan Magnesium

Paduan magnesium sering digunakan terutama untuk bahan yang memerlukan massa yang ringan namun juga tetap memiliki kekuatan yang baik. Magnesium biasa dicampur dengan bahan lain seperti aluminium, mangan, dan juga zinc untuk meningkatkan sifat fisik, namun dengan beberapa persentase yang berbeda. AZ91 merupakan salah satu contoh paduan magnesium dengan aluminium dan zinc dimana persentase dari masing-masing paduan sekitar 9% dan 1%. Penamaan paduan magnesium ditunjukkan pada Gambar.



Gambar 21. Penamaan paduan magnesium (Sumber : Buldum, 2011)

## 2. Mesin Bubut

### Spesifikasi mesin bubut

Merk	: PINACHO	<b><u>MOTOR</u></b>
Type	: S-90/200	Main Motor Power : 4 Kw
Penyerahan	: 22-8-2000	Pump Motor Power : 0.06 Kw
Buatan	: SPAIN, JULY 1999	

### **SPEKIFIKASI**

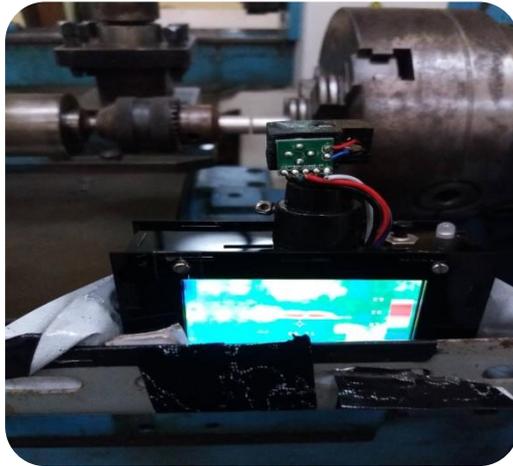
Central High	: 200 mm
Central Distance	: 750 – 1150 mm
Swing Over Bed	: 400 mm
Swing Over Grap	: 600 mm
Swing Over Carriage	: 370 mm
Swing Cross Slide	: 210 mm
Bed width	: 300 mm



Gambar 22. Mesin Bubut

### 3. Kamera berinframerah

Kamera berinframerah digunakan untuk menangkap aktivitas pemesinan seperti distribusi dan perubahan suhu. Kamera berinframerah dipasang di depan bahan uji.



Gambar 23. Kamera termografi

### 4. Laptop

Laptop digunakan untuk media pengolah dan penerima hasil video atau foto dari kamera inframerah

### 5. Peralatan pemotong



Gambar 24. Mesin pemotong

## 6. Mesin uji tarik



Gambar 25. mesin uji tarik

### SPESIFIKASI

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 k

## 7. Mikroskop



Gambar 26. Mikroskop

### SPESIFIKASI

BODI	: Metal dan Plastik
Lensa Objektif	: Acromatik 5x – 200x
Fokus	: Manual
Dudukan Preparat	: Penggeser
Pencahayaan	: LED
Resolusi	: 5 mp Digital Kamera Cmos
Konektor	: USB 2.0

## 8. Alat uji kekerasan Rockwell



Gambar 27. Alat uji kekerasan

### SPESIFIKASI

Nama alat : Rockwell Hardness Tester

Merk : AFFRI seri 206.RT-206.RTS

Loading : Maximum 150 KP

Minimum 60 KP

HRE Load : 100 KP

Indentor : Steel ball Diameter 1/8''

### 3.3 Pelaksanaan Penelitian

Prosedur penelitian pada penelitian ini terbagi menjadi beberapa tahapan dan parameter pengelasan seperti pada tabel 2:

Tabel 2. Parameter pengelasan

No	D (mm)	L (mm)	L <sub>p</sub> (mm)	N (rpm)	T (detik)
1	13			1150	120
2	13			1750	120

Dari tabel menunjukkan data dari hasil eksperimen pengelasan gesek, diameter benda uji (D), panjang benda uji (L), panjang benda uji setelah proses penyambungan (L<sub>p</sub>), kecepatan putar *spindle* (N), dan waktu penekanan gesek (t).

#### 1. Set-up pemessinan magnesium AZ31B

Pada tahapan mula ini dilakukan instalasi yaitu set-up mesin sesuai parameter yang ditentukan kemudian menempatkan kamera berinframerah pada mesin bubut.

#### 2. Prosedur Pengelasan

- a. Mempersiapkan mesin bubut.
- b. Mempersiapkan benda kerja pada mesin bubut
- c. Melakukan proses penyambungan friction welding dengan mencatat parameter yang diperlukan.
- d. Mesin memutar benda kerja kemudian proses pengelasan terjadi pada saat benda kerja yang tidak berputar dikontakkan dengan benda kerja yang berputar di bawah tekanan konstan atau meningkat secara bertahap, sampai

kedua permukaan mencapai suhu pengelasan dan kemudian putaran dihentikan dan terjadi proses penyatuan material magnesium AZ31B.

- e. Proses selesai, spesimen dipindahkan dari mesin bubut.
- f. Membentuk spesimen sesuai dengan standar pengujian.
- g. Membersihkan geram/sisa material dengan pembubutan.
- h. Proses selesai.

### 3.4 Pengujian Kualitas Lasan

Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Uji tarik dilakukan dengan menggunakan standar ASTM E8 volume 3.

Pengujian dimulai dengan meletakkan benda uji pada mesin uji tarik, dilanjutkan dengan mengatur parameter pengujian pada mesin uji tarik, kemudian mengukur benda uji dengan menggunakan tenaga hidrolik dimulai dari 0 kg dan terus bertambah hingga 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 layar digital dan dicatat sebagai data. Setelah semua data diperoleh kemudian menghitung kekuatan tarik, kekuatan luluh, dan perpanjangan benda.

Tabel 3. Data uji tarik

Spesimen	t (menit)	UTS (MPa)	Posisi Patah
1	2		
2	2		

(t)waktu, (TS) tegangan maksimal

## 2. Uji kekerasan Rockwell

Adapun langkah kerja yang dilakukan pada uji kekerasan Rockwell dimulai dengan 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 sampai menekan handel kebawah tapi membiarkan handel bergerak sendiri turun ke bawah. Tunggu hingga jarum besar pada skala berhenti. Kemudian gerakkan handel ke atas secara perlahan sampai maksimum dan langkah terakhir membaca nilai kekerasan.

Tabel 4. Data uji kekerasan Rockwell

<b>Rpm</b>	<b>HR<sub>E</sub></b>	<b>Posisi HR<sub>E</sub></b>	<b>HR<sub>E</sub> rata-rata</b>
		<i>Weld zone</i>	
		HAZ	
		<i>Base metal</i>	

### 3. Uji struktur mikro

Untuk mendapatkan tampilan mikrostruktur pada hasil pengelasan didapatkan dari beberapa langkah persiapan sampel metalografi sebagai berikut:

#### 1. Pemotongan benda uji

Untuk mendapatkan hasil metalografi yang baik, maka benda uji dipotong sesuai dengan ukuran alat uji metalografi, dipotongnya benda uji tersebut juga dimaksudkan agar pengujian dapat dilakukan pada bagian dalam benda uji

#### 2. Mounting

Setelah pemotongan benda uji dilanjutkan dengan mounting benda uji yang bertujuan untuk memudahkan saat dilakukannya proses persiapan seperti (grinding dan polishing)

#### 3. Grinding

Benda uji yang telah dimounting kemudian diampas secara berurutan, mulai dari amplas nomer 200 hingga amplas 2000. Pada saat pengamplasan benda uji harus dialiri air secara terus menerus agar tidak timbulnya panas pada permukaan benda uji dan menghilangkan partikel abrasive yang menempel pada benda uji.

#### 4. Polishing

Benda uji yang telah diampas kemudian dipoles menggunakan kain beludru. Proses pemolesan tersebut dilakukan dengan mesin poles. Kain beludru ditempelkan pada piringan yang berputar pada mesin poles kemudian kain diberi pasta alumina berupa partikel abrasive yang sangat

halus. Setiap satu langkah pemolesan selesai benda uji dibersihkan menggunakan alkohol lalu dikeringkan dengan udara hangat. Proses pemolesan selesai hingga tidak terdapat goresan pada benda uji.

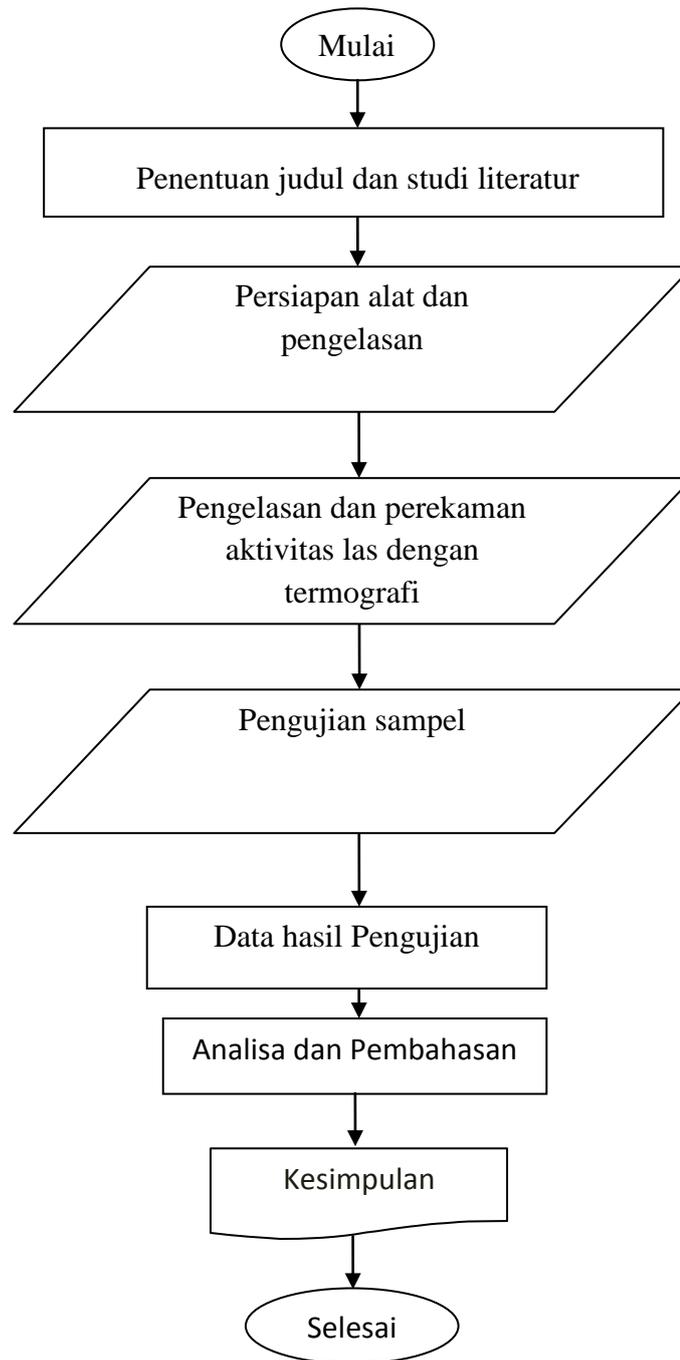
#### 5. Etsa

Setelah selesai proses polishing dilanjutkan dengan proses pengetsaan. Pada proses ini benda uji yang telah dipolishing dicelupkan pada larutan etsa Hf sebesar 0,5 selama 5 detik setelah itu permukaan benda uji di tutup sekaligus dikeringkan dengan kain tisu tujuannya agar terhindar dari oksidasi udara sekitar

#### 6. Pengambilan Gambar

Setelah semua proses persiapan selesai dilanjutkan dengan pengambilan Gambar struktur mikro pada permukaan benda uji.

### 3.4 Diagram Alir Penelitian



Gambar 28. Diagram alir penelitian

## V. SIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Simpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu sebagai berikut:

1. Hasil dari gambar termografi menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu pengelasan (mendekati titik luluh) maka semakin baik sambungan las yang dihasilkan. Pada daerah pengelasan parameter kecepatan putar 1150 rpm, suhu pengelasan rata-rata dari 188°C (*weldzone*) hingga 149°C (HAZ), sedangkan pada parameter kecepatan putar 1750 rpm, suhu pengelasan rata-rata dari 475°C (*weldzone*) hingga 371°C (HAZ).
2. Putaran rpm pada pengelasan dapat berpengaruh terhadap hasil pengelasan karena semakin tinggi rpm maka semakin tinggi pula suhu yang dihasilkan dan semakin baik nilai uji tarik yang dihasilkan. Dari hasil pengelasan didapatkan nilai tegangan maksimum pada parameter rpm 1150 dan waktu gesek 2 menit dengan nilai rata-rata 31,054MPa sedangkan pada parameter kedua dengan rpm 1750 dan waktu gesek 2 menit dengan nilai rata-rata 45.451MPa. Cacat sambungan dikarenakan suhu yang diperlukan tidak tercapai sehingga butiran tidak dapat berdifusi dan menyatu secara

menyeluruh, hal tersebut adalah salah satu masalah yang mempengaruhi kualitas hasil pengelasan.

3. Dari uji kekerasan yang telah dilakukan didapat nilai kekerasan tertinggi terletak pada sambungan(*weldzone*). Hal ini dikarenakan pada daerah *weld zone* terbentuk struktur butiran yang halus dan sebagian besar struktur butiran yang terdeformasi pada daerah *weld zone* dan HAZ. Struktur mikro butiran bahan dasar lebih besar, sedangkan butiran biji-biji pada logam pengelasan lebih kecil karena pengaruh pendinginan dan deformasi pada permukaan sambungan, kondisi tersebut yang menyebabkan meningkatnya nilai kekerasan.
4. Dari cacat yang terlihat pada struktur mikro hasil pengelasan terbentuk karena tidak menyatunya sambungan dengan merata pada sebagian permukaan las yang disebabkan kurang tingginya suhu untuk meluluhkan material. Dengan luluhnya permukaan logam maka butiran biji-biji atom bahan dapat berdifusi dan menyatu menjadi sebuah ikatan.

## 5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan penulis terhadap pengujian yang telah dilakukan adalah.

1. Hasil dari penelitian ini masih belum maksimal oleh karena itu pada penelitian selanjutnya diharapkan menggunakan parameter yang lebih tinggi dan bervariasi.

2. Pengelasan dilakukan dengan alat yang lebih lengkap dan presisi sehingga dapat meningkatkan hasil dari penelitian
3. Kamera termografi yang digunakan perlu dikembangkan lagi agar mendapatkan gambar dengan kualitas terbaik dan sensor suhu yang akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ambroziak. (2011). *Examination of friction coefficient in friction welding process of tubular steel elements*. Jurnal
- Buldum B. B., Sik A, Ozkul. I. 2011. *Investigation of Magnesium Alloys Machinability*. *International Journal of Electronics: Mechanical and Mechatronics Engineering* Vol.2 Num.3 pp.(261-268)
- Blawert. C, Hort. N, Kainer. K.U. 2004. *Automotive application of magnesium and its alloys*. *Trans Indian Inst. Met* Vol.57, No.4 pp.397-408
- Djadmiko R.D. (2008). *Teori Fabrikasi 2*. Diktat Jurusan Pendidikan Teknik Mesin Universitas Negeri Yogyakarta
- Dowling E. N. (1999). *Mechanical Behavior Of Materials*. 2<sup>nd</sup> edition.
- Fadlisyah S. (2007). *Computer Vision dan Pengolahan Citra*. CV Andi Offset. Yogyakarta.
- Imanudin. B, Rudy. S, Sugiarto. (2013) *Pengaruh Preheating Pada Pengelasan MIG Terhadap dimensi HAZ dan Kekuatan Impack Pada QT Steel*. Jurnal: Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya

- Iswar. M & Syam. R. (2012) *Pengaruh Variasi Parameter pengelasan (Putaran dan Temperatur) Terhadap Kekuatan Sambungan Las Friction Welding Pada Baja Karbon Rendah*. Jurnal. Jurusan Teknik Mesin Universitas Hasanuddin
- Haris. M, Yanuar. B. (2013). *Rancang bangun aplikasi thermovision untuk pemetaan distribusi suhu dan permulaan penyalaan magnesium pada pembubutan kecepatan tinggi*. Tugas Akhir. Universitas Lampung. Lampung.
- Nugroho K.S. (2010). *Analisa Pengujian Kekerasan Material Baja Karbon Rendah, Besi, Tembaga, Aluminium, serta Zn (seng) dengan Menggunakan Metode Uji Kekerasan Brinell*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Mesin. Universitas Pamulang.
- Okumura. T. dan Wiryosumarto. H.. 2004. *Teknologi Pengelasan Logam*. Cet. 9. Jakarta: Pradnya Paramita
- Prasetio. S. & Subianto. H. (2012). *Pengaruh Durasi Gesek, Tekanan Gesek Dan Tekanan Tempa Terhadap Impact Strength Sambungan Lasan Gesek Langsung Pada Baja Karbon Aisi 104*. Jurnal. Jurusan Teknik Mesin. Institut Teknologi Sepuluh November.
- Purnomo. A. (2012). *Struktur Mikro Sambungan Friction Welding Antara Bahan Paduan Tembaga Dan Paduan Aluminium*. Jurnal. Jurusan Teknik Mesin. Politeknik Negeri Semarang
- Rahayu. D. (2012) *Analisis Proses Friction Stir Welding (FSW) Pada Plat Tipis Alluminium*. Skripsi. Universitas Indonesia

- Satmoko. A. (2007). *Pemeliharaan Prediktif Pada Jaringan Listrik Dengan Termografi inframerah*. Seminar Nasional 3 SDM Teknologi Nuklir. Yogyakarta
- Satoto & Husodo. (2002) *Analisa pengaruh tekanan tempa terhadap struktur mikro dan sifat mekanik baja st 41 (diameter 14 mm dan pelat baja 50 mm ) dengan metode direct-drive friction welding sebagai alternatif pembuatan front spring pin t-120*. jurnal. Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.
- Setiawan . F. (2013). *Karakterisasi Penyalaan Magnesium Az31 Pada Proses Bubut Menggunakan Aplikasi Thermografi*. Skripsi. Universitas Lampung.
- Setyawan . (2014). *Kekuatan Tarik & Porositas Hasil Sambungan Las Gesek Alluminium 6061 Dengan Berbagai Suhu Aging*. Jurnal. Jurusan Teknik Mesin. Universitas Brawijaya.
- Shudo H. (1983). *Material Testing (Zairyou Shiken)*. Uchidarokakuho.
- Spinler (1994). *What Industry Needs to Know about Friction Welding*, Welding Journal, march,p. 37 – 42
- Sudrajat . A. (2012). *Analisis Sifat Mekanik Hasil Pengelasan Alluminium 1100 Dengan Metode Friction Stir Welding (FSW)*. Skripsi : Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember
- Wirjosumarto. H. 1996. *Teknologi Pengelasan Logam*, Jakarta: PT Pradya Paramita
- Tiwan & Ardian. 2005. *Penyambungan Baja AISI 1040 Batang Silinder Pejal Dengan Friction Welding*. Skripsi. Universitas Negeri Yogyakarta

Tridinews. 2014. <http://www.news.tridinamika.com/3235/agilent-technologies-berkolaborasi-dengan-nippon-avionics-dalam-mengembangkan-solusi-imager-thermal>.(diakses rabu 9 September 2015 14:09 WIB)

Tsujino. R, Kawai. G, Hiizu. O, Yamaguchi. H, Ogawa. K, Suga. Y. 2003. *Friction Welding Of AZ31 Magnesium Alloy*. Jurnal.

TWI Web Site. [www.twi.co.uk](http://www.twi.co.uk) (1 Agustus 2015)

Vliet G. L. J. V dan Both W., 1984. *Teknologi Untuk Bangun Mesin*. Jakarta: Erlangga

Wahyuni. I. (2013). *Uji Kekerasan Material Dengan Metode Rockwell*. Jurnal. Jurusan Fisika. Universitas Airlangga.

Widodo. A. (2009). *Pencarian Informasi Citra Digital Termografi Dengan Pengenalan Pola Untuk Pemantauan Kondisi Mesin*. Jurnal. Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro

Wijayanto. J. (2012). *Pengaruh Feed Rate Terhadap Sifat Mekanik Pada Friction Stir Welding Aluminium*. Jurnal. Jurusan Teknik Mesin. Institut Saint & Teknologi Akprind Yogyakarta