

**PENGARUH SUDUT *CHAMFER* SATU SISI DAN *BURN OF LENGTH* TERHADAP KEKERASAN DAN POROSITAS PADA SAMBUNGAN LAS *DISSIMILAR* AL6061-ST41**

**SKRIPSI  
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

**ZUHRI ABDULLAH MASHUDI**

**NIM. 1150602007111047**

**KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2016**

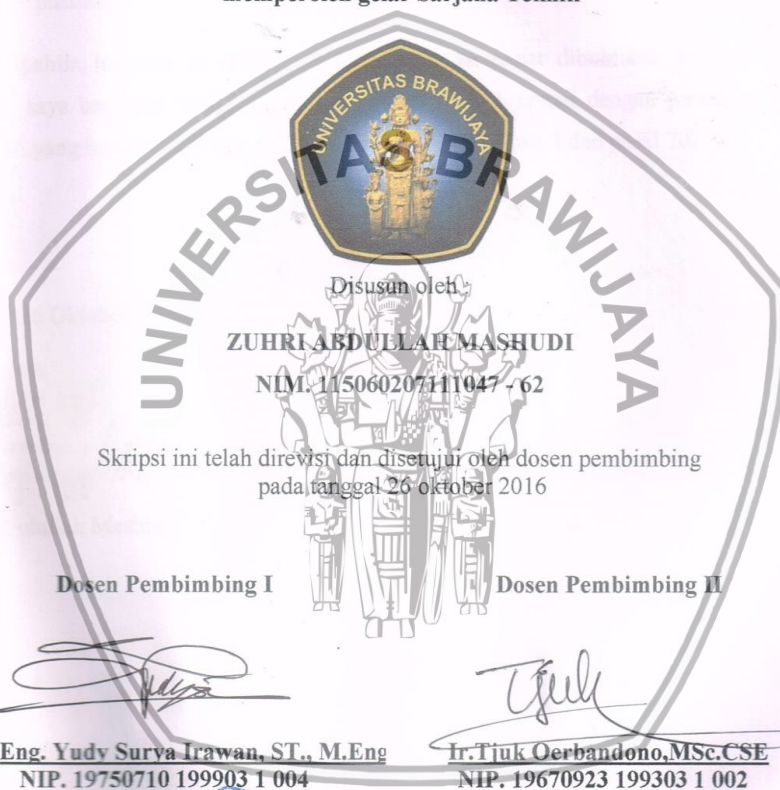


LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH SUDUT *CHAMFER* SATU SISI DAN *BURN OF LENGTH*  
TERHADAP KEKERASAN DAN POROSITAS PADA SAMBUNGAN  
LAS *DISSIMILAR* AL6061-ST41

SKRIPSI  
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh

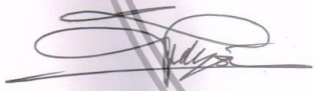
ZUHRI ABDULLAH MASHUDI

NIM. 115060207111047-62

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
pada tanggal 26 oktober 2016

Dosen Pembimbing I


Dosen Pembimbing II

  
Dr. Eng. Yudy Surya Irawan, ST., M.Eng  
NIP. 19750710 199903 1 004

  
Ir. Tiuk Oerbandono, MSc. CSE  
NIP. 19670923 199303 1 002



Mengetahui  
Ketua program studi S1

  
Dr. Eng. Widya Wijavanti, ST., MT.  
NIP. 19750802 199903 2 002



**JUDUL SKRIPSI**

Pengaruh sudut Chamfer satu sisi dan Burn Of Length Terhadap kekerasan dan porositas pada sambungan Las AL6061-ST41

Nama Mahasiswa : Zuhri Abdullah Mashudi

NIM : 115060207111047

Program studi : Teknik Mesin

Minat : Teknik Produksi

**KOMISI PEMBIMBING**

Pembimbing 1 : Dr. Eng. Yudy Surya Irawan, St., M.Eng.

Pembimbing 2 : Ir. Tjuk Oerbandono, MSc.CSE

**TIM DOSEN PENGUJI**

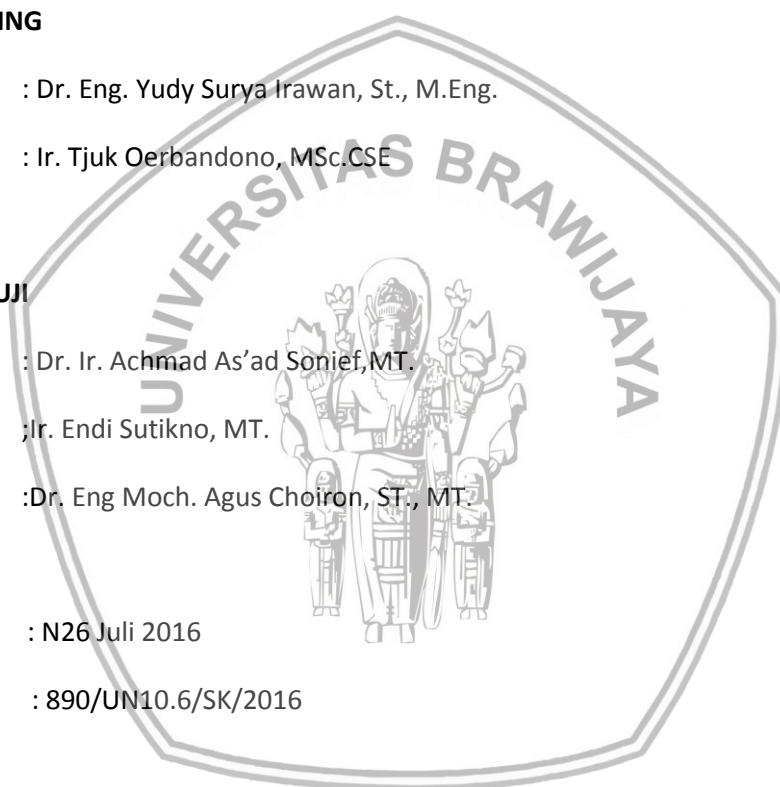
Dosen Penguji 1 : Dr. Ir. Achmad As'ad Sonief, MT.

Dosen Penguji 2 : Ir. Endi Sutikno, MT.

Dosen Penguji 3 : Dr. Eng Moch. Agus Choiron, ST., MT.

Tanggal UJIAN : N26 Juli 2016

Sk Penguji : 890/UN10.6/SK/2016



### PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

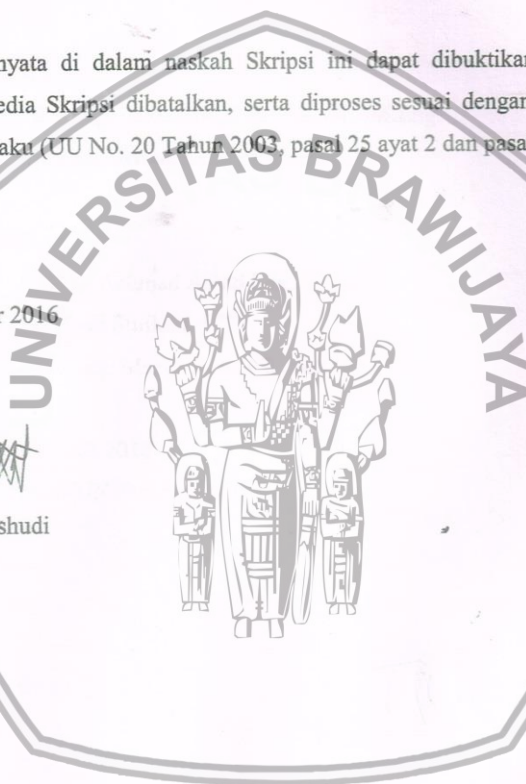
Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70)

Malang, 26 Oktober 2016

Mahasiswa,



Zuhri Abdullah Mashudi



### ABSTRAK

Salah satu proses penting dalam dunia industri yaitu teknologi dalam penyambungan logam atau pengelasan. Metode pengelasan gesek (Friction Welding) merupakan metode yang banyak dikembangkan pada dunia pengelasan untuk mengatasi masalah dalam proses penyambungan material. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh sudut chamfer satu sisi dan burn of length terhadap kekerasan permukaan dan porositas pada sambungan las dissimilar Al 6061-ST40. Besar sudut yang akan divariasikan adalah  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ , dan  $60^\circ$  sedangkan burn of length yang akan divariasikan adalah 10 mm, 15 mm, dan 20 mm. Kemudian gaya penekanan pada saat pengelasan sebesar  $300 \text{ kg/m}^2$  dengan putaran spindle sebesar 1600 rpm. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa sudut chamfer dan burn of length berpengaruh terhadap kekerasan permukaan dan porositas pada sambungan las gesek dissimilar A6061-St41, dimana semakin besar sudut chamfer maka semakin rendah nilai kekerasan permukaan dan semakin rendah nilai porositas, kemudian semakin besar nilai burn of length maka semakin rendah nilai kekerasan permukaan dan semakin rendah nilai porositasnya.

**Kata kunci:** Las gesek, sudut chamfer, burn of length, kekerasan permukaan, porositas

### ABSTRACT

One of the important processes in the industrial world that technology in connecting the metal or welding. Method of friction welding (Friction Welding) is a method that has been developed in the world of welding to solve problems in the process of grafting material. This study aims to determine the effect of one side chamfer angle and length of the burn of surface hardness and porosity in the weld joint dissimilar 6061 Al-ST40. Large angles to be varied is  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  and  $60^\circ$  while the burn of length to be varied is 10 mm, 15 mm and 20 mm. Then the emphasis during the welding force of  $300 \text{ kg/m}^2$  with a spindle rotation of 1600 rpm. The results showed that the corner chamfer and burn of length affect the surface hardness and porosity in the weld joint friction dissimilar A6061-St41, where the greater the corner chamfer the lower the surface hardness and the lower porosity value, then the greater the value of burn of length the lower the value of the lower surface hardness and porosity values. Keyword: Friction welding, chamfer angle, burn of length, surface hardness, porosity.

## PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan ke hadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya yang telah diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan proposal dengan judul, “**Pengaruh Sudut Chamfer Satu Sisi dan Burn of Length terhadap Kekerasan Permukaan dan Porositas pada Sambungan Las Gesek Dissimilar AL 6061 – ST 41**” dengan baik. Sholawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada junjungan kita Rasulullah SAW.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini dapat terselesaikan berkat bantuan, petunjuk dan bimbingan dari berbagai pihak yang telah banyak membantu proses penyelesaian tugas akhir ini, oleh karena itu tak lupa penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr.Eng Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng selaku kepala Jurusan Teknik Mesin yang telah memberikan pengarahan, ilmu dan bimbingan selama proses penyusunan proposal ini.
2. Bapak Purnami, ST., MT., selaku sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang dan sebagai dosen pembimbing II yang telah memberikan arahan dan bimbingan.
3. Ibu Dr.Eng Widya Wijayanti, ST., M.T selaku ketua progam S1 Jurusan Teknik Mesin yang telah memberikan pengarahan, ilmu dan bimbingan selama proses penyusunan proposal ini.
4. Bapak Dr.Eng Yudy Surya Irawan, ST., M.Eng selaku dosen pembimbing 1 yang telah memberikan pengarahan, ilmu dan bimbingan selama proses penyusunan proposal ini.
5. Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, MSc.CSE selaku dosen pembimbing 2 dan Ketua Kelompok Konsentrasi Teknik Produksi Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.yang telah memberikan arahan dan bimbingan.
6. Kedua orang tua tercinta bapak Srie Handono Mashudi dan ibu Sekti Karwito Sayekti yang selalu memberikan motivasi, semangat, kepercayaan, kasih sayang dan selalu berdoa untuk anaknya.
7. Saudara kandung saya Latyfh Shanti Purnamasari dan Hakam Ananta Kartika yang selalu memberi dukungan, semangat dan doa.
8. Bapak Ir. Suharto, MT. Selaku dosen pembimbing akademik saya.

9. Dosen pengajar dan staf Jurusan Teknik Mesin dan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang telah banyak memberikan ilmu pengetahuan yang sangat mendukung baik dalam perkuliahan maupun selama penyusunan skripsi ini.
10. Laboratorium Proses Produksi 1, Laboratorium Pengujian Bahan dan Laboratorium Pengecoran Logam serta VEDC yang telah berkontribusi selama proses penelitian.
11. Keluarga Besar Mahasiswa Mesin Universitas Brawijaya khususnya angkatan 2011 terimakasih atas doanya, kebersamaan, dan solidaritas selama masa kuliah.
12. Teman – Teman terbaik Bastian, Paldi, Patrik, Dewo, Reza, Ripan, Budi, Akin, Chandra, Nopan, Ferdi, Yani, Alfaj, Dimas, Toha, Odik, Maliki, Fariz, Gopang, Mukhlis, dan Ndooy terimakasih atas doanya, kebersamaan, dan solidaritas selama masa kuliah. Semoga selalu dilancarkan dalam segala urusan.
13. Zakiya Salsabila, terima kasih atas kesabaran, dukungan serta doa yang tiada hentinya.

Penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi penyusunan yang baik karena penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna.

Akhir kata, penulis berharap agar skripsi ini dapat berguna bagi kita semua sehingga dapat menjadi acuan untuk penelitian lebih lanjut untuk kemajuan kita bersama.

Malang, Juli 2016

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	<b>ix</b>
<b>RINGKASAN .....</b>	<b>x</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>4</b>
2.1 Penelitian Sebelumnya .....	4
2.2 <i>Burn of Length</i> .....	4
2.3 Sudut <i>Chamfer</i> .....	4
2.4 Aluminium .....	5
2.4.1 Sifat-Sifat Aluminium.....	6
2.4.2 Sifat Mampu Las Aluminium A16061.....	6
2.5 Baja .....	7
2.5.1 Sifat-Sifat Baja.....	8
2.5.2 Sifat Mampu Las Baja ST41 .....	9
2.6 Pengelasan.....	10
2.7 <i>Friction Welding</i> .....	11
2.7.1 <i>Continuous Drive Friction Welding</i> .....	12
2.7.2 <i>Dissimilar Continous Drive Friction Welding</i> .....	14
2.7.3 <i>Inertia Friction Welding</i> .....	14
2.7.4 <i>Linier Friction Welding</i> .....	14
2.8 Pengujian Sambungan Las .....	15
2.8.1 Macam-Macam Pengujian .....	15
2.8.2 Pengujian Kekerasan.....	16
2.8.3 Pengujian Porositas .....	16
2.9 Daerah <i>Heat Affcted Zone</i> (HAZ) .....	17



2.10	Energi pada Proses <i>Friction Welding</i> .....	18
2.10	Hipotesis .....	19
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>20</b>
3.1	Variabel Penelitian .....	20
3.1.1	Variabel Bebas .....	20
3.1.2	Variabel Terikat .....	20
3.1.3	Variabel Terkontrol.....	20
3.2	Waktu dan Tempat Penelitian.....	21
3.3	Alat dan Bhan Yang Digunakan .....	21
3.3.1	Alat.....	21
3.3.2	Bahan Yang Digunakan .....	25
3.4	Skema Alat Pengelasan Gesek.....	29
3.5	Prosedur Penelitian.....	30
3.5.1	Pengelasan Gesek.....	30
3.5.2	Pengujian Kekerasan.....	31
3.5.3	Pengujian Porositas .....	31
3.6	Rancangan Penelitian .....	32
3.6.1	Analisis Data.....	32
3.6.2	Analisis Grafik Kekerasan.....	33
3.6.3	Analisis Grafik Porositas .....	33
3.7	Diagram Alir Penelitian.....	34
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>35</b>
4.1	Data Hasil Pengujian Porositas .....	35
4.2	Pembahasan.....	37
4.2.1	Hubungan antara <i>Burn of Length</i> dengan Porositas pada Spesimen dengan <i>Flash</i> .....	37
4.2.2	Hubungan antara <i>Burn of Length</i> dengan Porositas pada Spesimen tanpa <i>Flash</i> .....	38
4.3	Hasil Pengujian Kekerasan.....	39
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>		<b>45</b>
5.1	Kesimpulan .....	45



5.2 Saran .....45

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**



## DAFTAR TABEL

NO	JUDUL	HALAMAN
	Tabel 2.1 Sifat Fisik Alumunium.....	5
	Tabel 2.2 Sifat Mekanik Alumunium .....	5
	Tabel 3.1 Komposisi Kimia Paduan Al 6061 .....	24
	Tabel 3.2 Komposisi kimia paduan St 41 .....	25
	Tabel 3.3 Jumlah Spesimen Las Gesek.....	28
	Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Porositas dengan <i>Flash</i> .....	34
	Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Porositas tanpa <i>Flash</i> .....	35
	Tabel 4.3 Data nilai kekerasan tertinggi dan terendah.....	39



## DAFTAR GAMBAR

NO	JUDUL	HALAMAN
Gambar 2.1	Klasifikasi cara pengelasan .....	11
Gambar 2.2	Mekanisme las gesek .....	12
Gambar 2.3	<i>Parameters for Continuous Drive Friction Welding</i> .....	13
Gambar 2.4	Pengaplikasian las gesek .....	13
Gambar 2.5	<i>Inertia Friction Welding</i> .....	14
Gambar 2.6	<i>Linear Friction Welding</i> .....	15
Gambar 2.7	<i>Vicker</i> .....	16
Gambar 2.8	Daerah sambungan yang menyatu dengan sempurna ( <i>zpl</i> ), daerah yang terdeformasi ( <i>HAZ</i> ) ( <i>zpd</i> ) dan daerah yang tidak terpengaruh panas sama sekali ketika proses pengelasan ( <i>zud</i> ).....	17
Gambar 3.1	Parameter Pengelasan .....	20
Gambar 3.2	<i>Stopwatch</i> .....	21
Gambar 3.3	Jangka Sorong .....	21
Gambar 3.4	Mesin Uji kekerasan vickers .....	22
Gambar 3.5	Mesin Bubut pengelasan .....	22
Gambar 3.6	Kamera .....	23
Gambar 3.7	Penggaris.....	23
Gambar 3.8	<i>Beaker glass</i> .....	23
Gambar 3.9	Timbangan digital .....	24
Gambar 3.10	Kawat .....	24
Gambar 3.11	Skema Pengelasan Gesek .....	28
Gambar 3.12	Spesimen kekerasan .....	30
Gambar 3.13	Spesimen Porositas .....	31
Gambar 3.14	Diagram Alir penelitian .....	33
Gambar 4.1	Grafik Hubungan antara <i>Burn of Length</i> dengan porositas sambungan las pada spesimen dengan flash.....	36
Gambar 4.2	Grafik Hubungan antara <i>burn of length</i> dengan porositas sambungan las pada spesimen tanpa flash .....	37
Gambar 4.3	Foto makrostruktur pada saat pengambilan titik hasil pengelasan gesek dengan kekerasan tertinggi pada sudut <i>chamfer</i> 0°.....	38

Gambar 4.4 Foto makrostruktur pada saat pengambilan titik hasil pengelasan gesek dengan kekerasan terendah pada sudut *chamfer* 60°.....39

Gambar 4.5 Grafik hubungan antara *Burn of Length* dengan Kekerasan pada spesimen dengan sudut *chamfer* 0°.....40

Gambar 4.6 Hasil foto makrostruktur dengan nilai kekerasan tertinggi pada sudut *chamfer* 0° dan *burn off length* 10mm.....41

Gambar 4.7 Grafik hubungan antara *Burn of Length* dengan Kekerasan pada spesimen dengan sudut *chamfer* 60°.....42

Gambar 4.8 Hasil foto makrostruktur dengan nilai kekuatan tarik tertinggi pada sudut *chamfer* 60° dan *burn off length* 10mm.....43



## DAFTAR LAMPIRAN

NO	JUDUL
Lampiran 1	Tabel hasil pengujian komposisi
Lampiran 2	Tabel data hasil pengujian porositas
Lampiran 3	Tabel data hasil pengujian kekerasan
Lampiran 4	Foto spesimen sebelum pengelasan
Lampiran 5	Foto spesimen hasil penelasan



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Di dunia industri kemajuan teknologi berkembang sangat pesat khususnya pada bidang manufaktur. Salah satu proses penting dalam dunia industri yaitu teknologi dalam penyambungan logam atau pengelasan. Pengelasan merupakan teknik penyambungan logam yang memanfaatkan energi panas sehingga menyebabkan peleburan diantara material yang disambungkan. Teknik pengelasan banyak digunakan dalam proses penyambungan karena memiliki karakteristik yang lebih ringan dan prosesnya menjadi lebih sederhana sehingga lebih efisien dan biaya produksi yang diperlukan lebih murah.

Metode pengelasan gesek (*Friction Welding*) merupakan metode yang banyak dikembangkan pada dunia pengelasan untuk mengatasi masalah dalam proses penyambungan material. Pengelasan gesek (*Friction Welding*) merupakan teknik pengelasan dengan cara menggesekkan dua buah material tanpa menggunakan elektroda atau kawat las dimana salah satu material akan berputar dan material lainnya akan diam dan diberi tekanan ke material yang berputar sehingga akan menimbulkan panas akibat adanya gesekan antara kedua material tersebut dan akhirnya akan menyatu dikarenakan jaringannya atom pada material saling berikatan. Metode ini merupakan salah satu cara untuk mengatasi masalah dalam proses penyambungan logam yang sulit dilakukan dengan teknik pengelasan cair (*Friction Welding*).

Pada proses pengelasan gesek (*Friction Welding*) terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kekuatan tarik yaitu waktu gesekan, tekanan, putaran dan sudut *chamfer* dimana semakin besar tekanan dan putaran saat pengelasan serta semakin lama waktu pengelasan maka kekuatan tarik akan semakin meningkat. Apabila sudut *chamfer* semakin kecil maka kekuatan tarik yang dihasilkan juga semakin meningkat. Selain itu adanya gaya tekan akhir pada proses pengelasan gesek akan mempengaruhi kekuatan puntir. Kelebihan dari penggunaan teknik las gesek adalah biaya yang dibutuhkan relatif murah, dapat digunakan untuk menyambungkan material yang sama maupun berbeda, dapat meminimalisir material sumbu dari material yang dilas, dapat memberikan hasil las yang kuat, efisien karena tidak memerlukan *filler metal*, tidak menghasilkan fluks, tidak membutuhkan energi listrik yang cukup besar (Suratman, 2001). Berbagai kelebihan dari



penggunaan las gesek tersebut menyebabkan metode ini banyak digunakan dalam proses produksi pada bidang industri.

Baja karbon dan alumunium Al 6061 merupakan salah satu logam yang banyak digunakan pada bidang industri dikarenakan sifat baja yang mudah dibentuk, mudah ditempa, kuat, tidak mudah menyala atau terbakar apabila terkena api serta merupakan penghantar panas yang baik. Alumunium merupakan logam ringan yang memiliki sifat mudah dibentuk, tahan terhadap korosi, memiliki titik lebur yang rendah, kuat, memiliki sifat sebagai penghantar listrik yang baik serta mudah dalam meningkatkan kekuatan tariknya.

Pada penelitian sebelumnya telah diteliti Hidayat (2014) melakukan penelitian tentang pengaruh sudut chamfer satu sisi terhadap porositas pada sambungan las gesek AL-Mg-SI dengan melakukan pengujian makro dan mikro serta distribusi kekerasan permukaan menggunakan metode *microvickers* diketahui bahwa sudut chamfer satu sisi mempengaruhi kekerasan permukaan dan porositas pada sambungan las gesek.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Irawan, (2014) tentang kekuatan puntir dan porositas hasil sambungan las gesek Al 6061 dan St41 dengan variasi chamfer dan gaya tekan akhir dapat diketahui nilai tegangan geser maksimal pada masing-masing spesimen dengan variasi sudut dan gaya tekan akhir.

Pada penelitian sebelumnya telah di teliti Arivazhagan (2007) melakukan penelitian tentang penilaian dari kekerasan, kekuatan tekan, dan panas perilaku korosi gesekan pada sambungan las gesek beda material antara AISI 4140 dan AISI 304 dengan hasil semakin besar burn off lenght maka semakin kecil kekerasannya.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang diatas dapat diuraikan rumusan masalah yaitu bagaimana pengaruh sudut chamfer satu sisi dan *burn of length* terhadap kekerasan dan porositas pada sambungan las dissimilar Al 6061-ST40

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Material yang digunakan adalah Al 6061 dan ST 40
2. Material yang di gunakan berbentuk silinder
3. Pengukuran suhu pada permukaan menggunakan infrared thermogan
4. Gaya tekan akhir 200 kg/m<sup>2</sup>

5. Pengelasan dilakukan pada suhu ruangan.
6. Hasil pengelasan didinginkan pada suhu ruangan.

#### 1.4 Tujuan Penelitian

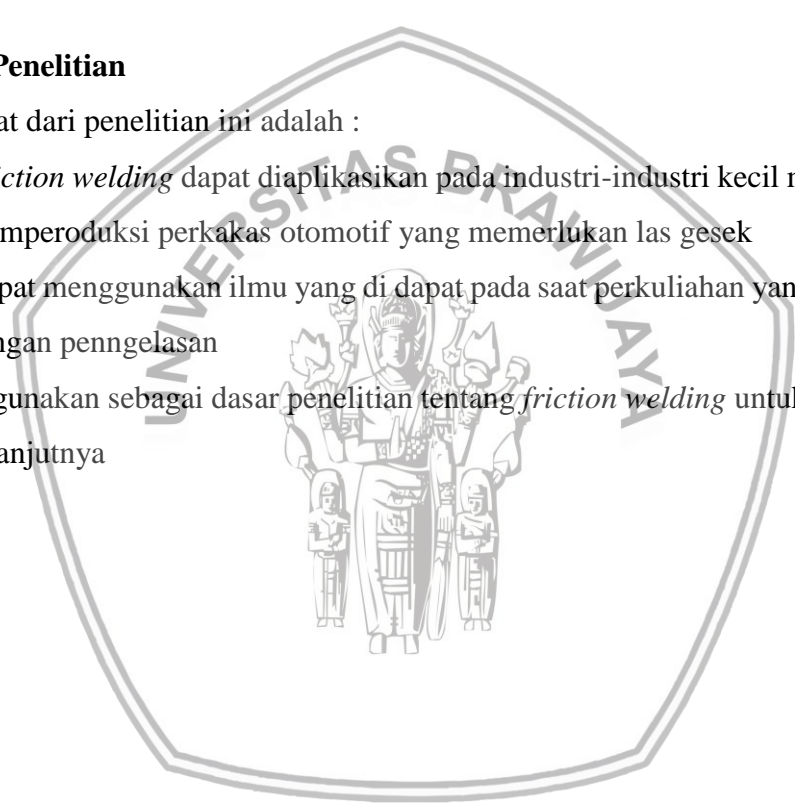
Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui proses pengelasan gesek dengan dua buah material yang berbeda
2. Untuk mengetahui pengaruh sudut chamfer satu sisi pada *friction welding*
3. Untuk mengetahui pengaruh *Burn of Length* pada hasil *friction welding*

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. *Friction welding* dapat diaplikasikan pada industri-industri kecil menengah yang memproduksi perkakas otomotif yang memerlukan las gesek
2. Dapat menggunakan ilmu yang di dapat pada saat perkuliahan yang berhubungan dengan penngelasan
3. Digunakan sebagai dasar penelitian tentang *friction welding* untuk beda material selanjutnya



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Hidayat (2014) melakukan penelitian tentang pengaruh sudut chamfer satu sisi terhadap porositas pada sambungan las gesek AL-Mg-SI dengan melakukan pengujian makro dan mikro serta distribusi kekerasan permukaan menggunakan metode *microvickers* diketahui bahwa sudut chamfer satu sisi mempengaruhi kekerasan permukaan dan porositas pada sambungan las gesek.

Irawan (2012) dalam penelitiannya mendapatkan hasil bahwa sudut chamfer dapat mempengaruhi kekuatan tarik pada sambungan las gesek Aluminium Al 6061. Sudut *chamfer* yang diteliti pada penelitian ini adalah  $0^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$ , dan  $75^{\circ}$ . kekuatan tarik tertinggi terdapat pada sudut *chamfer*  $15^{\circ}$ . Ini disebabkan karena pada sudut ini area .yang terkena panas dan porositas sangat kecil sehingga dapat meningkatkan kekuatan tarik pada sambungan tersebut.

Pada penelitian sebelumnya telah diteliti Arivazhagan (2007) melakukan penelitian tentang penilaian dari kekerasan, kekuatan tekan, dan panas perilaku korosi gesekan pada sambungan las gesek beda material antara AISI 4140 dan AISI 304 dengan hasil semakin besar burn off length maka semakin kecil kekerasannya.

#### 2.2 Burn off Length

Panjang material yang berkurang akibat adanya gesekan antara dua material dimana pada salah satu material yang diberi tekanan, sehingga akibat adanya gesekan dan tekanan yang menimbulkan panas pada dua material tersebut pada proses pengelasan. *Burn off length* juga merupakan panjang material yang berkurang akibat proses pengelasan *dissimilar continous drive friction welding* (DCDFW).

#### 2.3 Sudut Chamfer

Pemangkasan sudut untuk menghubungkan dua garis dengan garis lurus baru yang mempunyai kemiringan tertentu, kemiringan tersebut dihasilkan dari jarak garis yang dihilangkan

## 2.4 Aluminium

Aluminium merupakan unsur logam yang paling banyak terkandung di bumi. Aluminium sendiri mempunyai beberapa keunggulan jika dibandingkan dengan logam lain. Aluminium termasuk logam ringan yang mempunyai kekuatan tinggi, tahan terhadap korosi, dan merupakan konduktor listrik yang baik (Harsono,2000:113). Aluminium merupakan logam yang paling banyak digunakan setelah baja. Karakteristik utamanya adalah ringan (berat jenis : 2,7 gr/cm<sup>3</sup>) dibandingkan dengan baja (berat jenis : 7,8 gr/cm<sup>3</sup>), serta memiliki keuletan yang cukup tinggi. Dengan sifat-sifat seperti itumaka aluminium banyak digunakan secara luas di perusahaan-perusahaan, ataupun yang lainnya.

Tabel 2.1 Sifat Fisik Aluminium

Sifat sifat	Kemurnian Al(%)	
	99,996	>99,0
Masa jenis (20°C)	26,989	2,71
Titik cair	660,2	653-657
Panas jenis (cal/g°C)(100°C)	0,2226	0,2297
Hantaran listrik (%)	64,94	59 (dianil)
Tahanan listrik keofisien temperatur (°C)	0,00429	0,0115
Koefisien pemuai (20-100°C)	23,86 x 10	23,5 x 10

Sumber : Surdia, 199:134

Tabel 2.2 Sifat Mekanik Aluminium

Sifat sifat	Kemurnian Al (%)			
	99,996	75% di rol		>99,0
	Dianil	dingin	Dianil	H18
Kekuatan Tarik (Kg/mm <sup>2</sup> )	4,9	11,6	9,3	16,9
Kekuatan mulur (0,2%)(kg/mm <sup>2</sup> )	1,3	11,0	3,5	14,8
Perpanjangan (%)	48,8	5,5	35	5
Kekerasan brinell	17	27	23	44

Sumber :Surdia, 199,134

### 2.4.1 Sifat Sifat Alumunium

Aluminium memiliki beberapa sifat yaitu :

#### 1. Kekerasan

Kekerasan merupakan kemampuan suatu material untuk menerima beban dari luar. Pada material aluminium murni yang mempunyai kadar 99,99% nilai kekerasan yang didapat adalah sebesar 17 BHN. Tetapi jika ditambahkan unsur paduan maka nilai kekerasan aluminium ini akan meningkat. sebagai contoh, Pada paduan aluminium dengan 4,5% Cu, 1,5% Mg, 0,5% Mn yang biasa disebut paduan 2024 mempunyai kekerasan 220 BHN (Surdia,1999: I 37)

#### 2. Kekuatan Tarik

Kemampuan suatu material untuk menerima gaya sejajar dengan sumbunya dengan arah gaya yang berlawanan tanpa mengalami kerusakan. Untuk aluminium murni dengan kadar aluminium sebesar 99,99% kekuatan tarik maksimum adalah 4,9 Kg/mm<sup>2</sup>.

#### 3. Kekuatan puntir

Kemampuan suatu material untuk menerima gaya sejajar dan gaya rotasi tanpa mengalami slip.

#### 4. Kekuatan *impact*

Kekuatan *impact* adalah kemampuan suatu bahan untuk menahan beban dinamis atau mendadak yang dapat menyebabkan rusak atau patah.

### 2.4.2 Sifat mampu las Alumunium Al 6061

Al 6061 merupakan salah satu jenis paduan Al 6061 yang dapat diperlakukan panas (*heat treatable alloys*), mempunyai kekuatan tarik sedang dan sifat mampu las (*weldability*) yang relatif baik. Paduan ini banyak digunakan pada struktur kapal, kendaraan, dan pesawat karena ringan dan kekuatan tarik (*strength to weight ratio*) tinggi. Dalam proses pabrikasi, metode penyambungan Al 6061 yang paling banyak dipakai saat ini adalah dengan proses pengelasan terutama las MIG dan TIG. Masalah yang sering dijumpai bila menggunakan metode pengelasan adalah kecenderungan bahan mengalami perubahan dimensi (*distortion*) terutama untuk bahan yang tipis, karena tegangan sisa yang muncul akibat proses pengelasan sehingga akan menurunkan sifat mekanik sambungan las. Beberapa faktor penting yang mempengaruhi tegangan sisa dan distorsi pada proses pengelasan yaitu siklus termal las, sifat bahan, ketebalan plat, dan bentuk las. Dari beberapa faktor tersebut, siklus termal mempunyai pengaruh yang paling besar terhadap terjadinya tegangan sisa dan distorsi pada struktur las. Siklus termal dan distribusi suhu sangat berhubungan dengan metode

pengelasan, heat input, dan kondisi lingkungan. Proses preheat dilakukan untuk memperlambat laju pendinginan, mengurangi tegangan penyusutan dan distorsi akibat pengelasan, meningkatkan penyatuan logam induk dengan lasan, dan menghilangkan kelembaban. Untuk paduan aluminium, preheat dapat dilakukan pada temperatur 80°C – 200°C tergantung pada ketebalan plat dan jenis paduannya. Paduan aluminium Al 6061 termasuk paduan yang sensitive Al 6061 merupakan salah satu jenis paduan aluminium Al 6061 yang dapat diberi perlakuan panas (*heat treatable alloys*), mempunyai kekuatan tarik sedang dan sifat mampu las (*weldability*) yang relatif baik. Paduan ini banyak digunakan pada struktur kapal, kendaraan, dan pesawat karena ringan dan kekuatan tarik (*strength to weight ratio*) tinggi. Dalam proses pabrikasi, metode penyambungan Al 6061 yang paling banyak dipakai saat ini adalah dengan proses pengelasan terutama las MIG dan TIG. Masalah yang sering dijumpai bila menggunakan metode pengelasan adalah kecenderungan bahan mengalami perubahan dimensi (*distortion*) terutama untuk bahan yang tipis, karena tegangan sisa yang muncul akibat proses pengelasan sehingga akan menurunkan sifat mekanik sambungan las. Beberapa faktor penting yang mempengaruhi tegangan sisa dan distorsi pada proses pengelasan yaitu siklus termal las, sifat bahan, ketebalan plat, dan bentuk las. Dari beberapa faktor tersebut, siklus termal mempunyai pengaruh yang paling besar terhadap terjadinya tegangan sisa dan distorsi pada struktur las. Siklus termal dan distribusi suhu sangat berhubungan dengan metode pengelasan, heat input, dan kondisi lingkungan.

Proses *preheat* dilakukan untuk memperlambat laju pendinginan, mengurangi tegangan penyusutan dan distorsi akibat pengelasan, meningkatkan penyatuan logam induk dengan lasan, dan menghilangkan kelembaban. Untuk paduan aluminium, preheat dapat dilakukan pada temperatur 80°C – 200°C tergantung pada ketebalan plat dan jenis paduannya. Paduan aluminium Al 6061 termasuk paduan yang sensitive

## 2.5 Baja

Baja adalah paduan antara besi (Fe) dan karbon (C) dengan penambahan paduan lainnya. Baja paling banyak digunakan sebagai produk akhir seperti komponen otomotif, tranformer listrik dan untuk proses manufaktur lainnya seperti proses pembuatan lembaran besi, proses ekstrusi dan lain-lain. Dasar pemilihan pemakaian baja ini seiring dengan terus berkembangnya industri otomotif dan kebutuhan masyarakat akan kendaraan bermotor, komponen permesinan, ban konstruksi dan bidang lainnya terutama didasarkan pada sifat

mekaniknya jika sifat logam sangat keras sangat sulit dalam pembentukannya. ( Tri Harya Wijaya, 2010 )

Sifat mekanik ini ditentukan oleh kandungan paduan yang terdapat di dalamnya. Kandungan unsur ini akan membentuk struktur mikro pada baja, sehingga dengan merubah komposisi maka struktur mikro juga berubah dan perubahan ini akan mempengaruhi sifat mekaniknya. Selain itu perubahan struktur mikro juga dapat dilakukan dengan cara perlakuan panas yaitu dengan merubah kecepatan pendinginan. Kemampuan pengerasan baja (*hardenability*) memiliki rentangan yang besar sehingga dapat disesuaikan dengan sifat mekanik yang sesuai dengan yang diinginkan dari dari baja tersebut

### 2.5.1 Sifat Sifat Baja

Beberapa sifat baja yang penting adalah: kekuatan, kelenturan, kealotan, kekerasan dan ketahanan terhadap korosi.

#### 1. Kekuatan

Baja mempunyai daya tarik, lengkung, dan tekan yang sangat besar. Pada setiap partai baja, pabrikan baja menandai beberapa besar daya kekuatan baja itu. Pabrikan baja misalnya, memasukan satu partai baja batangan dan mencatumkan pada baja itu Fe 360. di sini Fe menunjukkan bahwa partai itu menunjukkan daya kekuatan (minimum) tarikan atau daya tarik baja itu. Yang dimaksud dengan istilah tersebut adalah gaya tarik N yang dapat dilakukan baja bergaris tengah  $1 \text{ mm}^2$  sebelum baja itu menjadi patah. Dalam hal ini daya tarik itu adalah  $360 \text{ N/mm}^2$ . dahulu kita mencantumkan daya tarik baja itu Fe 37, karena daya tariknya adalah  $37 \text{ kgf/mm}^2$ . karena mengandung sedikit kadar karbon, maka semua jenis baja mempunyai daya tarik yang kuat. Oleh karna itu daya tarik baja yang kuat maka baja dapat menahan berbagai tegangan, seperti tegangan lentur.

#### 2. Kekerasan

Baja itu sangat keras sekali sehingga sebagai bahan konstruksi, baja mungkin saja untuk digunakan berbagai tujuan. Apabila untuk produk-produk baja tertentu ada suatu keharusan, maka bisa saja baja itu, dengan cara dipanaskan, dibuat luar biasa kerasnya.

#### 3. ketahanan terhadap korosi

Tanpa perlindungan, baja sangat cepat berkarat. Untung saja baja diberikan perlindungan yang sangat efektif dengan berbagai cara.

#### Klasifikasi Baja

Berdasarkan Prosentase Karbon

Berdasarkan tinggi rendahnya prosentase karbon di dalam baja, baja karbon diklasifikasikan sebagai berikut:

a . Baja Karbon Rendah ( low carbon steel)

Baja karbon rendah mengandung karbon antara 0.10% s/d 0.30%. baja karbon ini dalam perdagangan dibuat dalam olat baja, baja strip dan baja batangan atau profil. Berdasarkan jumlah karbon yang terkandung dalam baja, maka baja karbon rendah dapat digunakan atau dijadikan baja-baja sebagai berikut :

- Baja karbon rendah yang mengandung 0.04%-0.10%C. untuk dijadikan baja-baja plat atau strip
- Baja karbon rendah yang mengandung 0.05% C digunakan untuk keperluan badan-badan kendaraan.
- Baja karbon rendah yang mengandung 0.15%-0.30%C digunakan untuk konstruksi jembatan, bangunan, membuat baut atau dijadikan baja konstruksi.

b . Baja Karbon Menengah ( medium carbon steel)

Baja karbon menengah mengandung karbon antara 0.30-0.60 % C. baja karbon menengah ini banyak digunakan untuk keperluan alat-alat perkakas bagian mesin. Berdasarkan jumlah karbon yang terkandung dalam baja maka baja karbon ini dapat digunakan untuk berbagai keperluan seperti untuk keperluan industri kendaraan, roda gigi, pegas dan sebagainya.

c . Baja Karbon Tinggi ( High carbon steel)

Baja karbon tinggi mengandung kadar karbon antara 0.60-1.7 % C. dan setiap satu ton baja karbon tinggi mengandung karbon antara 70-130 kg. baja ini mempunyai tegangan tarik paling tinggi dan banyak digunakan untuk material tools. Salah satu aplikasi dari baja ini adalah dalam pembuatan kawat baja dan kabel baja. berdasarkan jumlah karbon yang terkandung didalam baja maka baja ini banyak digunakan dalam pembuatan pegas, alat-alat perkakas seperti ; palu, gergaji atau pahat potong. Selain itu baja jenis ini banyak digunakan untuk keperluan industri lain seperti pembuatan kikir, pisau cukur, mata gergaji dan lain sebagainya

### 2.5.2 Sifat Mampu Las Baja ST41

Baja ST41 termasuk baja karbon rendah dengan kandungan karbon kurang dari 0,3%. ST 41 ini menunjukkan bahwa baja ini dengan kekuatan tarik = 41 kg / mm<sup>2</sup>. Diawali dengan ST dan diikuti bilangan yang menunjukkan kekuatan tarik minimumnya dalam kg/mm<sup>2</sup>.



Baja ST 41 ini secara teori mempunyai nilai kekerasan yang lebih rendah dibandingkan dengan besi cor, dengan adanya perlit dan ferit karena perlit yang ada lebih banyak dari pada ferit. Aplikasi baja ST 41 antara lain

Digunakan untuk kawat, paku, wire mesh, peralatan automotif dan sebagai bahan baku *welded fabrication* (kisi – kisi jendela atau pintu dan jeruji)

Aplikasi khusus seperti untuk kawat elektroda berlapis untuk keperluan pengelasan. Walaupun baja sebagian besar terdiri dari besi (Fe), penambahan unsur – unsur lain dalam jumlah yang relatif kecil sangat menentukan jenis dan sifat mekanis akhir dari baja tersebut.

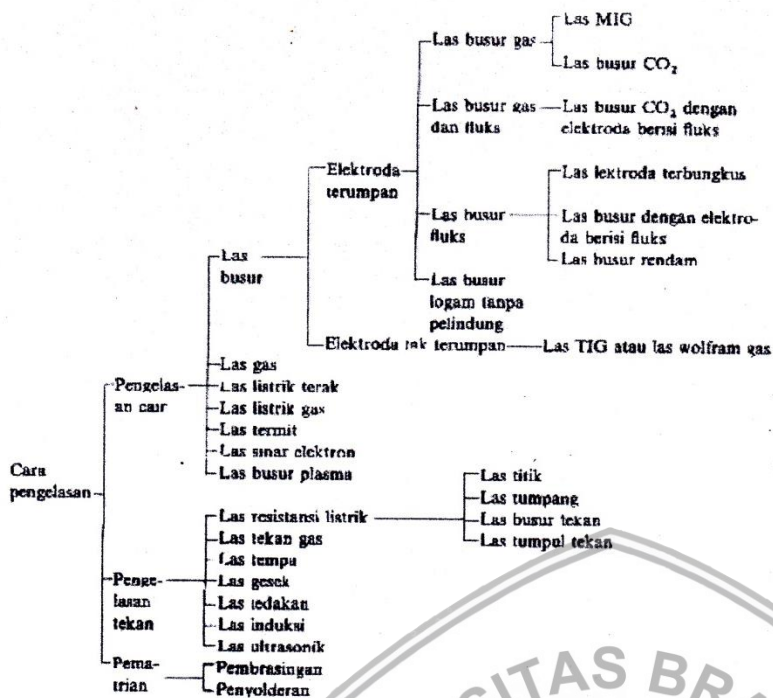
Komposisi dari unsur – unsur ini juga memberikan reaksi yang berbeda – beda pada saat baja menjalani proses perlakuan panas (*heat treatment*) atau pada saat proses pendinginan dari suhu yang tinggi.

Ada dua masalah utama dalam pemakaian material baja yaitu: sifat korosif dan sifat tahan terhadap panas. Untuk mengantisipasi kelemahan baja terhadap kedua masalah diatas dapat diperbaiki dengan menggunakan baja dengan komposisi kimia dan heat treatment yang sesuai dengan kebutuhan.

## 2.6 Pengelasan

Pengelasan merupakan salah satu cara untuk menyambungkan dua logam. Menurut definisi dari Deutsche Industrie Normen (DIN) las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dari definisi tersebut dapat disimpulkan bahwa dalam pengelasan dibutuhkan energi panas untuk melumerkan atau mencairkan logam yang akan dilas. Berdasarkan cara kerja pengelasan dapat diklasifikasikan menjadi tiga yaitu :

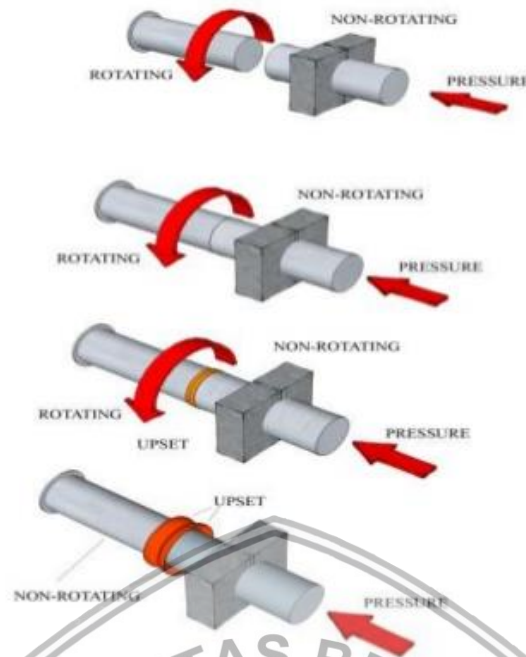
1. Pengelasan cair adalah pengelasan dimana sambungan yang akan dilas akan mencair sehingga dapat menyatu
2. Pengelasan Tekan adalah pengelasan dimana sambungan dipanaskan lalu ditekan tanpa harus mencair hingga menyatu.
3. Pematrian adalah cara dimana sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah. dalam proses ini logam yang akan disambung tidak ikut mencair. untuk lebih jelasnya dari pengklasifikasian ini dapat dilihat pada- gambar 2.1 dibawah ini



Gambar 2.1 Klasifikasi cara pengelasan  
 Sumber : Wiryosumarto, 2008

### 2.7 Friction Welding

*Friction welding* adalah salah satu metode dalam pengelasan tekan. Las gesek (*welding*) adalah suatu cara untuk menyambung benda padat dengan jalan mencairkan melalui pemanasan (Sriwidharto, 1996:1). Dalam metode ini dua buah benda dapat menyatu karena adanya panas yang timbul akibat dari gesekan dua benda tersebut. Prinsip dasar dari pengelasan sendiri adalah dengan cara memanaskan logam yang akan dilas supaya logam dapat meleleh dan bisa saling menempel. Salah satu cara untuk mendapatkan panas tersebut adalah dengan cara menggesekkan logam itu sendiri dengan logam lainnya.

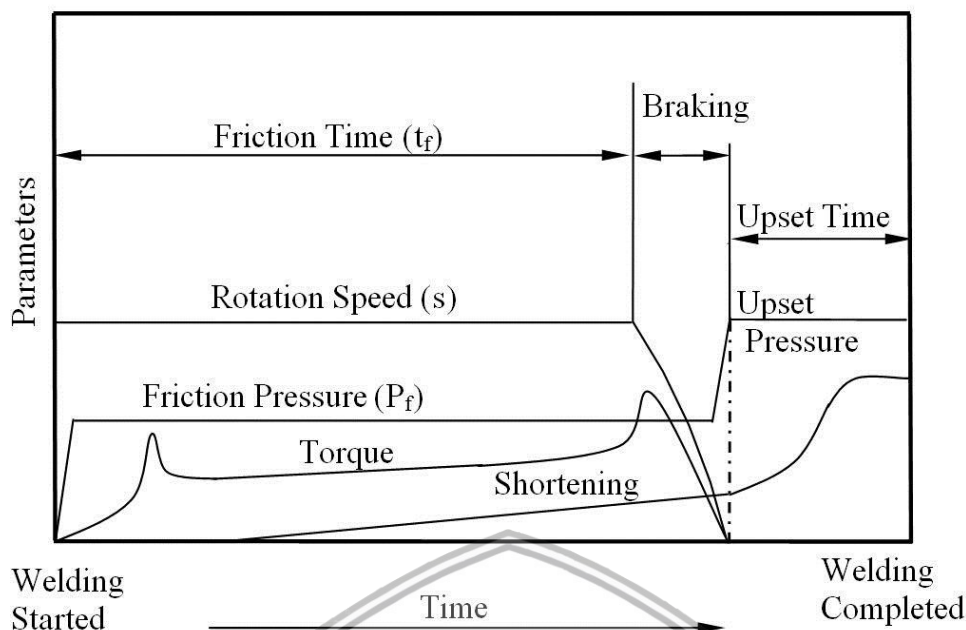


Gambar 2.2 Mekanisme las gesek  
Sumber : Wiryosumarto, 2008

### 2.7.1 Continuous Drive Friction Welding

Las gesek merupakan pengelasan yang memanfaatkan panas yang berasal dari gesekan langsung dari benda itu sendiri dimana salah satu benda kerja diputar dan satunya diam dan menekan. Mekanisme proses ini adalah ketika salah satu benda diputar dengan kecepatan tinggi dan salah satu benda yang lain menekan benda yang berputar tersebut. Akibat dari penekan tersebut timbul panas sehingga partikel dari dua logam dapat saling berikatan dan perputaran yang terjadi mengakibatkan partikel dari dua benda tersebut teraduk. Sedangkan penekanan menyebabkan partikel terdorong mengisi celah-celah kosong sekaligus mengeluarkan udara. Dari proses ini menghasilkan proses penyambungan logam tanpa pelelehan logam tersebut

Pada pengelasan gesek terdapat beberapa parameter yang perlu di perhatikan saat proses penyambungan, terlebih memperhatikan pada waktu dan gaya yang di berikan pada saat proses pengelasan



Gambar 2.3: Parameters for Continuous Drive Friction Welding  
 Sumber : Wiryosumarto, 2008

Kegunaan dari las gesek sendiri adalah menyambungkan dua logam tanpa membutuhkan gas ataupun listrik untuk melelehkan / memanaskan logam sehingga lebih murah . daerah HAZ yang di hasilkan dari las ini lebih sedikit , kekuatan hasil dari pengelasan ini hamper sama dengan logam induk , dapat menyambungkan pada logam yang berbeda , meminimalisir energi , dan pengelasan yang bertemperatur rendah dapat mempertahankan mikrostruktur pada material tersebut



Gambar 2.4 pengaplikasian las gesek  
 Sumber : Wiryosumarto, 2008

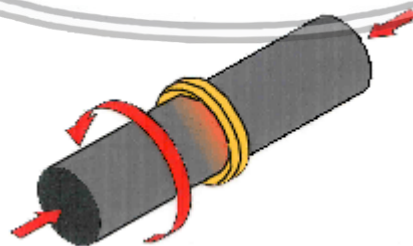
### 2.7.2 *Dissimilar Continuous Drive Friction Welding*

Metode *Continuous Drive Friction Welding* adalah suatu metode yang hampir sama dengan metode *Dissimilar Continuous Drive Friction Welding* bedanya metode *Dissimilar Continuous Drive Friction Welding* material yang di las berbeda. Logam *non ferrous* aluminium dan paduan banyak digunakan karena sifatnya yang baik dan tidak mahal. Namun aluminium paduan baik memiliki sifat seperti *stainless steel* yang kuat dan memiliki mampu las yang baik.

### 2.7.3 Inertia Friction Welding

Sistem berputar pengelasan terdiri dari dua *chuck* untuk memegang material yang akan dilas, salah satunya adalah tetap dan yang lainnya berputar. Sebelum pengelasan salah satu bagian pekerjaan melekat pada *chuck* berputar bersama dengan roda gila dengan berat tertentu. Potongan tersebut kemudian berputar hingga tingkat tinggi rotasi untuk menyimpan energi yang diperlukan dalam roda gila. Setelah berputar pada kecepatan yang tepat, motor ini dihapus dan potongan dipaksa bersama-sama di bawah tekanan. Kekuatan yang disimpan pada bagian setelah berputar berhenti untuk memungkinkan las untuk "mengatur".

Teknik ini juga dikenal sebagai pengelasan inersia, rotasi (atau gesekan *rotary*) pengelasan atau gesekan inersia pengelasan. Dalam *Inersia Friction Welding* motor drive terlepas, dan potongan-potongan kerja paksa bersama-sama oleh kekuatan las gesekan. Energi kinetik yang tersimpan dalam roda gila berputar didisipasikan sebagai panas pada antarmuka las sebagai kecepatan roda gila menurun.



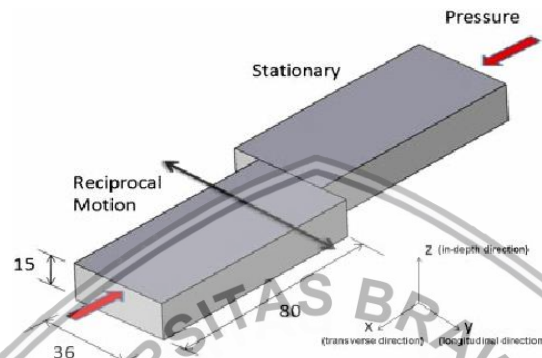
Gambar 2.5 *Inertia Friction Welding*

Sumber : (Kalle : 1999)

### 2.7.4 Linier Friction Welding

*Linier Friction Welding (LFW)* mirip dengan gerakan berputarnya las kecuali bahwa *chuck* bergerak berosilasi lateral bukannya berputar. Kecepatan jauh lebih rendah pada umumnya, yang membutuhkan potongan harus disimpan di bawah tekanan sepanjang waktu.

Ini juga memerlukan bagian untuk memiliki kekuatan geser yang tinggi. Linear las gesekan membutuhkan mesin yang lebih kompleks daripada berputar pengelasan, tetapi memiliki keuntungan bahwa bagian dari bentuk apapun dapat bergabung, sebagai lawan bagian dengan titik pertemuan melingkar. Keuntungan lain adalah bahwa dalam banyak kasus kualitas bersama adalah lebih baik dari yang diperoleh dengan menggunakan teknik berputar.



Gambar 2.6 *Linear Friction Welding*  
Sumber : (Philip : 2001)

## 2.8 Pengujian Sambungan Las

### 2.8.1 Macam Macam Pengujian

Pengujian secara garis besar dibagi menjadi 2 yakni :

#### 1. Pengujian destructive

Pengujian ini merupakan pengujian dengan cara merusak specimen atau menghancurkan yang akan diuji. Uji ini dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik dari sesuatu material. Contohnya seperti pengujian tarik, puntir, impact, dan kekerasan.

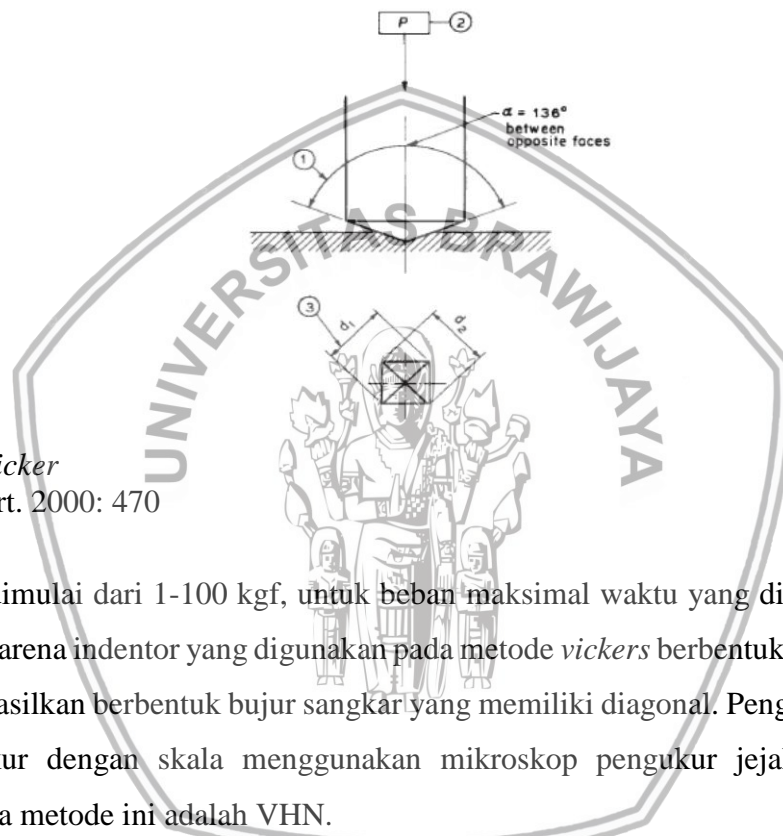
#### 2. Pengujian Non destructive

Pengujian non-destructive (NDT) adalah aktivitas tes atau inspeksi terhadap suatu benda untuk mengetahui adanya cacat, retak, atau discontinuity lain tanpa merusak benda yang kita tes atau inspeksi. Pada tes ini dilakukan untuk menjamin bahwa material yang kita gunakan masih aman dan belum melewati damage tolerance. NDT dilakukan paling tidak sebanyak dua kali. Pertama, selama dan diakhir proses fabrikasi, untuk menentukan suatu komponen dapat diterima setelah melalui tahap fabrikasi. Kedua, NDT dilakukan setelah komponen digunakan dalam jangka waktu tertentu. Tujuannya adalah menemukan kegagalan parsial sebelum melampaui damage tolerance. Contoh pengujian ini adalah Uji

visual, Uji hyper-eutectoid magnet, Uji cairan penetran (*liquid penetran test*), Edy current test, *ultrasonic inspection*, dan *Radiographic inspection*.

### 2.8.2 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan memiliki tujuan untuk mengetahui distribusi kekerasan mikro yang terdapat pada permukaan sambungan las gesek akibat dari proses carburizing. Pada pengujian ini nilai kekerasan dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa metode diantaranya yaitu metode *rockwell test*, *brinnel test* dan *vicker test*. Metode *vicker test* menggunakan indenter berbentuk piramida dengan sudut  $136^\circ$  seperti pada gambar berikut.



Gambar 2.7 *Vicker*  
Sumber : Voort. 2000: 470

Beban tekan dimulai dari 1-100 kgf, untuk beban maksimal waktu yang dibutuhkan 10-15 detik. Tetapi karena indenter yang digunakan pada metode *vickers* berbentuk piramida, maka jejak yang dihasilkan berbentuk bujur sangkar yang memiliki diagonal. Pengukuran panjang diagonal diukur dengan skala menggunakan mikroskop pengukur jejak. Satuan nilai kekerasan pada metode ini adalah VHN.

$$\text{VHN} = \frac{1,8544 P}{d^2} \quad (2-1)$$

dimana :

$P$  : beban yang ditetapkan (kgf)

$d$  : panjang diagonal jarak berlian (mm)

Sumber : ASTM E 10-00, 2003

### 2.8.3 Pengujian Porositas

Pada proses pengelasan terdapat berbagai aspek yang ditinjau termasuk kekuatan material. Melihat kekuatan material dapat dilakukan dengan pengujian cacat yang dapat

muncul saat pengelasan. Pengujian porositas dapat dilakukan untuk mengukur dan mengetahui adanya rongga-rongga pada spesimen dari hasil pengelasan gesek. Metode yang digunakan adalah metode piknometri dengan cara menghitung prosentase porositas yang terdapat pada spesimen uji. Perbandingan dilakukan dengan membandingkan densitas sampel (*apparent density*) dengan densitas teoritis (*true density*) (Purnomo, 2008). Rumus yang digunakan pada pengujian porositas adalah sebagai berikut.

$$\% P = \left( 1 - \frac{\rho_s}{\rho_{th}} \right) \times 100\% \quad (2-2)$$

Keterangan :

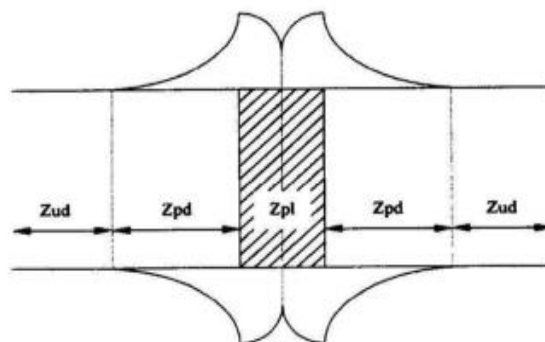
% P = Prosentase porositas (%)

$\rho_s$  = Densitas sampel (*apparent density*) ( $\text{g/cm}^3$ )

$\rho_{th}$  = Densitas teoritis (*true density*) ( $\text{g/cm}^3$ )

## 2.9 Daerah *Heat Affected Zone* (HAZ)

Daerah HAZ adalah daerah yang terpengaruh panas ketika proses pengelasan. Akibat dari adanya panas ini struktur mikro dan sifat-sifat mekanisnya berubah dari keadaan semula. Pada pengelasan gesek ada beberapa bagian yang dan bagian tersebut dibagi menjadi tiga yakni *fully plasticized region* (*zpl*) atau daerah sambungan yang menyatu dengan sempurna, *partly deformed region* (*zpd*) ini merupakan daerah *heat affected zone* (HAZ), karena pada daerah ini mengalami panas sebagian yang diakibatkan proses pengelasan dan *undeformed region* (*zud*) atau daerah yang tidak terpengaruh panas sama sekali ketika proses pengelasan. Untuk mengetahui daerah-daerah tersebut maka dapat dilihat dari foto makrostruktur.



Gambar 2.8 Daerah sambungan yang menyatu dengan sempurna (*zpl*), daerah yang terdeformasi (HAZ) (*zpd*) dan daerah yang tidak terpengaruh panas sama sekali ketika proses pengelasan (*zud*)

Sumber : Lin dkk (1999)



## 2.10 Energi pada Proses *Friction Welding*

Pada proses *friction welding* terdapat energi panas yang dihasilkan akibat proses gesekan antara dua permukaan logam aluminium. Hal tersebut diasumsikan bahwa tekanan gesek yang sama menyebar pada bagian-bagian benda berputar dan benda yang tidak berputar. Energi panas yang dihasilkan dapat dinyatakan dengan rumus :

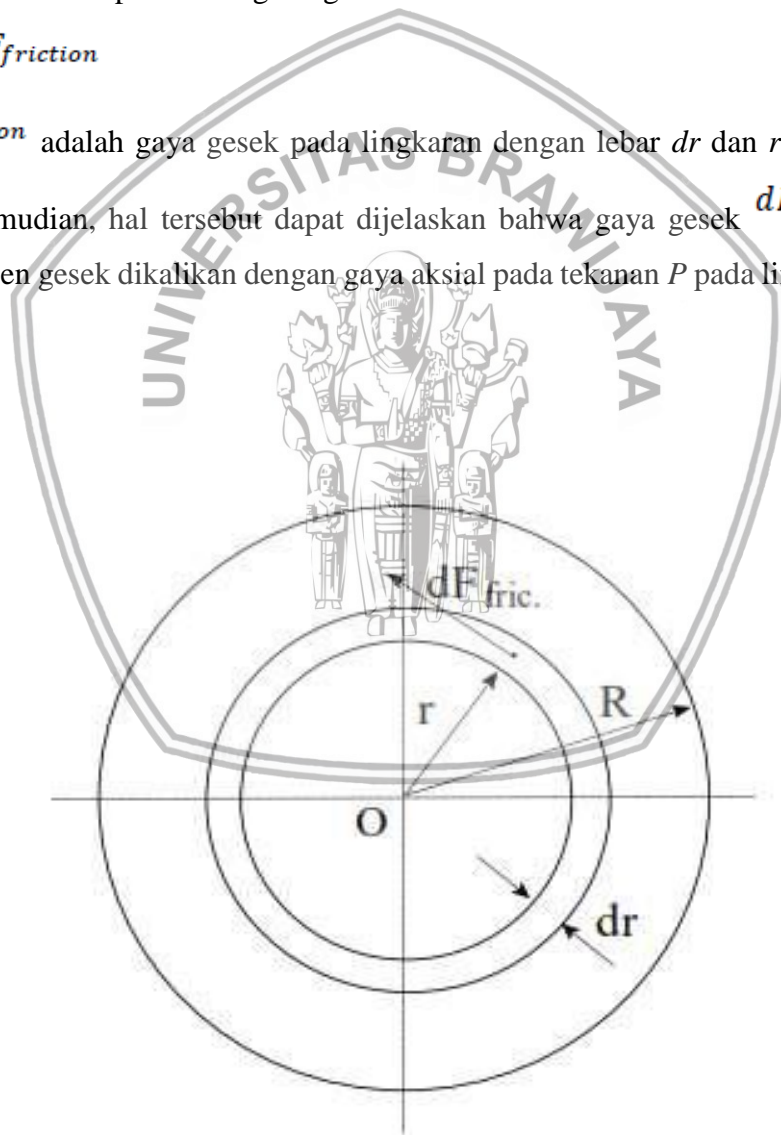
$$d\dot{Q} = \omega \cdot dM_t \quad (2-3)$$

Nilai  $\omega$  ialah kecepatan putaran dan  $dM_t$  ialah perbedaan nilai momen torsi.

Kemudian nilai torsi dapat dihitung dengan rumus :

$$dM_t = r \cdot dF_{friction} \quad (2-4)$$

Nilai  $dF_{friction}$  adalah gaya gesek pada lingkaran dengan lebar  $dr$  dan  $r$  adalah jari-jari lingkaran. Kemudian, hal tersebut dapat dijelaskan bahwa gaya gesek  $dF_{friction}$  setara dengan koefisien gesek dikalikan dengan gaya aksial pada tekanan  $P$  pada lingkaran dengan jari-jari.



Gambar 2.6 *Friction surface*

Sumber: *Modelling of friction welding* (2010)

Bisa dijelaskan dari gambar 2.6 bahwa total energi yang terjadi pada permukaan yang bergesekan adalah panas yang terjadi selama bergesekan, dengan jarak  $r$  dan ketebalan  $dr$  dari sumbu yang berotasi.

$$dF_{friction} = (\mu \cdot P \cdot 2\pi r \cdot dr) \quad (2-5)$$

dengan menggabungkan persamaan (2 – 4) dan persamaan (2 – 5) pada persamaan (2 – 3) maka didapatkan :

$$d\dot{Q} = 2\pi \cdot \mu \cdot \omega \cdot P \cdot r^2 \cdot dr \quad (2-6)$$

Rumus (2 – 6) tersebut kemudian di integralkan dengan nilai  $R$  pada (spesimen pejal) untuk menjelaskan jumlah kalor yang terjadi selama proses gesekan.

$$dQ = \int_0^R 2\pi \cdot \mu \cdot \omega \cdot P \cdot r^2 \cdot dr \quad (2-7)$$

$$\dot{Q} = 2 \cdot \pi \cdot \mu \cdot P \cdot \omega \cdot \frac{r^3}{3} \Big|_0^R \quad (2-8)$$

$$\dot{Q} = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot \mu \cdot P \cdot \omega \cdot R^3 \quad (2-9)$$

dengan :

$\dot{Q}$  : Jumlah energi mekanik per satuan waktu yang terjadi permukaan las gesek (W)

$P$  : Friction pressure ( $N/m^2$ )

$\omega$  : Kecepatan putaran spindle ( $rad/s$ )

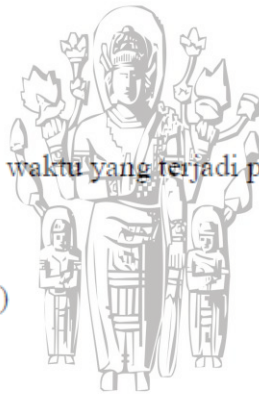
$r$  : Radius benda kerja (m)

$M_t$  : Momen Torsi ( $kg \cdot m$ )

$\mu_s$  : Koefisien gesek aluminium

## 2.11 Hipotesis

Berdasarkan dari beberapa penelitian yang sudah pernah dilakukan dan teori dapat menarik hipotesa bahwa sudut *chamfer* pada satu sisi dan burn of length mempunyai pengaruh terhadap kekerasan permukaan dan porositas pada sambungan las gesek dissimilar AL 6061 dan ST 4041 yaitu semakin besar sudut *chamfer* dan burn of length maka nilai kekerasan yang terbentuk semakin kecil dan nilai porositas yang terbentuk semakin kecil. Hal ini disebabkan oleh *heat input* yang dihasilkan semakin besar maka daerah HAZ juga semakin besar.



## BAB III

### METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah *true experimental* nyata dan langsung pada objek yang akan diteliti. Metode ini digunakan agar dapat diketahui secara langsung pengaruh antara sudut *chamfer* satu sisi dan *burn of length* dengan material yang berbeda yaitu Al 6061 dan ST 41. Selain itu dilakukan kajian terhadap dasar teori yang ada dari beberapa buku dan jurnal.

#### 3.1 Variabel Penelitian

Pada penelitian ini terdapat tiga variabel yaitu variabel bebas, variabel terikat dan variabel terkontrol.

##### 3.1.1 Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang dapat diubah sehingga variabel ini dapat mempengaruhi hasil dari penelitian. Nilai pada variabel ini ditentukan oleh penguji agar menghasilkan korelasi antara variabel bebas dan variabel terikat. Berikut variabel bebas pada penelitian ini:

1. Sudut chamfer : 0°, 30°, 45°, dan 60°
2. *Burn of Length* : 10 mm, 15 mm, 20 mm

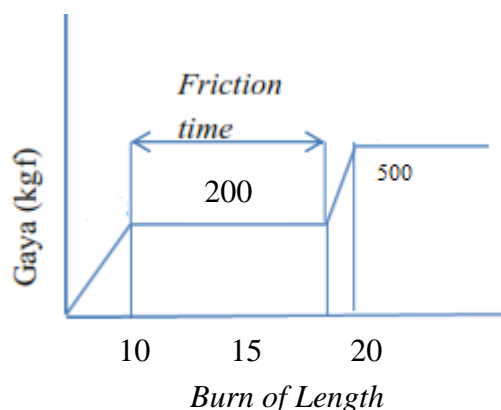
##### 3.1.2 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan faktor-faktor yang akan diobservasi dan diukur untuk menentukan adanya pengaruh variabel bebas. Variabel terikat pada penelitian ini adalah nilai kekuatan pengujian kekerasan dan porositas sambungan las.

##### 3.1.3 Variabel Terkontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang besarnya dapat dikendalikan selama penelitian. Variabel terkontrol dalam penelitian ini yaitu :

1. Gaya penekanan awal 100 kg/m<sup>2</sup>
2. Gaya penekanan akhir 200 kg/m<sup>2</sup>
3. Putaran spindle 1600 rpm



Gambar 3.1 Parameter Pengelasan

Sumber : Dokumentasi Pribadi

### 3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Februari 2016 – Juni 2016. Tempat yang digunakan pada penelitian ini yaitu :

1. Laboratorium Proses Produksi 1 Teknik Mesin Universitas Brawijaya untuk kegiatan pengelasan gesek
2. Laboratorium pengujian bahan Teknik Mesin Universitas Brawijaya untuk kegiatan pengujian kekerasan dan foto makro
3. Laboratorium Pengecoran logam Teknik mesin Universitas Brawijaya untuk kegiatan pengujian porositas

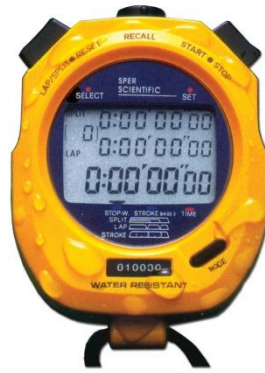
### 3.3 Alat dan Bahan

#### 3.3.1 Alat

Pada penelitian ini alat yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. *Stopwatch*

*Stopwatch* digunakan untuk mengetahui waktu dalam proses pengelasan gesek.



Gambar 3.2 *Stopwatch*  
Sumber: [www.sperdirect.com](http://www.sperdirect.com)

## 2. Jangka sorong

Jangka sorong berfungsi untuk mengukur dimensi benda kerja.



Gambar 3.3 Jangka Sorong  
Sumber: Laboratorium Proses Produksi I Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

## 3. *Vickers Hardness Test*

Alat ini digunakan untuk menentukan kekerasan suatu material dengan sudut puncak  $136^\circ$  yang ditekankan pada permukaan material yang akan diuji.



Gambar 3.4 Mesin Uji kekerasan vickers  
Sumber: alatujiindonesia.indonetwork.co.id

#### 4. Mesin bubut

Alat ini digunakan untuk membubut spesimen uji sehingga sesuai dengan ukuran yang diinginkan.



Gambar 3.5 Mesin Bubut pengelasan  
Sumber: Laboratorium Proses Produksi I Teknik Mesin Fakultas Teknik

5. Kamera

Digunakan untuk mengambil gambar alat, bahan dan cara kerja pada saat melakukan penelitian.



Gambar 3.6 Kamera  
Sumber : kameradslr.info

6. Penggaris

Penggaris pada penelitian ini digunakan untuk mengukur spesimen agar sesuai dengan ukuran yang diinginkan.



Gambar 3.7 Penggaris  
Sumber: Fisikazone.com

7. *Beaker glass*

Beaker glass berfungsi sebagai wadah air serta mengukur volume pada saat pengujian



Gambar 3.8 *Beaker glass*  
Sumber : www.alatlab.com

## 8. Timbangan digital

Timbangan digital berfungsi untuk menimbang bahan yang akan digunakan.

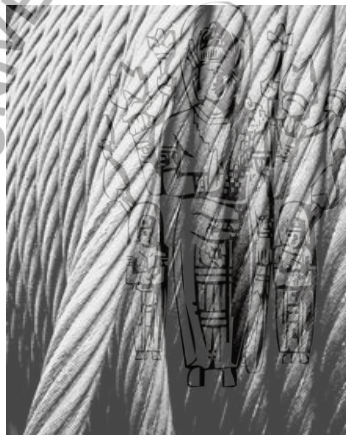


Gambar 3.9 Timbangan digital

Sumber : [www.alatlab.com](http://www.alatlab.com)

## 9. Tali kawat

Tali kawat berfungsi untuk menggantung spesimen yang akan diuji



Gambar 3.10 Kawat

Sumber : [www.alatlab.com](http://www.alatlab.com)

### 3.3.2 Bahan Yang Digunakan

Pada penelitian ini, maka bahan yang akan digunakan AL 6061 dan ST40 dengan komposisi unsur paduan sebagai berikut :

**Tabel 3.1** Komposisi Kimia Paduan Al 6061

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Na
0,529 %	0,344 %	0,229 %	0,125 %	0,795 %	0,0490 %	0,0372 %	0,0249 %	0,00032 %



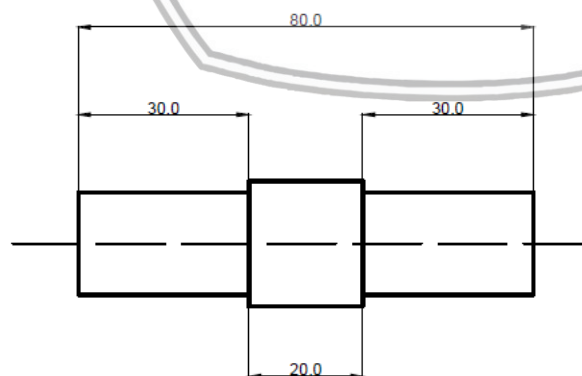
Ca	Ni	Pb	P	Sn	Sb	Sr	Be
0,0016	0,0103	0,0022	<0,0050	0,0013	<0,00040	<0,00010	0,00006
0,0067%	<0,00030%	0,0063%	97,8%	%	%	%	%

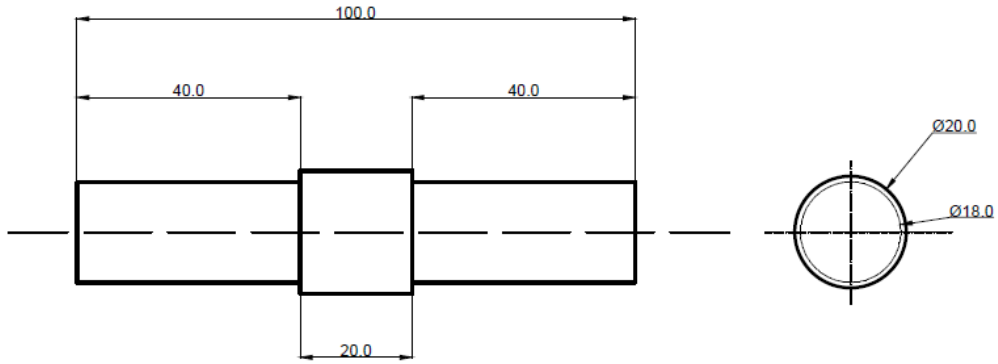
**Tabel 3.2** Komposisi kimia paduan St 41

Unsur	Prosentase
Besi (Fe)	98,84%
Karbon (C)	0,13%
Silikon (Si)	0,15%
Mangan (Mn)	0,6261%
Sulfur (S)	0,04%
Fosfor (P)	0,02%

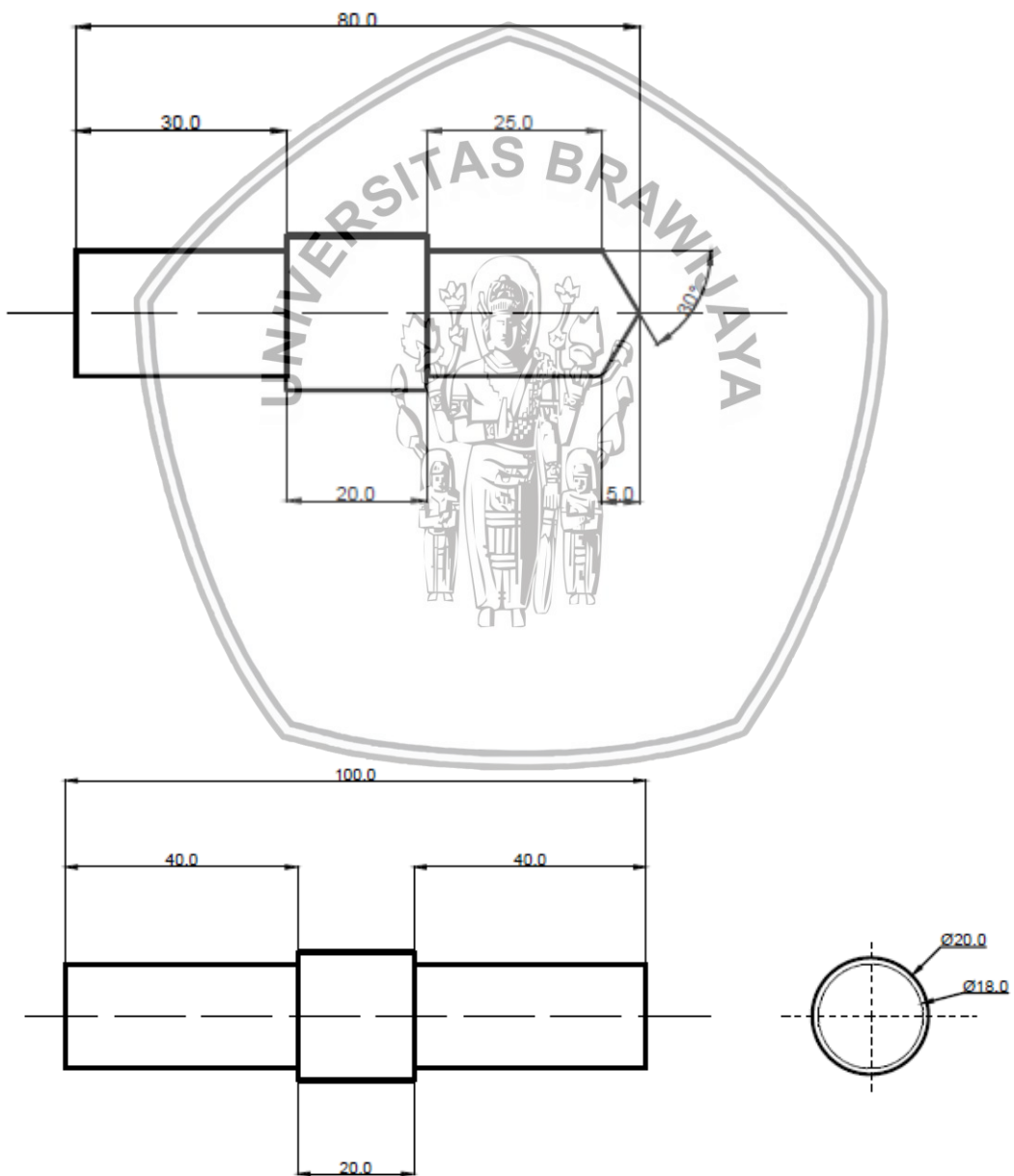
Dimensi bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah poros pejal dengan dimensi specimen ditunjukkan pada gambar 3.8 dan besarnya sudut *chamfer* dilambangkan dengan x.

Spesimen sudut *chamfer* 0° Al 6061 dan St 41

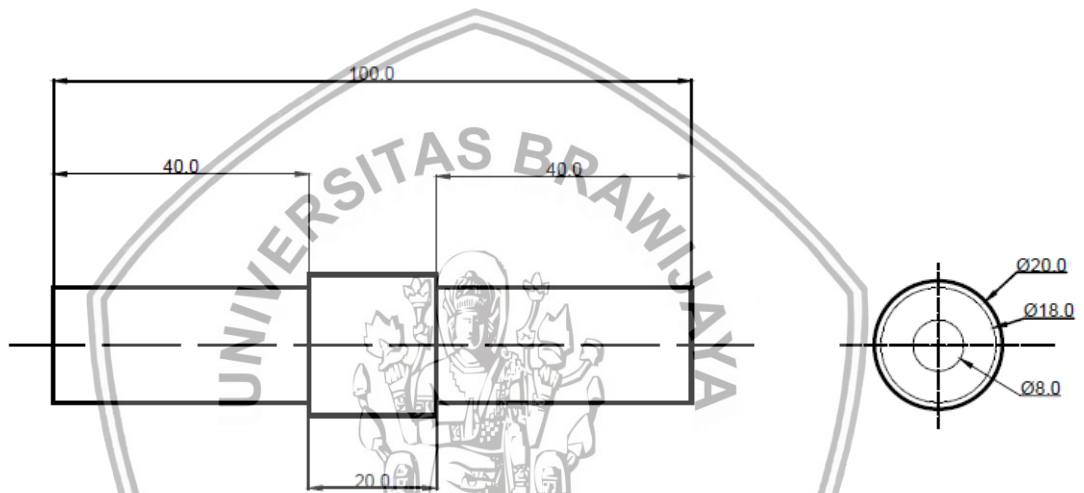
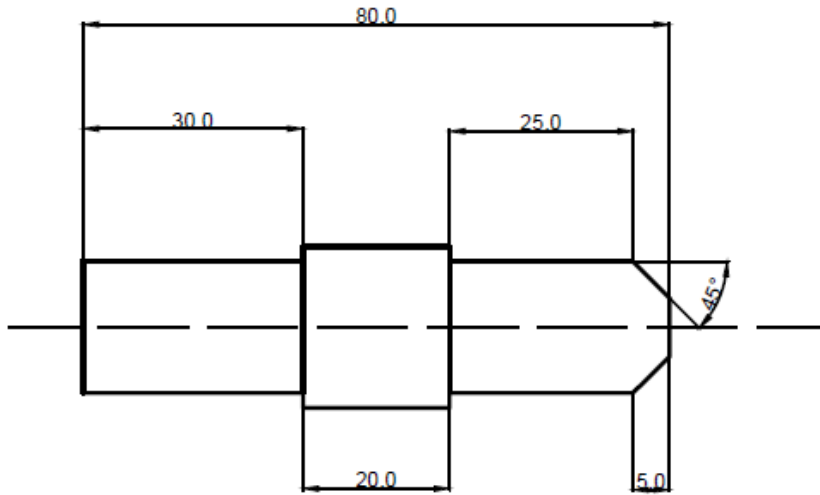




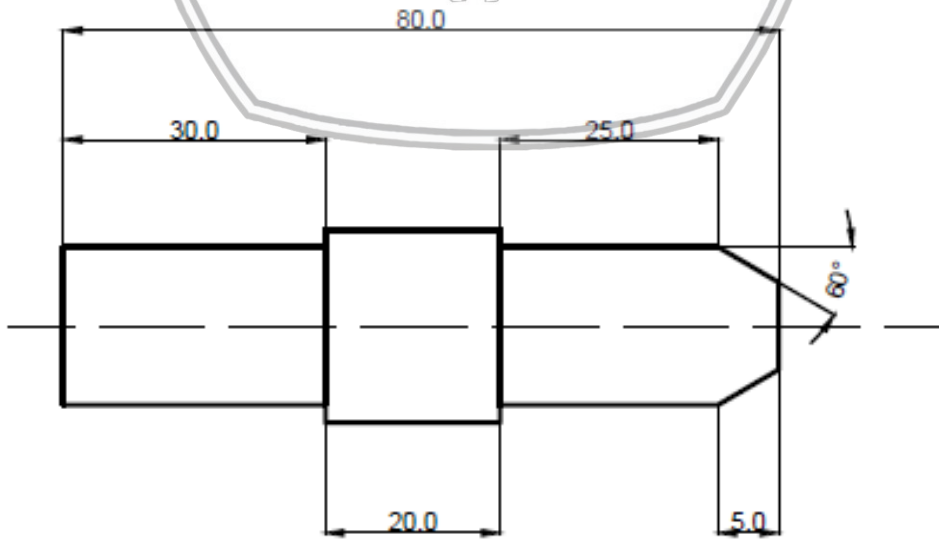
Spesimen sudut *chamfer* 30° Al 6061 dan St 41

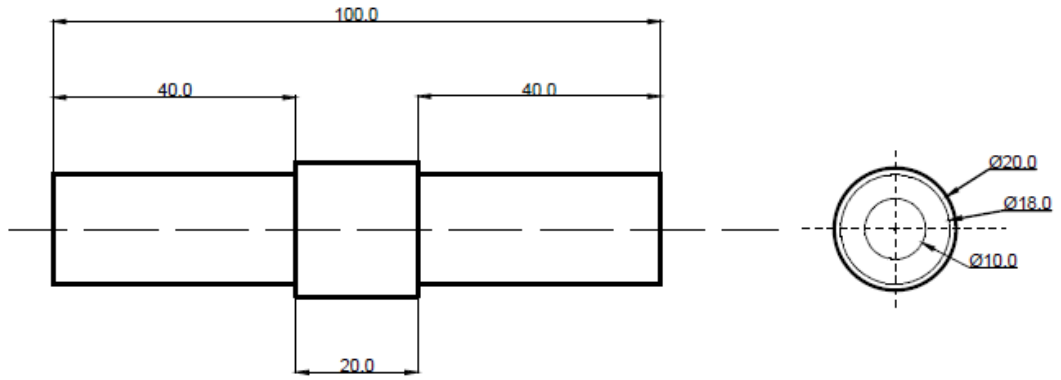


Spesimen sudut *chamfer* 45° Al 6061 dan St 41



Spesimen sudut *chamfer* 60° Al 6061 dan St 41





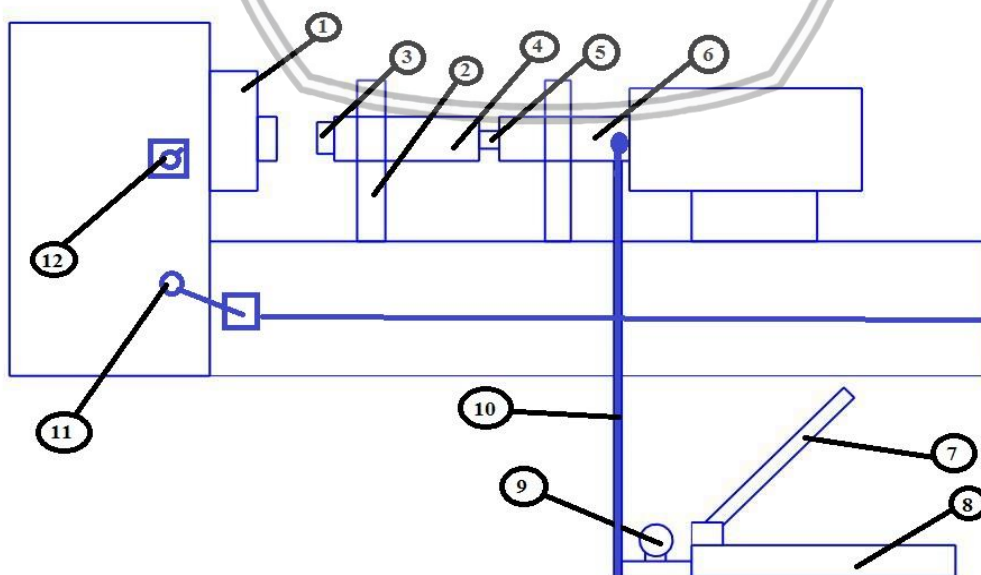
Gambar 3.8 Bentuk Dimensi Benda Kerja

Sumber : Dokumentasi Pribadi

Tabel 3.3 Jumlah Spesimen Las Gesek

No	Kombinsai Sudut Chamfer (x)	Jumlah Spesimen
1	0°	9
2	15°	9
3	30°	9
4	45°	9

### 3.4 Skema Alat Pengelasan Gesek



Gambar 3.11 Skema Pengelasan Gesek

Keterangan:

1. *Chuck* mesin bubut
2. Plat penyangga silinder
3. *Chuck* spesimen las
4. Silinder penghubung
5. Silinder penekan
6. Plat penyangga rumah silinder penekan
7. Tuas dongkrak hidrolik
8. Dongkrak hidrolik
9. *Pressure gauge*
10. Selang
11. Tuas *on/off*
12. Pengatur rpm

### 3.5 Prosedur Penelitian

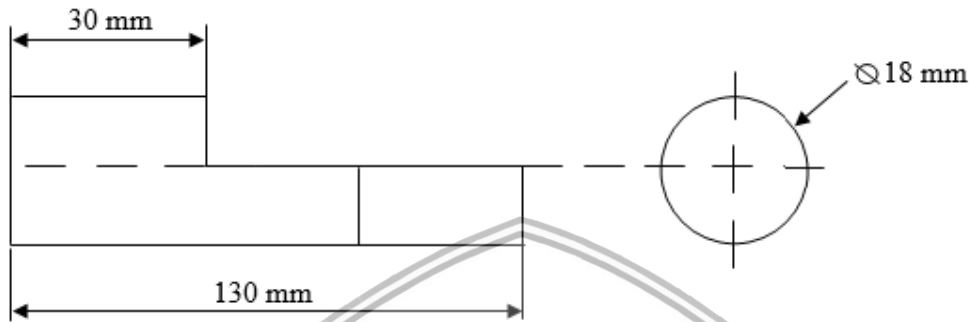
#### 3.5.1 Pengelasan Gesek

Proses pengelasan gesek dilakukan dengan menggunakan mesin bubut dengan langkah – langkah sebagai berikut :

- a. Membersihkan Spesimen dengan menggunakan aseton
- b. Memasang spesimen pada kedua *chuck*, spesimen yang memiliki sudut *chamfer* dipasang pada *chuck* bor.
- c. Mengatur jarak antar spesimen.
- d. Menyalakan *stopwatch* lalu mulai melakukan rekaman proses pengelasan
- e. Mesin bubut dinyalakan
- f. Putaran spindel awal pada 800 rpm selama 15 detik agar stabil, kemudian baru dinaikkan ke 1600 rpm.
- g. Lalu memberikan tekanan awal  $100 \text{ kg/m}^2$ .
- h. Mesin dimatikan setelah mencapai *burn of length* yang ditentukan.
- i. Kemudian holding dan memberikan gaya tekan akhir  $200 \text{ kg/m}^2$ .
- j. Pelepasan spesimen dilakukan ketika suhu spesimen sudah turun sampai  $40^\circ\text{C}$
- k. Pengecekan hasil lasan

### 3.5.2 Pengujian kekerasan

Sebelum melakukan uji kekerasan, spesimen dibentuk terlebih dahulu menjadi spesimen uji kekerasan yang sesuai dengan *standart*. Dalam hal ini *standart* yang digunakan adalah (JIS Z2201). (*Japan Industrial Standart*) dengan bentuk dan dimensi spesimen seperti ditunjukkan gambar 3.14.



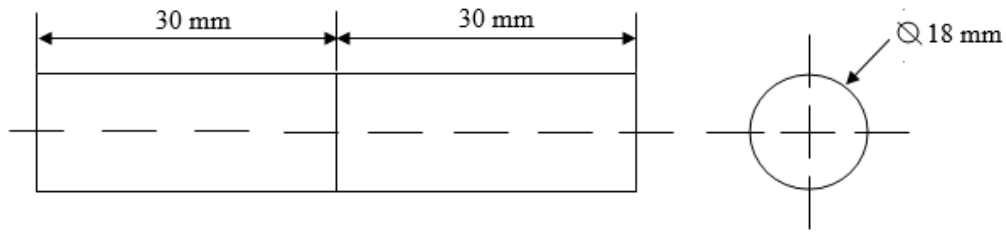
Gambar 3.12 Spesimen kekerasan

Prosedur pengujian kekerasan adalah sebagai berikut:

1. Siapkan alat dan bahan pengujian
2. Dilakukan *facing* pada spesimen
3. Ratakan permukaan spesimen dengan amplas sampai halus
4. Memilih indentor sesuai dengan skala kekerasan yang diinginkan.
5. Letakkan benda pada alat uji
6. Mengatur beban dan memberikan indentor yang sesuai dan memberikan beban sesuai dengan jenis logam yang diuji
7. Mengukir jejak indentor setelah beban dilepaskan
8. Menghitung nilai kekerasannya sesuai cara yang diinginkan
9. Menentukan kekerasan sesuai cara yang digunakan.
10. Pengolahan data.

### 3.5.3 Pengujian Porositas

Benda uji yang dihasilkan kemudian dilakukan pengujian porositas untuk mengetahui nilai porositas yang terdapat pada spesimen.



Gambar 3.13 Spesimen Porositas

Berikut langkah-langkah dari pengujian porositas.

1. Spesimen yang sudah dipotong sesuai bentuk dan dimensi dipotong
2. Alat-alat seperti timbangan digital, batang pemberat, tali kawat, *beaker glass* dan air disiapkan
3. Berat spesimen ditimbang dengan menggunakan timbangan digital dan hasilnya dicatat
4. Volume batang pemberat sebagai alat bantu uji densitas dan prositas dihitung
5. *Beaker glass* diisi dengan air dengan volume tertentu
6. Spesimen dimasukkan kedalam *beaker glass* kemudian batang pemberat ditaruh sampai seluruh permukaan spesimen tercelup kedalam air
7. Perubahan volume dicatat
8. Volume spesimen dicatat dan kemudian dihitung menggunakan rumus dimana rumus yang digunakan adalah  
Volume spesimen ( $\text{cm}^3$ ) = Volume spesimen pemberat ( $\text{cm}^3$ ) – Volume pemberat ( $1,57 \text{ cm}^3$ )
9. Densitas spesimen dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut

$$P_{\text{spesimen}} = \frac{\text{Massa spesimen}}{\text{Volume spesimen}} \quad (3)$$

### 3.6 Rancangan Penelitian

#### 3.6.1 Analisis Data

Pengujian ini meliputi uji kekerasan dan porositas pada material alumunium yang mengalami proses pengelasan gesek (*friction welding*) dengan variasi sudut chamfer dan gaya penekanan awal 300 kgf. Data yang didapatkan dicatat dan kemudian diolah dan dimasukkan kedalam tabel.

Tabel 3.1 Data Hasil Uji porositas

Tabel 3.2 Data Hasil Uji kekerasan

### 3.6.2 Analisa Grafik kekerasan

Dari data yang didapat hasil pengujian kekerasan kemudian dibuat grafik hubungan *friction time* dan sudut *chamfer* satu sisi terhadap kekerasan permukaan sambungan las.

Gambar 3.1 Grafik hubungan antara Burn of Length dengan Kekerasan pada spesimen dengan sudut chamfer  $0^\circ$

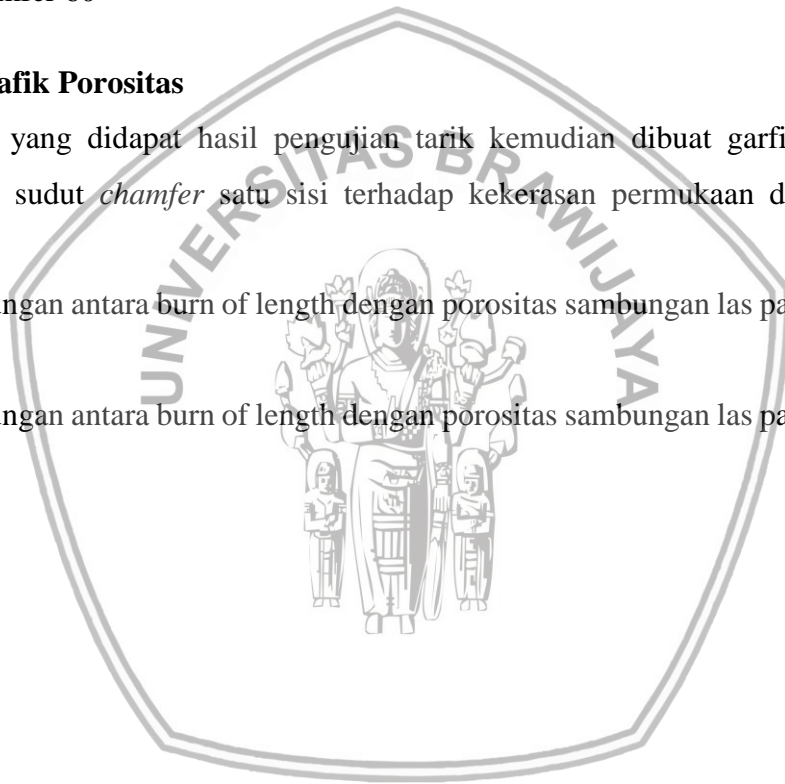
Gambar 3.2 Grafik hubungan antara Burn of Length dengan Kekerasan pada spesimen dengan sudut chamfer  $60^\circ$

### 3.6.3 Analisa Grafik Porositas

Dari data yang didapat hasil pengujian tarik kemudian dibuat grafik hubungan *friction time* dan sudut *chamfer* satu sisi terhadap kekerasan permukaan dan porositas sambungan las.

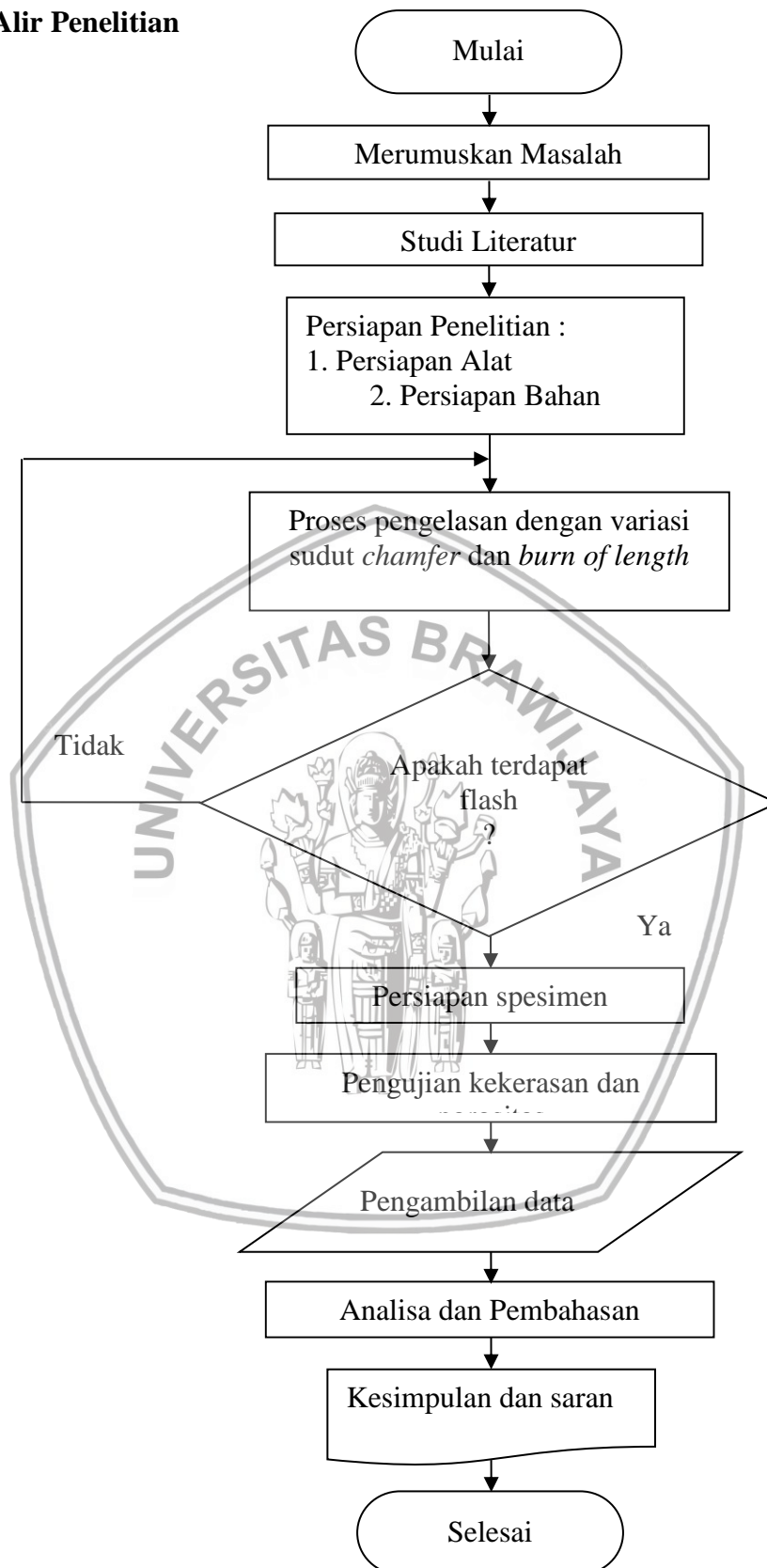
Gambar 3.3 Hubungan antara burn of length dengan porositas sambungan las pada spesimen dengan flash

Gambar 3.4 Hubungan antara burn of length dengan porositas sambungan las pada spesimen tanpa flash





## 3.7 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.14 Diagram Alir penelitian



## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Data Hasil Pengujian Porositas

Pengambilan data menggunakan uji piknometri setelah selesai proses pengelasan dan dibentuk spesimen uji piknometri dengan *flash* dan tanpa *flash*. Pada setiap variasi dilakukan tiga kali pengulangan dan diperoleh nilai rata-rata dari ketiga pengulangan tersebut. Dengan variasi yang digunakan sesuai dengan rancangan penelitian yaitu *Burn of Length* 10 mm, 15 mm dan 20 mm dengan sudut *chamfer* 0°, 30°, 45°, dan 60°. Hasil uji porositas disajikan pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Porositas dengan *Flash*

No	Sudut	BOL	Pengulangan	Porositas (%)	Porositas Rata-Rata (%)
1	0°	10	1	0.912	0.911
			2	0.909	
			3	0.912	
		15	1	0.898	0.91
			2	0.907	
			3	0.913	
		20	1	0.909	0.909
			2	0.92	
			3	0.898	
2	30°	10	1	0.902	0.91
			2	0.9	
			3	0.92	
		15	1	0.907	0.908
			2	0.885	
			3	0.923	
		20	1	0.909	0.907
			2	0.907	
			3	0.905	
3	45°	10	1	0.896	0.908
			2	0.901	
			3	0.9	
		15	1	0.902	0.905
			2	0.895	
			3	0.906	

4	60°	20	1	0.904	0.902
			2	0.936	
			3	0.831	
		10	1	0.906	0.905
			2	0.913	
			3	0.91	
		15	1	0.906	0.901
			2	0.911	
			3	0.907	
		20	1	0.913	0.899
			2	0.909	
			3	0.909	

Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Porositas tanpa *Flash*

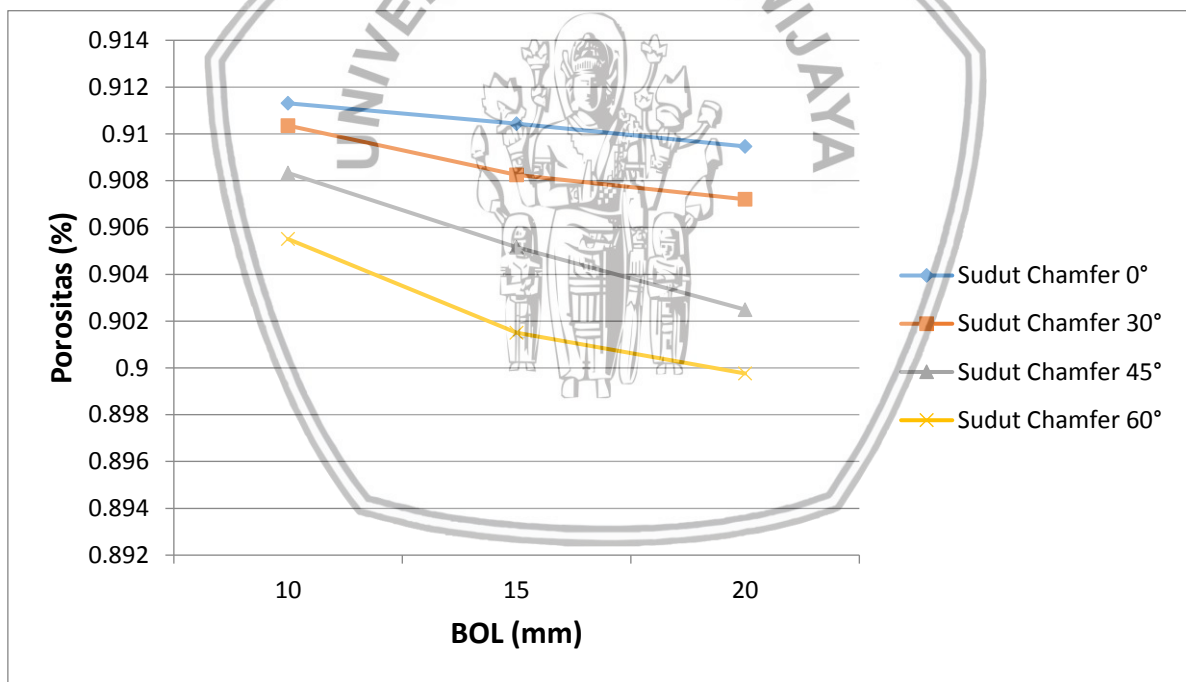
No	Sudut	BOL	Pengulangan	Porositas (%)	Porositas Rata-Rata (%)
1	0°	10	1	0.889	0.896
			2	0.891	
			3	0.896	
		15	1	0.892	0.895
			2	0.895	
			3	0.899	
		20	1	0.898	0.895
			2	0.894	
			3	0.894	
2	30°	10	1	0.885	0.894
			2	0.895	
			3	0.887	
		15	1	0.891	0.893
			2	0.883	
			3	0.888	
		20	1	0.889	0.892
			2	0.871	
			3	0.892	
3	45°	10	1	0.894	0.892
			2	0.89	
			3	0.89	
		15	1	0.891	0.891
			2	0.894	
			3	0.889	
		20	1	0.889	0.889
			2	0.89	
			3	0.888	
4	60°	10	1	0.897	0.889

		2	0.896	
		3	0.895	
	15	1	0.892	0.887
		2	0.893	
		3	0.893	
	20	1	0.897	0.884
		2	0.892	
		3	0.892	

## 4.2 Pembahasan

### 4.2.1 Hubungan antara *Burn of Length* dengan Porositas pada spesimen dengan *Flash*

Dari hasil perhitungan variasi *Burn of Length* pada pengelasan diperoleh besarnya porositas sambungan las gesek. Analisa perhitungan data tersebut disajikan pada grafik hubungan antara *Burn of Length* dengan porositas sambungan las gesek pada spesimen dengan *flash* berikut ini.



Gambar 4.1 Grafik Hubungan antara *Burn of Length* dengan porositas sambungan las pada spesimen dengan *flash*

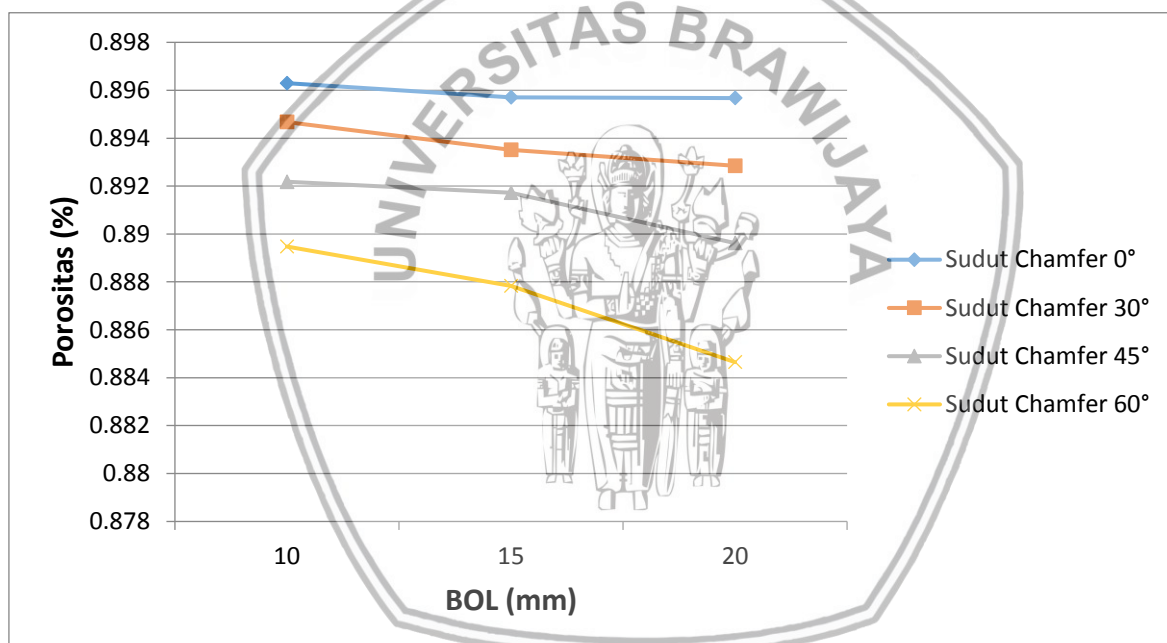
Pada gambar 4.1 Grafik Hubungan antara *burn of length* terhadap porositas sambungan las gesek pada spesimen dengan *flash* diatas dapat disimpulkan bahwa porositas terendah pada *burn of length* 20 mm dengan sudut *chamfer* 60° yaitu sebesar 0.899 % dan porositas tertinggi pada *burn of length* 10 mm dengan sudut 0° yaitu sebesar 0.911 % Hal ini menunjukkan bahwa variasi *burn of length* berpengaruh terhadap nilai porositas pada



sambungan las gesek Al6061-St41, semakin bertambahnya *burn of length* maka porositas semakin menurun. Hal ini disebabkan karena semakin besar *burn of length* akan menyebabkan semakin besarnya gaya tekan akhir, karena dengan semakin besar gaya tekan akhir akan menyebabkan semakin padat hasil sambungan las, yang mengakibatkan turunnya porositas pada sambungan las.

#### 4.2.2 Hubungan antara *burn of length* dengan porositas pada spesimen tanpa flash

Dari hasil perhitungan variasi *Burn of Length* pada pengelasan diperoleh besarnya porositas sambungan las gesek. Analisa perhitungan data tersebut disajikan pada grafik hubungan antara *Burn of Length* dengan porositas sambungan las gesek pada spesimen tanpa *flash* berikut ini.



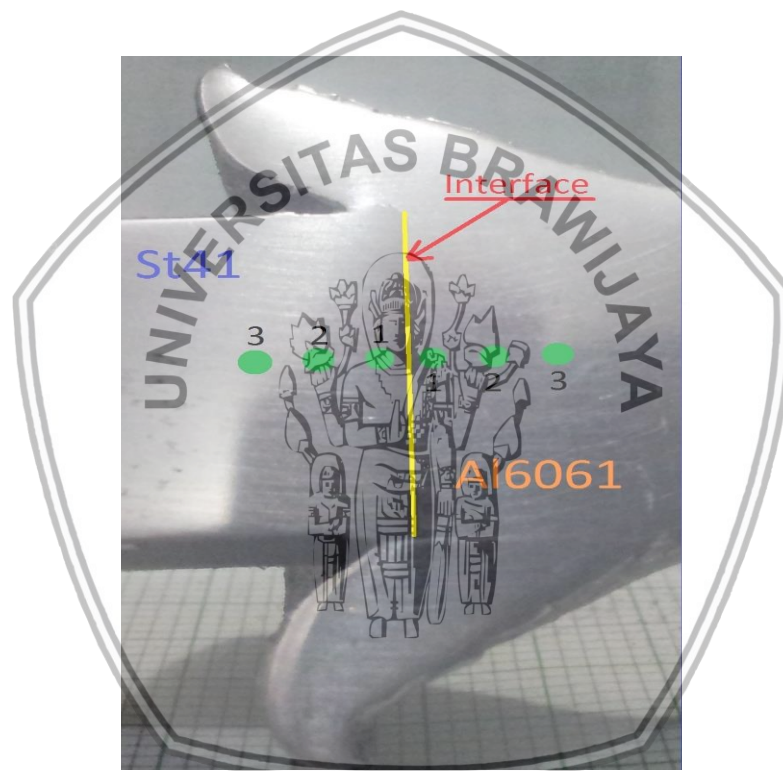
Gambar 4.2 Grafik Hubungan antara *burn of length* dengan porositas sambungan las pada spesimen tanpa flash

Pada gambar 4.2 Grafik Hubungan antara *burn of length* terhadap porositas sambungan las gesek pada spesimen tanpa flash diatas dapat disimpulkan bahwa porositas terendah pada *burn of length* 20 mm dengan sudut *chamfer* 60° yaitu sebesar 0.884 % dan porositas tertinggi pada *burn of length* 10 mm dengan sudut 0° yaitu sebesar 0.896 % Hal ini menunjukkan bahwa variasi *burn of length* berpengaruh terhadap nilai porositas pada sambungan las gesek Al 6061 dan St 41, semakin bertambahnya *burn of length* maka porositas semakin menurun. Hal ini disebabkan karena semakin besar *burn of length* akan menyebabkan semakin besarnya gaya tekan akhir, karena dengan semakin besar gaya tekan akhir akan

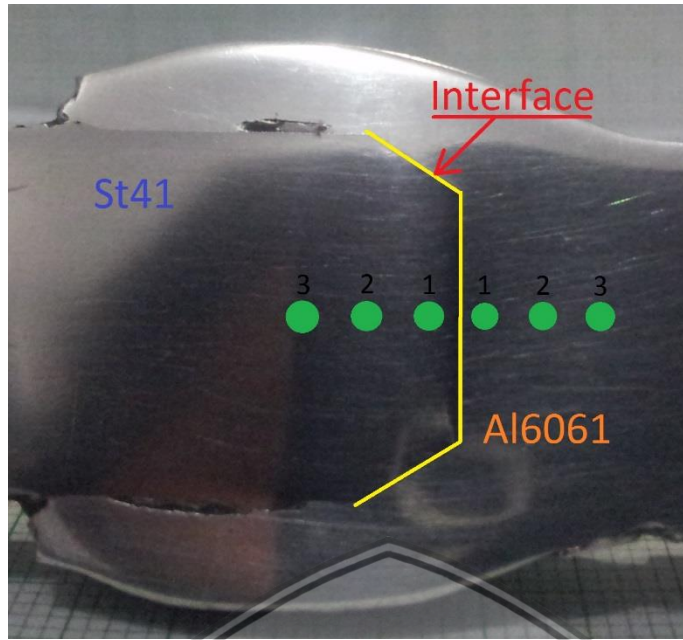
menyebabkan semakin padat hasil sambungan las, yang mengakibatkan turunnya porositas pada sambungan las.

#### 4.2.3 Hasil pengujian kekerasan

Pada hasil uji kekerasan diambil 6 titik dimana terdapat 3 titik pada bagian Al6061 dan 3 titik pada bagian St41. Titik 1 berjarak 0,1 mm dari interface, titik 2 berjarak 1,1 mm dari interface, dan titik 3 berjarak 2,1 mm dari interface. Berikut ini adalah gambar pengambilan titik pada spesimen dengan nilai kekerasan tertinggi dan terendah.



Gambar 4.3 Foto makrostruktur pada saat pengambilan titik hasil pengelasan gesek dengan kekerasan tertinggi pada sudut *chamfer*  $0^\circ$  Burn Of Length 10



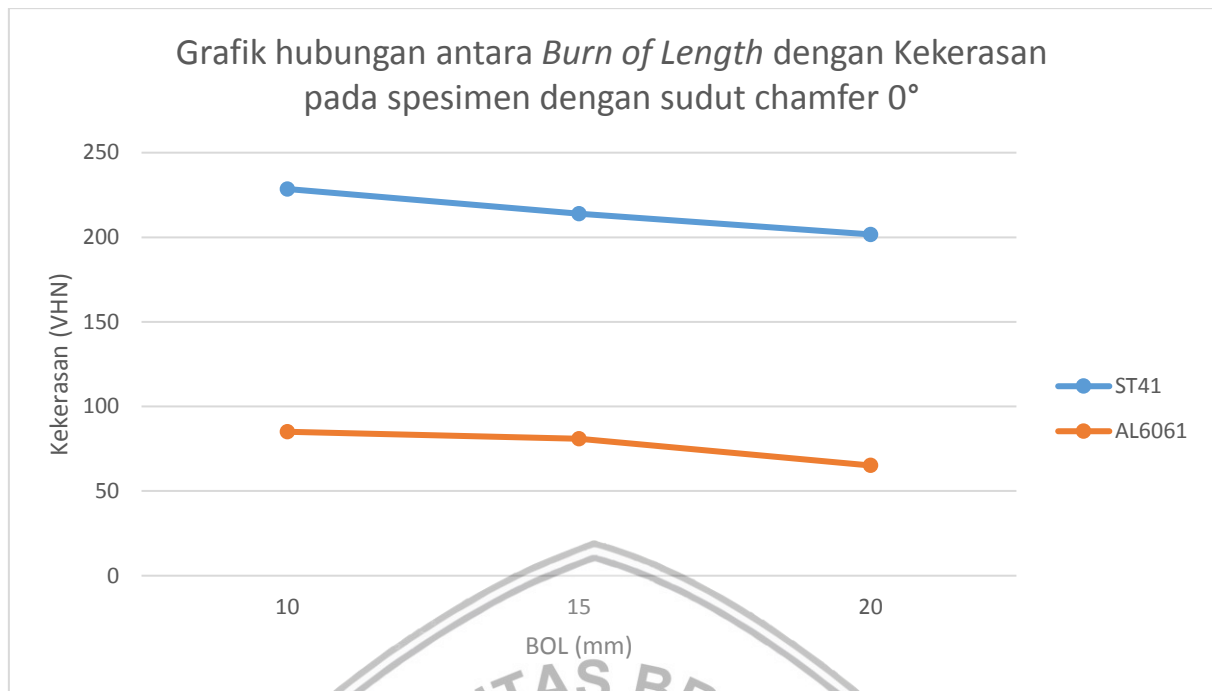
Gambar 4.4 Foto makrostruktur pada saat pengambilan titik hasil pengelasan gesek dengan kekerasan terendah pada sudut *chamfer* 60° Burn Of Length 20

Dari hasil pengujian kekerasan menggunakan Microvickers Hardness Tester (VHN) sudah dirata-rata dari ketiga titik pada St 41 dan Al 6061 dan didapat data seperti berikut:

Tabel 4.3 Data nilai kekerasan tertinggi dan terendah

Sudut	BOL (mm)	Kekeraan St41 (VHN)	Kekerasan Al6061 (VHN)
0°	10	228,53	85,06
	15	213,86	80,87
	20	201,7	65,13
60°	10	178,5	66,32
	15	135,6	50,15
	20	131,9	44,88



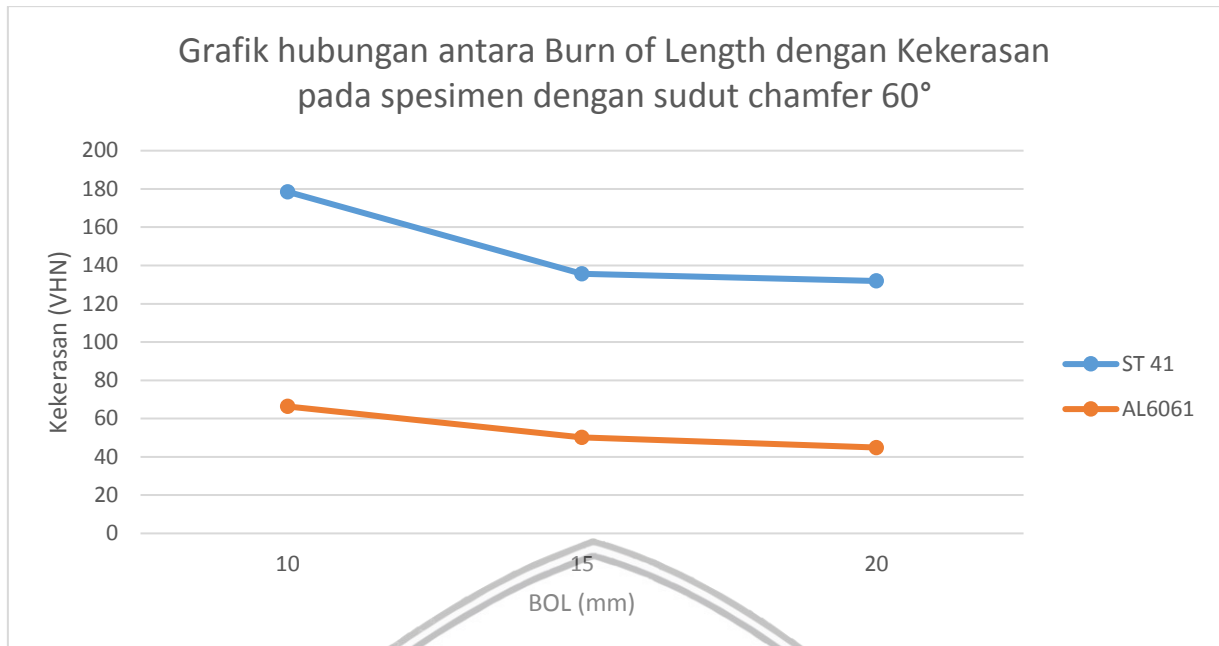


Gambar 4.5 Grafik hubungan antara *Burn of Length* dengan Kekerasan pada spesimen dengan sudut chamfer 0°

Pada gambar 4.5 Grafik Hubungan antara *burn of length* terhadap kekerasan sambungan las gesek pada spesimen dengan sudut 0° diatas dapat disimpulkan bahwa kekerasan St 41 tertinggi pada *burn of length* 10 mm yaitu sebesar 228,53 dan kekerasan St 41 terendah pada *burn of length* 20 mm yaitu sebesar 201,7. Sedangkan pada Al 6061 kekerasan tertinggi terdapat pada *burn of length* 10 mm yaitu sebesar 85,06 dan kekerasan terendah terdapat pada *burn of length* 20 mm yaitu sebesar 65,13. Hal ini menunjukkan bahwa variasi *burn of length* berpengaruh terhadap nilai kekerasan pada sambungan las gesek Al 6061 dan St 41, semakin bertambahnya *burn of length* maka kekerasan semakin menurun. Hal ini disebabkan karena semakin besar *burn of length* akan menyebabkan semakin besarnya heat input sehingga mengakibatkan struktur butir yang terbentuk semakin besar sehingga kekerasannya menurun.



Gambar 4.6 Hasil foto makrostruktur dengan nilai kekerasan tertinggi pada sudut *chamfer*  $0^\circ$  dan *burn off length* 10mm



Gambar 4.7 Grafik hubungan antara Burn of Length dengan Kekerasan pada spesimen dengan sudut chamfer 60°

Pada gambar 4.6 Grafik Hubungan antara *burn of length* terhadap kekerasan sambungan las gesek pada spesimen dengan sudut 60° diatas dapat disimpulkan bahwa kekerasan St 41 tertinggi pada *burn of length* 10 mm yaitu sebesar 178,5 dan kekerasan St 41 terendah pada *burn of length* 20 mm yaitu sebesar 131,9. Sedangkan pada Al 6061 kekerasan tertinggi terdapat pada *burn of length* 10 mm yaitu sebesar 66,32 dan kekerasan terendah terdapat pada *burn of length* 20 mm yaitu sebesar 65,13. Hal ini menunjukkan bahwa variasi *burn of length* berpengaruh terhadap nilai kekerasan pada sambungan las gesek Al 6061 dan St 41, semakin bertambahnya *burn of length* maka kekerasan semakin menurun. Hal ini disebabkan karena semakin besar *burn of length* akan menyebabkan semakin besarnya *heat input* sehingga mengakibatkan struktur butir yang terbentuk semakin besar sehingga kekerasannya menurun.

Sedangkan dari kedua grafik diatas dapat disimpulkan bahwa besar sudut *chamfer* mempengaruhi nilai kekerasan dari sambungan las gesek Al 6061 dan St 41, semakin bertambahnya sudut *chamfer* maka kekerasan semakin menurun. Hal ini disebabkan semakin besar sudut *chamfer* akan menyebabkan semakin besar *heat input* sehingga mengakibatkan struktur butir yang terbentuk semakin besar sehingga kekerasannya menurun.



Gambar 4.8 Hasil foto makrostruktur dengan nilai kekuatan tarik tertinggi pada sudut *chamfer* 60° dan *burn off length* 10mm

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa sudut chamfer dan burn of length pada proses pengelasan gesek AL 6061 dan St 41 berpengaruh terhadap kekerasan permukaan dan porositas pada hasil sambungan las gesek. Dimana semakin besar sudut chamfer maka nilai kekerasan yang terbentuk semakin kecil dan nilai porositas yang terbentuk juga semakin kecil. Kemudian semakin besar *burn of length* maka nilai kekerasan yang terbentuk semakin kecil dan nilai porositas yang terbentuk juga semakin kecil.

### 5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dalam penggunaan sudut *chamfer* satu sisi pada pengelasan gesek Al 6061 dan St 41.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang penggunaan bahan material yang bervariasi terhadap kekuatan tarik sambungan las gesek Al 6061 dan St 41.
3. Dibutuhkan mesin pengelasan gesek yang lebih canggih agar pada proses *centering* lebih akurat sehingga data dan nilai hasil pengelasan gesek semakin efektif dan efisien.

## DAFTAR PUSTAKA

- ASM Handbook, 2011. *Mechanical Testing*, Volume 8.
- ASM Handbook, 2006. *Surface Engineering*, Volume 5.
- Blake, G. R. 2006. *Particle density*. p. 377-382. In *Methods of Soil Analysis, Part 1*. Second ed. Agron. 9 Am. Soc. of Agron., Madison, WI.
- Dieter, 2007. *Manufacturing Processes for Engineering Materials*, Fourth edition Pearson Prentice Hall International.
- Djaprie, Sriati. 2003. *Ilmu dan Teknologi Bahan*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Purnomo, Hery. 2008. *Pengaruh Sudur Chamfer terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Las Gesek pada Paduan Al-Mg-Si*, (Pembimbing: Yudy Surya Irawan, Dr.Eng.), Malang: Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
- Saba, A. 2007. *Pengaruh Variasi Temperatur Tinggi Terhadap Kuat Tekan Beton*, Tugas Akhir, Fakultas Teknik Universitas Udayana, Denpasar.
- Santoso, Eko B., Irawan, Y.S., Sutikno, E., 2012, *Pengaruh Sudut Chamfer dan Gaya Tekan Akhir Terhadap Kekuatan Tarik dan Porositas Sambungan Las Gesek Al-Mg-Si*, *Jurnal Rekayasa Mesin.*, Vol.3, No. 1, 293-298.
- Simamora Efendi, 2011. *Analisa pengaruh tekanan tempa dengan metode direct drive friction welding terhadap struktur mikro dan sifat mekanik baja St 41 sebagai alternative pengganti proses produksi as roda sepeda motor*. D3 Teknik Mesin, FTI, ITS, Surabaya.
- Surdia, dan Kenji. 2004. *Teknik Pengecoran Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Surya Irawan, Yudy, 2009. *Pengaruh Sudut Chamfer Terhadap Kekuatan Tarik, Impak dan Distribusi Kekerasan Sambungan Las Gesek Alumunium Paduan A6061*. Fakultas Teknik, UB. Malang.
- Suratman, Ari. 2001. *Teknik Pengelasan Logam*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Tjitro, dan Firdaus. 2000. *Pengecoran Squeeze*. Surabaya: Jurnal Teknik Mesin Vol.3 UK Petra hal. 109-113.
- Voort, Serope, 2000. *What Industry Needs to Know about Friction Welding Journal*, march, p. 37-42.
- Wahyu Nugroho, 2010. *Pengaruh durasi gesek, tekanan gesek dan tekanan tempa terhadap kekuatan sambungan las gesek langsung pada baja karbon aisi 1045*, Teknik Mesin, FTI, ITS, Surabaya.
- Wirjosumarto, H dan Okumura, T., 1981. *Teknologi pengelasan logam*, PT. Pradnya Paramita. Jakarta.