

repository.ub.ac.id

**PENGARUH VARIASI SUDUT *CHAMFER* SATU SISI DAN  
*FRICTION TIME* TERHADAP KEKUATAN PUNTIR DENGAN  
GAYA TEKAN AKHIR 7,5 kN PADA *FRICTION WELDING* Al-Mg-Si**

**SKRIPSI**  
**TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**RIFYAL FAUZAN**  
**NIM. 115060207111012**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**MALANG**

**2016**



## LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH VARIASI SUDUT *CHAMFER* SATU SISI DAN  
*FRICTION TIME* TERHADAP KEKUATAN PUNTIR DENGAN  
GAYA TEKAN AKHIR 7,5 kN PADA *FRICTION WELDING* Al-Mg-Si**

## SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI PRODUKSI

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**RIFYAL FAUZAN  
NIM. 115060207111012**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
pada tanggal 01 Februari 2016

Dosen Pembimbing I

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

Dosen Pembimbing II

Ir. Erwin Sulistyono, MT.  
NIP. 19661213 199802 1 001



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

## JUDUL SKRIPSI

Pengaruh Variasi Sudut *Chamfer* Satu Sisi dan *Friction Time* terhadap Kekuatan Puntir dengan Gaya Tekan Akhir 7,5 kN pada *Friction Welding* Al-Mg-Si.

Nama Mahasiswa : Rifyal Fauzan  
NIM : 115060207111012  
Program Studi : Teknik Mesin  
Minat : Produksi

## KOMISI PEMBIMBING :

Pembimbing 1 : Dr. Eng. Yudy Surya Irawan, ST., M. Eng.  
Pembimbing 2 : Ir. Erwin Sulistyono, MT.

## TIM DOSEN PENGUJI :

Dosen Penguji 1 : Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT  
Dosen Penguji 2 : Dr. Eng. Denny Widhiyanuriyawan, ST., MT.  
Dosen Penguji 3 : Rudianto Raharjo, ST., MT.

Tanggal Ujian : 12 Januari 2016  
SK Penguji : 64/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 di 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 di tulis 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, 4 Januari 2016

Mahasiswa,



Rifyal Fauzan

NIM. 115060207111012

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena dengan rahmat dan ijin-Nya lah penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Adapun judul dari skripsi penulis adalah “Pengaruh Variasi Sudut *Chamfer* Satu Sisi dan *Friction Time* terhadap Kekuatan Puntir dengan Gaya Tekan Akhir 7,5 kN pada *Friction Welding* Al-Mg-Si”, disusun untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.

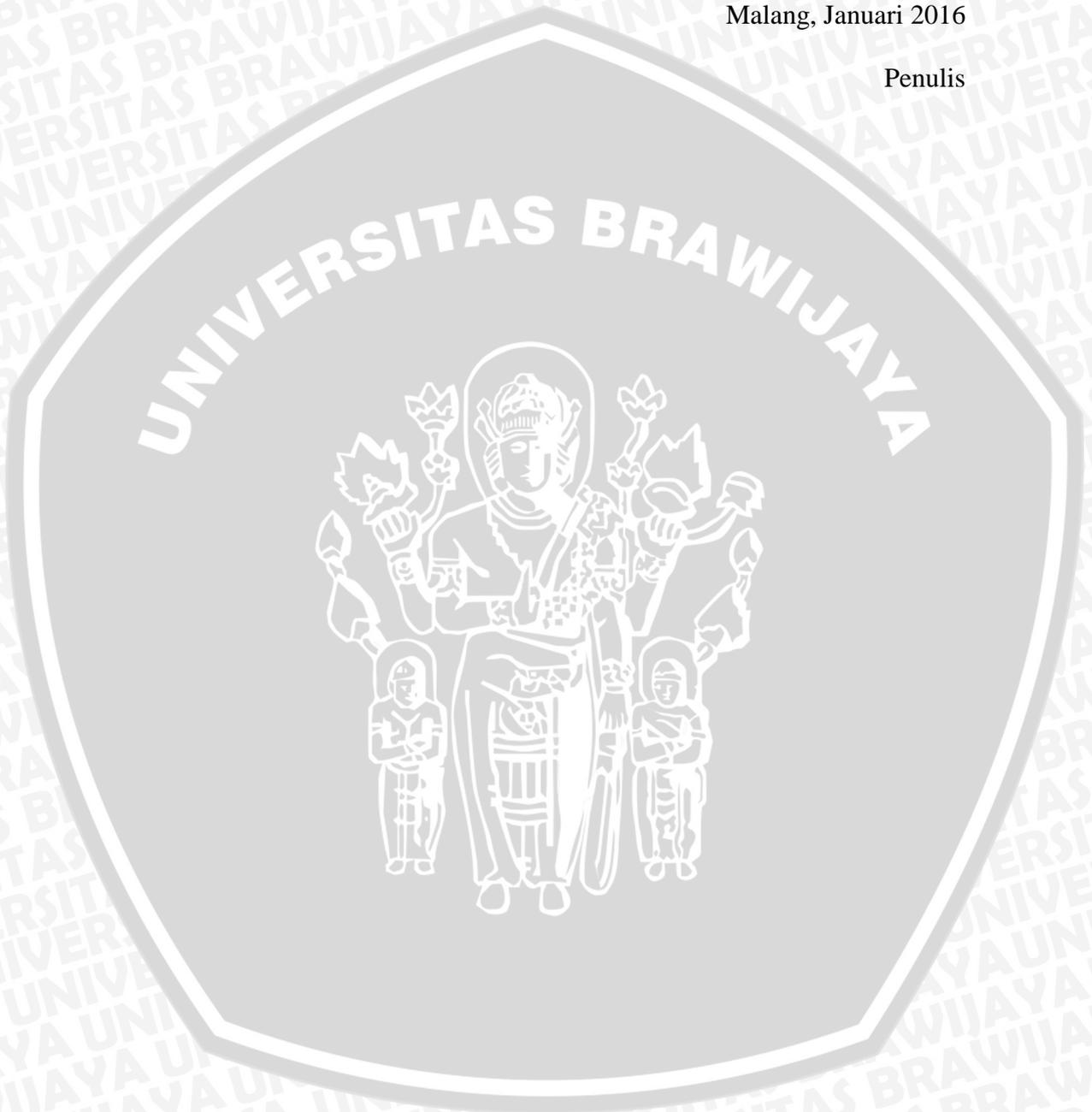
Penulis menyadari bahwa penyusunan dari skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan ketulusan dan kerendahan hati penulis menyampaikan terima kasih kepada :

- Bapak H. Djunaedi dan Ibu Euis Nasifah selaku orang tua penulis yang selalu memberikan dukungan baik materi maupun moril, dan tidak bosan-bosannya selalu mendoakan agar kelancaran penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.
- Bapak Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
- Bapak Purnami, ST., MT. selaku Sekertaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
- Ibu Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT. selaku Kepala Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
- Bapak Dr. Eng. Denny Widhiyanuriyawan, ST., MT. Selaku Dosen Penasehat Akademik atas segala nasehat dan arahan yang telah diberikan.
- Bapak Dr. Eng. Yudy Surya Irawan, ST., M.Eng. selaku dosen pembimbing pertama atas segala bimbingan, nasehat, arahan, motivasi, dan saran yang telah diberikan.
- Bapak Ir. Erwin Sulisty, MT. selaku dosen pembimbing kedua atas segala bimbingan, nasehat, arahan, motivasi, dan saran yang telah diberikan.
- Teh Ana, A’Irsyad, A’Pipi, dan Nida selaku Kakak dan Adik penulis atas dukungannya dalam penulisan skripsi ini.
- Rekan dalam pengerjaan skripsi ini, Aulia, Arifin, Baskara, Adib, dan Yudi sebagai teman tukar pendapat, dan telah banyak membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.
- Teman-teman Teknik Mesin Brawijaya terutama teman-teman angkatan 2011 (kaM11kaze), atas segala dukungan dan solidaritasnya.
- Teman-Teman Asisten Laboratorium Metrologi Industri atas dukungan dan masukan dalam penyelesaian skripsi ini.

Pada akhirnya, penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kata sempurna. Penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu dan teknologi.

Malang, Januari 2016

Penulis



## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	vii
<b>RINGKASAN</b> .....	viii
<b>SUMMARY</b> .....	ix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Penelitian Sebelumnya .....	5
2.2 Pengertian Aluminium .....	5
2.2.1 Sifat Mampu Las Aluminium .....	8
2.3 Pengetian dan Klasifikasi Pengelasan .....	9
2.4 Pengelasan Gesek ( <i>Fiction Welding</i> ) .....	10
2.4.1 <i>Continuous Drive Friction Welding</i> .....	11
2.5 Kelebihan <i>Friction Welding</i> .....	13
2.6 Pengujian Puntir .....	13
2.7 Kegunaan Las Gesek .....	15
2.8 Energi pada Proses <i>Friction Welding</i> .....	16
2.9 Daerah <i>Heat Affected Zone</i> (HAZ) .....	18
2.10 Pengujian Kekerasan .....	19
2.11 Hipotesis .....	21
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	23
3.1 Variabel Penelitian .....	23
3.1.1 Variabel Bebas .....	23
3.1.2 Variabel Terikat .....	23
3.1.3 Variabel Kontrol .....	23
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian .....	24
3.3 Alat dan Bahan yang Digunakan .....	24
3.3.1 Alat yang Digunakan .....	24
3.3.2 Bahan yang Digunakan .....	27
3.4 Skema Alat Pengelasan Gesek .....	28
3.5 Prosedur Penelitian .....	29
3.5.1 Pengelasan Gesek .....	29
3.5.2 Pengujian Kekuatan Puntir .....	30
3.5.3 Pengujian Kekerasan .....	31

3.6	Diagram Alir Penelitian .....	32
-----	-------------------------------	----

**BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....** 33

4.1	Data Hasil Pengujian Puntir .....	33
4.2	Pembahasan.....	34
4.2.1	Hubungan <i>Friction Time</i> dengan Kekuatan Puntir Rata-Rata pada Sudut <i>Chamfer</i> 0 Derajat .....	34
4.2.2	Hubungan <i>Friction Time</i> dengan Kekuatan Puntir Rata-Rata pada Sudut <i>Chamfer</i> 11,5 Derajat .....	34
4.2.3	Hubungan <i>Friction Time</i> dengan Kekuatan Puntir Rata-Rata pada Sudut <i>Chamfer</i> 15 Derajat .....	35
4.2.4	Hubungan <i>Friction Time</i> dengan Kekuatan Puntir Rata-Rata pada Sudut <i>Chamfer</i> 30 Derajat .....	36
4.2.5	Hubungan <i>Friction Time</i> dengan Kekuatan Puntir Rata-Rata pada Sudut <i>Chamfer</i> .....	38
4.2.6	Analisis Suhu pada Proses Pengelasan .....	39
4.2.7	Analisis Luasan Daerah Hasil Pengelasan.....	39
4.2.8	Hasil Pengujian Kekerasan pada Daerah Pengelasan.....	41

**BAB V PENUTUP .....** 43

5.1	Kesimpulan .....	43
5.2	Saran.....	43

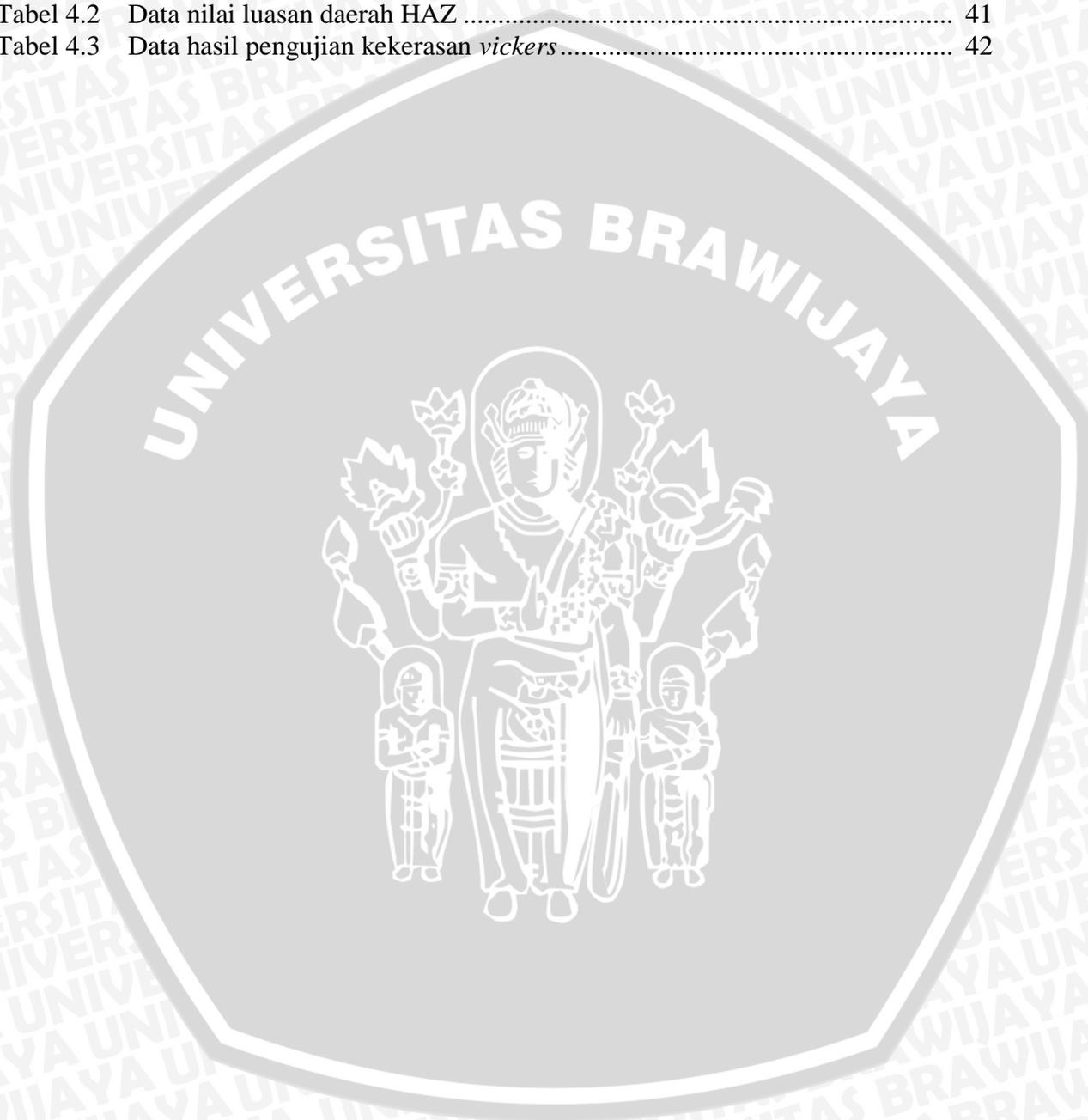
DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



## DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Persentase komposisi kimia berdasarkan berat paduan Al-Mg-Si .....	6
Tabel 2.2	Klasifikasi paduan aluminium .....	7
Tabel 4.1	Data nilai momen puntir .....	33
Tabel 4.2	Data nilai luasan daerah HAZ .....	41
Tabel 4.3	Data hasil pengujian kekerasan <i>vickers</i> .....	42

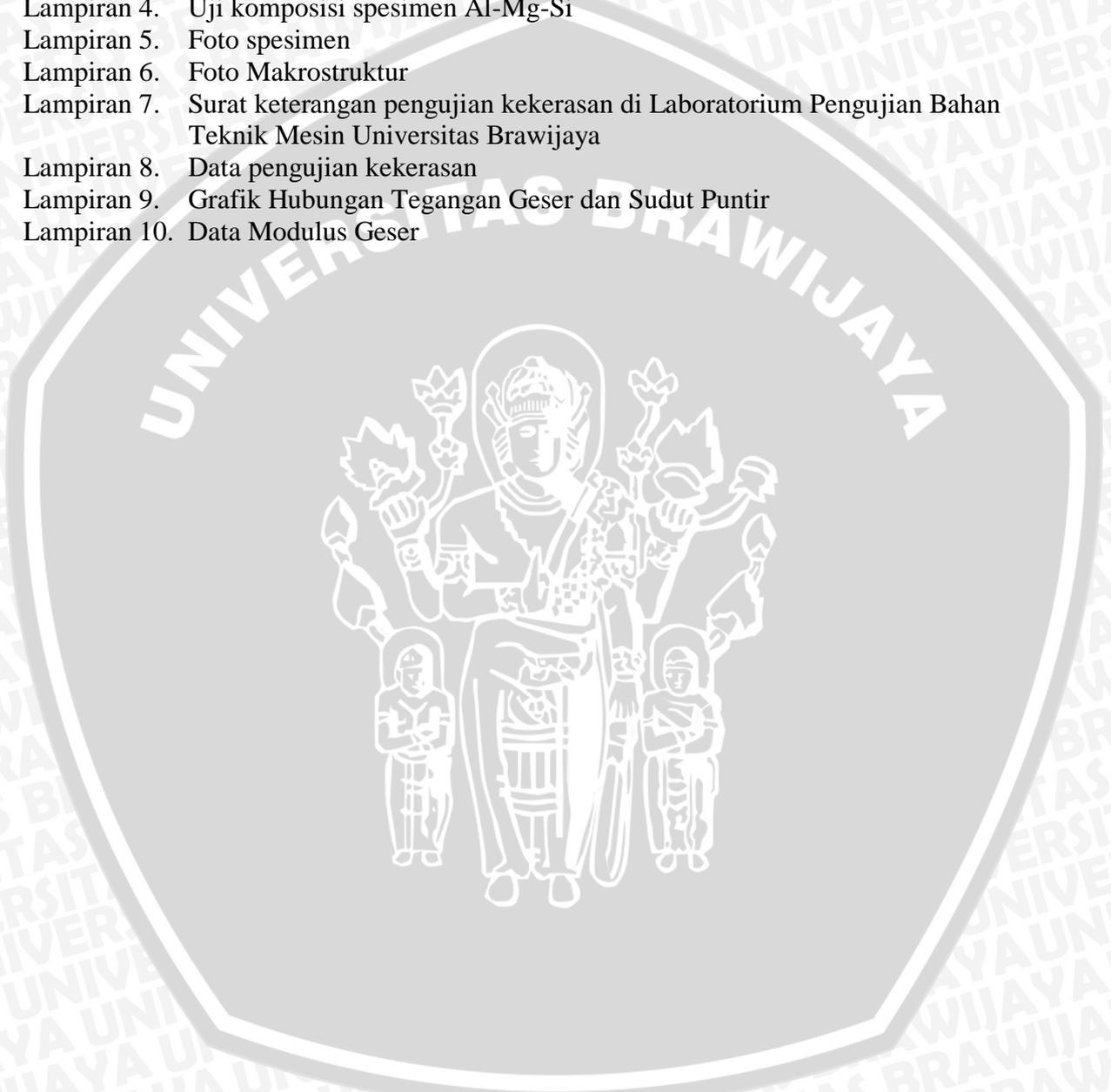


## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Diagram fase Pseudo-Binary untuk paduan Al-Mg-Si.....	6
Gambar 2.2	Klasifikasi cara pengelasan.....	10
Gambar 2.3	<i>Continuous Drive Friction Welding</i> .....	11
Gambar 2.4	Parameter <i>friction welding</i> .....	12
Gambar 2.5	Pengujian puntir pada benda uji silinder .....	14
Gambar 2.6	Diagram momen puntir.....	15
Gambar 2.7	Pengaplikasian las gesek pada paduan Al-Mg-Si.....	16
Gambar 2.8	<i>Friction surface</i> .....	17
Gambar 2.9	Ilustrasi perbedaan Luas pada HAZ .....	19
Gambar 2.10	Indentor piramid intan pada metode <i>microvickers</i> .....	20
Gambar 3.1	<i>Stopwatch</i> .....	24
Gambar 3.2	<i>Vernier caliper</i> .....	25
Gambar 3.3	Alat Uji Puntir.....	25
Gambar 3.4	Alat pengelasan gesek.....	26
Gambar 3.5	Kamera.....	27
Gambar 3.6	Paduan Al-Mg-Si .....	27
Gambar 3.7	Dimensi spesimen pengelasan .....	28
Gambar 3.8	Skema alat pengelasan gesek.....	28
Gambar 3.9	Parameter pengelasan .....	30
Gambar 3.10	Dimensi spesimen uji puntir .....	30
Gambar 3.11	Diagram alir penelitian .....	33
Gambar 4.1	Grafik hubungan <i>friction time</i> dengan kekuatan puntir rata-rata pada sudut <i>chamfer</i> 0 derajat.....	34
Gambar 4.2	Grafik hubungan <i>friction time</i> dengan kekuatan puntir rata-rata pada sudut <i>chamfer</i> 11,5 derajat.....	35
Gambar 4.3	Grafik hubungan <i>friction time</i> dengan kekuatan puntir rata-rata pada sudut <i>chamfer</i> 15 derajat.....	36
Gambar 4.4	Grafik hubungan <i>friction time</i> dengan kekuatan puntir rata-rata pada sudut <i>chamfer</i> 30 derajat.....	37
Gambar 4.5	Grafik hubungan <i>friction time</i> dengan kekuatan puntir rata-rata pada sudut <i>chamfer</i> .....	38
Gambar 4.6	Grafik distribusi suhu pada proses pengelasan.....	39
Gambar 4.7	Foto makrostruktur spesimen dengan sudut <i>chamfer</i> 11,5° dan <i>friction time</i> 55 detik .....	40
Gambar 4.8	Foto makrostruktur spesimen dengan sudut <i>chamfer</i> 0° dan <i>friction time</i> 55 detik .....	40
Gambar 4.9	Foto makrostruktur uji kekerasan spesimen dengan sudut <i>chamfer</i> 11,5° dan <i>friction time</i> 55 detik.....	41
Gambar 4.10	Foto makrostruktur uji kekerasan spesimen dengan sudut <i>chamfer</i> 0° dan <i>friction time</i> 55 detik.....	42

**DAFTAR LAMPIRAN**

No.	Judul
Lampiran 1.	Standar AWS untuk spesimen uji
Lampiran 2.	Surat keterangan pengujian puntir di Laboratorium Pengujian Bahan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang
Lampiran 3.	Data pembebanan pengujian puntir
Lampiran 4.	Uji komposisi spesimen Al-Mg-Si
Lampiran 5.	Foto spesimen
Lampiran 6.	Foto Makrostruktur
Lampiran 7.	Surat keterangan pengujian kekerasan di Laboratorium Pengujian Bahan Teknik Mesin Universitas Brawijaya
Lampiran 8.	Data pengujian kekerasan
Lampiran 9.	Grafik Hubungan Tegangan Geser dan Sudut Puntir
Lampiran 10.	Data Modulus Geser



## RINGKASAN

**Rifyal Fauzan**, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2016, *Pengaruh Variasi Sudut Chamfer Satu Sisi dan Friction Time terhadap Kekuatan Puntir dengan Gaya Tekan Akhir 7,5 kN pada Friction Welding Al-Mg-Si*, Dosen Pembimbing : Yudy Surya Irawan dan Erwin Sulistyono.

*Friction welding* (pengelasan gesek) merupakan salah satu metode untuk menyambungkan dua buah aluminium. Penggunaan metode ini bertujuan untuk memaksimalkan daya guna aluminium yang banyak digunakan dalam kehidupan manusia, diantaranya peralatan rumah tangga sampai transportasi canggih seperti pesawat terbang. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui kekuatan puntir terbesar dari sambungan las gesek. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah paduan Al-Mg-Si.

Pada penelitian ini dilakukan beberapa pengujian untuk mendapatkan hasil yang sesuai. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini yaitu pengujian puntir, foto makrostruktur, dan kekerasan. Tujuan pengujian foto makrostruktur untuk mengetahui luasan daerah HAZ (*Heat Affected Zone*).

Dengan menggunakan variasi sudut *chamfer* satu sisi dan *friction time*. Sudut *chamfer* yang digunakan adalah  $0^\circ$ ,  $11,5^\circ$ ,  $15^\circ$ , dan  $30^\circ$ . Dan untuk *friction time* yang digunakan adalah 45 detik, 50 detik, dan 55 detik. Dari penelitian ini didapatkan hasil kekuatan puntir tertinggi sebesar 155,95 MPa pada variasi sudut *chamfer*  $11,5^\circ$  dan *friction time* 55 detik. Sedangkan kekuatan puntir terendah pada variasi sudut *chamfer*  $0^\circ$  dan *friction time* 55 detik dengan nilai sebesar 73,98 MPa. Untuk luasan daerah HAZ spesimen dengan variasi sudut *chamfer*  $0^\circ$  dan *friction time* 55 detik memiliki luasan daerah HAZ yang lebih besar dibanding spesimen dengan variasi sudut *chamfer*  $11,5^\circ$  dan *friction time* 55 detik.

Kata kunci: *friction welding*, Al-Mg-Si, *friction time*, sudut *chamfer*, kekuatan puntir.

## SUMMARY

**Rifyal Fauzan**, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, in January 2016, *Effects of Angle variation on One Side Chamfer and Friction Time to Torsional Strength with Upset Force 7.5 kN on Al-Mg-Si Friction Welding*, Supervisor: Yudy Surya Irawan and Erwin Sulisty.

Friction welding is one of the methods to connect two pieces of aluminum. This method aims to maximize the efficiency of aluminum used in human life, including home appliances until sophisticated transportation like airplanes. The purpose of this research is to determine the greatest torsional strength of friction welded joints. Materials used in this research are Al-Mg-Si alloys.

In this research, some testing was done for several times to get appropriate results. Tests conducted in this research are torsional strength, macrostructure photos, and hardness test. Macrostructure photos were done to determine the extent of HAZ (Heat Affected Zone) area.

The angle of Chamfer that are used in this research are  $0^\circ$ ,  $11.5^\circ$ ,  $15^\circ$  and  $30^\circ$ . For friction time variation, the friction times that are used in this research are 45 seconds, 50 seconds, and 55 seconds. From this research, the highest torsional strength that can be obtained was 155.95 MPa with  $11.5^\circ$  chamfer angle and friction time is 55 seconds. While the lowest torsional strength at  $0^\circ$  chamfer angle and friction time is 55 seconds with a value of 73.98 MPa. For HAZ area, specimens with chamfer angle  $0^\circ$  and friction time 55 seconds have a larger HAZ area than the specimens with a variation of  $11.5^\circ$  chamfer angle and the friction time are 55 seconds.

*Keywords:* friction welding, Al-Mg-Si, friction time, chamfer angle, torsional strength.



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Di zaman yang modern ini, ilmu pengetahuan dan teknologi yang berhubungan dengan dunia industri sudah semakin berkembang pesat. Hal tersebut, seiring dengan kebutuhan manusia akan benda yang dapat membantu kehidupan manusia. Salah satunya di bidang industri yang mulai banyak mempertimbangkan penggunaan alumunium sebagai bahan dasar dalam proses produksi suatu benda.

Penggunaan alumunium sebagai bahan dasar dikarenakan logam ini mempunyai beberapa kelebihan, seperti memiliki kekuatan terhadap beban yang tinggi, tahan terhadap korosi, mempunyai beban yang ringan, sebagai konduktor panas dan listrik yang sangat baik, dan mudah dalam proses pembentukan. Penggunaan alumunium dalam dunia industri banyak digunakan, mulai dari industri peralatan rumah tangga, industri kelistrikan industri konstruksi bangunan, hingga industri perkapalan dan pesawat terbang.

Pada tahun 1809, Sir Humphrey Davi menemukan alumunium sebagai unsur, kemudian pada tahun 1825 unsur alumunium tersebut telah direduksikan menjadi sebuah logam alumunium oleh H.C. Oested. Alumunium merupakan logam ringan yang mempunyai beberapa kelebihan dibanding dengan logam besi maupun baja, tetapi logam alumunium memang masih di bawah logam besi maupun baja dalam hal kekuatan dan modulus elastisitasnya (Surdia, 1999 : 129).

Berbagai macam proses dilakukan untuk menambah daya guna dari alumunium sehingga penggunaan alumunium di bidang industri semakin berkembang. Salah satunya adalah proses penyambungan atau pengelasan. Akan tetapi, proses penyambungan dengan pengelasan pada alumunium masih ditemukan beberapa masalah. Hal ini disebabkan karena alumunium memiliki sifat penghantar panas yang baik sehingga sulit terjadi pemanasan pada daerah pengelasan dengan menggunakan metode pengelasan yang sudah umum seperti las busur atau las gas. Oleh karena itu dikembangkanlah sebuah metode yang diberi nama dengan pengelasan gesek (*friction welding*) yang merupakan salah satu metode penyambungan material dengan memanfaatkan panas yang dihasilkan dari gesekan antara permukaan dua buah material itu sendiri yang akan disambung (Prasetyono, 2012).

Pengelasan gesek (*friction welding*) merupakan proses penyambungan dua buah benda kerja di mana salah satu benda kerja memberikan gaya tekan terhadap benda kerja yang berputar. Gesekan yang dihasilkan oleh kedua benda kerja tersebut menghasilkan panas yang dapat melumerkan kedua ujung permukaan benda kerja tersebut yang akhirnya terjadi proses penyambungan.

Ada beberapa keuntungan pengelasan gesek (*friction welding*) dibandingkan dengan proses pengelasan lainnya seperti, tidak memerlukan pengisi elektroda ataupun gas dalam proses pengelasannya, tidak ada percikan api las dan asap yang dihasilkan, tidak menghasilkan gas dan sampah, tidak memerlukan fluks/selaput las, dapat menyambungkan dua logam yang berbeda (*dissimilar*) sehingga dapat mengurangi biaya dalam aplikasi pengelasan logam yang berbeda, dapat menyambung material berbentuk bulat ataupun tidak bulat dan kekuatan yang dihasilkan pada sambungan las yang hampir sama dengan kekuatan logam induknya.

Dalam pengelasan gesek ini mempunyai variasi untuk diteliti. Berikut ini adalah beberapa penelitian yang sudah dilakukan terhadap metode pengelasan gesek yaitu antara lain :

Sahin (2010), dalam penelitiannya "*Modelling of Friction Welding*". Pada penelitiannya metode yang dipakai dalam pengelasannya adalah metode pengelasan gesek. Metode tersebut telah tersebar luas pada tahun 1950. Keuntungan dalam menggunakan metode pengelasan gesek ini adalah mudah dalam pengaplikasian dan hemat dalam penggunaan bahan dan energi. Dalam studi ini, hubungan antara energi mekanik dan energi panas dilakukan secara matematis. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa metode yang paling cocok untuk kondisi waktu, materi dan energi yang berpikir tentang masa depan adalah metode pengelasan gesek.

Santoso dkk (2012), dalam penelitiannya "Pengaruh sudut *chamfer* dan gaya tekan akhir terhadap kekuatan tarik sambungan las gesek pada paduan aluminium Al-Mg-Si". Dapat disimpulkan bahwa hasil kekuatan tarik akan meningkat seiring dengan semakin kecilnya sudut *chamfer* dan semakin besar gaya tekan akhir. Kekuatan tarik tertinggi terdapat pada sudut 15° dan gaya tekan akhir 213 kgf dengan nilai kekuatan tarik sebesar 140,45 Mpa.

Irawan dkk (2012), dalam penelitiannya "*Tensile strength of weld joint produced by spinning friction welding of round aluminium A6061 with various chamfer angles*". Dari hasil penelitiannya didapatkan bahwa kekuatan tarik material aluminium paduan Al-Mg-Si dengan variasi sudut 15°, 30°, 45°, 60°, dan 75° dengan gaya penekanan selama 2 menit

didapat nilai kekuatan tarik terbesar pada sudut  $30^\circ$  dan hasil mikrostruktur kekuatan tertinggi pada spesimen ini disebabkan oleh luas maksimum zona plastis, porositas minimum dan luas minimum zona yang terkena dampak panas.

Dari beberapa penelitian yang dilakukan, masih belum diketahui kekuatan puntir maksimum yang dapat dicapai dengan gaya tekan akhir 7,5 kN. Oleh karena itu, masih perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang bagaimana pengaruh sudut *chamfer* satu sisi dan *friction time* dengan gaya tekan akhir 7,5 kN terhadap kekuatan puntir sambungan las pada paduan Al-Mg-Si. Dalam penelitian ini menggunakan material aluminium paduan Al-Mg-Si yang memiliki sifat mampu las dan ketahanan korosi yang baik.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan tersebut, permasalahan yang akan dirumuskan dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh *friction time* dan sudut *chamfer* satu sisi dengan gaya tekan akhir 7,5 kN terhadap nilai kekuatan puntir pada las gesek paduan Al-Mg-Si ?

## 1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Material yang digunakan adalah paduan Al-Mg-Si berbentuk silinder pejal.
2. Jenis pengelasan gesek : *continuous drive friction welding*.
3. Pengelasan dilakukan dengan material yang sama.
4. Pengelasan dan pendinginan sambungan las dilakukan pada suhu ruang.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh nilai kekuatan puntir pada las gesek Al-Mg-Si terhadap sudut *chamfer* satu sisi dan *friction time* dengan gaya tekan akhir 7,5 kN.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Sebagai dasar acuan sehingga dapat dilakukan penelitian lebih lanjut tentang teknologi pengelasan gesek.
2. Sebagai acuan dalam dunia industri atau aplikasi sebenarnya untuk pengembangan pada proses pengelasan gesek yang optimal dan efisien.

3. Dapat mengaplikasikan teori yang didapat selama perkuliahan khususnya yang berhubungan dengan pengelasan logam.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Dicky, dkk (2014) dalam penelitiannya yang berjudul "*Kekuatan Puntir dan Porositas Hasil Sambungan Las Gesek Al-Mg-Si dengan Variasi Chamfer dan gaya Tekan Akhir*". Memperoleh hasil bahwa dimana berkurangnya sudut chamfer yang digunakan dan serta semakin meningkatnya nilai gaya tekan akhir, akan meningkatkan kekuatan puntir pada pengelasan gesek paduan Al-Mg-Si. Pada penelitian ini sudut chamfer  $15^\circ$  dengan gaya tekan akhir 202 kgf memiliki kekuatan puntir tertinggi yaitu sebesar 193,93 MPa.

Ardianto, dkk (2015) dalam penelitiannya yang berjudul "Kekuatan puntir sambungan las gesek Al-Mg-Si dengan variasi sudut chamfer dua sisi dan kekasaran" mengatakan kekuatan puntir tertinggi terletak pada sudut chamfer  $15^\circ$  sebesar 136,47 MPa. Kekuatan puntir terendah pada sudut chamfer  $0^\circ$  sebesar 71,48 MPa. Dan kekuatan puntir dipengaruhi oleh besar kecilnya daerah *fully plasticized Zone* (Zpl), *Partly deformed Zone* (Zpd) atau *HAZ*, *Undeformed Zone* (Zud), *Porosity Zone* (Zpr).

Sedangkan Amirullah, dkk (2014) dalam penelitiannya yang berjudul "*Pengaruh sudut chamfer satu sisi dan friction time terhadap kekuatan puntir pada sambungan las gesek Al-Mg-Si*" mendapatkan hasil kekuatan puntir tertinggi yang terdapat pada spesimen dengan *friction time* 90 detik pada sudut chamfer  $11,5^\circ$  dengan nilai sebesar 145,71 MPa, dan untuk kekuatan puntir terkecil didapat pada spesimen dengan sudut chamfer  $11,5^\circ$  dan *friction time* 150 detik, dengan nilai kekuatan puntir yang didapat sebesar 75,23 MPa.

### 2.2 Pengertian Aluminium

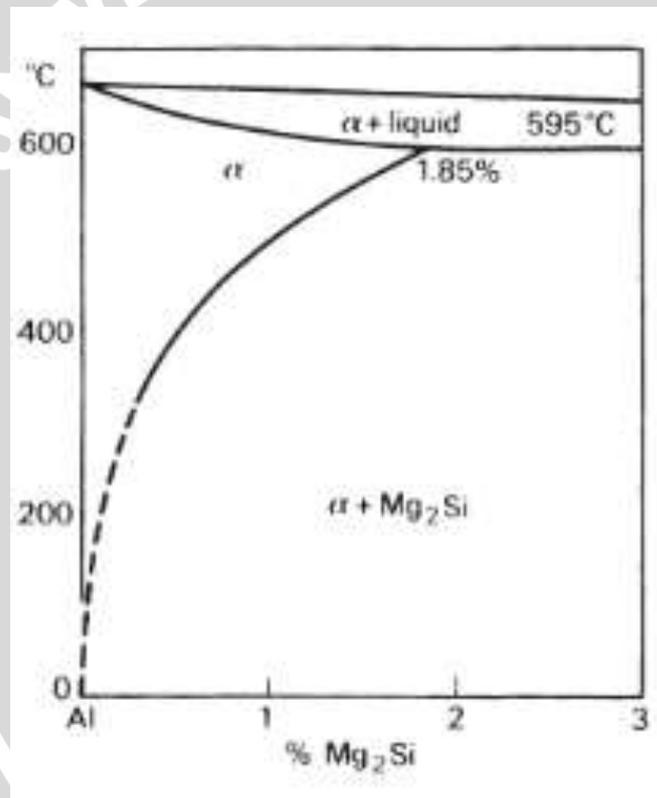
Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai kekuatan tinggi, tahan korosi, dan merupakan konduktor listrik yang baik. Unsur logam yang paling banyak terkandung di bumi adalah aluminium. Aluminium juga merupakan logam yang paling banyak digunakan setelah baja (Wiryosumatro, 2000:113). Karakteristik utamanya adalah ringan (berat jenis =  $2,7 \text{ gr/cm}^3$ ) dibandingkan dengan baja (berat jenis =  $7,8 \text{ gr/cm}^3$ ), serta memiliki keuletan yang cukup tinggi. Dengan sifat-sifat seperti itu maka aluminium banyak digunakan secara luas di perusahaan-perusahaan ataupun yang lainnya. Berikut ini tabel dari sifat fisik aluminium dan sifat mekanik aluminium :

Table 2.1 Persentase komposisi kimia berdasarkan berat paduan Al-Mg-Si

Paduan	Al (%)	Mg (%)	Si (%)	Fe (%)	Mn (%)	Zn (%)	Cu (%)	Cr (%)	Ti (%)	Kandungan lainnya (%)
6061	95,8-98,6	0,80-1,2	0,40-0,80	Max 0,70	Max 0,15	Max 0,25	0,15-0,40	0,040-0,35	Max 0,15	Max 0,15

Sumber : ASM Aero Space Metal Inc.

Tabel 2.1 merupakan persentase komposisi kimia berdasarkan berat paduan Al-Mg-Si di mana besar persentase terbesar ada pada logam Aluminium (Al), Magnesium (Mg), dan Silikon (Si). Dengan besar persentase masing-masing 95,8-98,6% untuk Aluminium, 0,80-1,2% untuk Magnesium, dan 0,40-0,80% untuk silikon.

Gambar 2.1 Diagram fase *Pseudo-Binary* untuk paduan Al-Mg-Si

Sumber: *Light Alloy* (1995:63)

Pada gambar 2.1 bisa di lihat bahwa paduan Al-Mg-Si memiliki fase perubahan bentuk dari padat ke liquid pada suhu sekitar 595°C dengan komposisi  $Mg_2Si$  sebesar 1,85%.

Secara umum paduan aluminium dapat diklasifikasikan menjadi tiga yakni berdasarkan pembuatannya, perlakuannya dan unsur-unsur paduan. Berdasarkan paduannya aluminium dibagi menjadi 7 jenis, dimana dapat dilihat dalam tabel 2.2 klarifikasi tentang tiap jenisnya.

Tabel 2.2 Klasifikasi paduan Aluminium

No Seri	Elemen Utama Paduan	Ketahanan Korosi	Kekuatan	Perlakuan Panas
1xxx	Tidak ada	Baik Sekali	Sedang	Tidak Mampu
2xxx	Tembaga	Sedang	Baik Sekali	Mampu
3xxx	Mangan	Baik		Tidak Mampu
4xxx	Silikon			Tergantung Paduan
5xxx	Magnesium	Baik	Baik	Tidak Mampu
6xxx	Magnesium dan Silikon	Baik	Baik	Mampu
7xxx	Seng	Sedang	Baik Sekali	Mampu

Sumber : *Aluminium Structure* (2002:14)

Pada tabel 2.2 bisa dilihat klasifikasi paduan aluminium, dimana bisa dijelaskan bahwa

- Untuk nomor pertama ; mengindikasikan kelompok paduan berdasarkan pada unsur paduan utamanya. Contohnya untuk kode 6xxx memiliki paduan aluminium dengan paduan unsur utamanya magnesium 0,4 – 1,5% dan silikon 0,2 – 1,7%.
- Untuk nomor kedua ; mengindikasikan modifikasi paduan dan batasan persentase impuritiesnya. Paduan original dilambangkan dengan “0” pada nomor keduanya, penomoran 1 – 9 mengindikasikan modifikasi berbagai jenis paduan aluminiumnya dengan besaran komposisi yang tidak terlalu jauh.
- Untuk dua nomor terakhir ; mengindikasikan persentase kemurnian paduan aluminiumnya. Kedua nomor terakhir itu menunjukkan signifikansi perbedaan paduan dalam kelompok paduannya.

pada penelitian ini digunakan aluminium dengan seri 6xxx dikarenakan aluminium dengan seri tersebut memiliki ketahanan korosi yang baik, kekuatan yang baik dan mampu untuk diberikan perlakuan pasnas.

### 2.2.1 Sifat Mampu Las Aluminium

Dalam proses pengelasan, paduan aluminium memiliki sifat yang kurang baik bila dibandingkan dengan logam baja. Sifat-sifat yang kurang baik tersebut dapat menyebabkan kerugian sebagai berikut ;

1. Aluminium memiliki sifat daya hantar panas yang tinggi sehingga membuat aluminium sukar untuk dipanaskan lalu mencairkan disuatu bagian untuk proses pengelasan.
2. Aluminium mudah untuk teroksidasi dan membentuk oksida aluminium yang mempunyai titik cair yang tinggi. Sifat ini membuat antara logam induk dan logam las sulit untuk dilakukan peleburan.
3. Memiliki nilai koefisien muai yang besar yang membuat aluminium mudah sekali terjadi deformasi sehingga mudah terbentuk retakan yang diakibatkan oleh pemanasan.
4. Paduan aluminium memiliki berat jenis yang rendah, sehingga pada proses pengelasan banyak terbentuk zat-zat lain yang tidak diharapkan masuk ke dalam benda kerja.
5. Karena memiliki titik lebur dan viskositas yang rendah, maka daerah yang terkena panas mudah mencair dan jatuh menetes.

Oleh karena itu pengelasan pada aluminium dapat menimbulkan kerugian yang merupakan cacat pada pengelasan seperti :

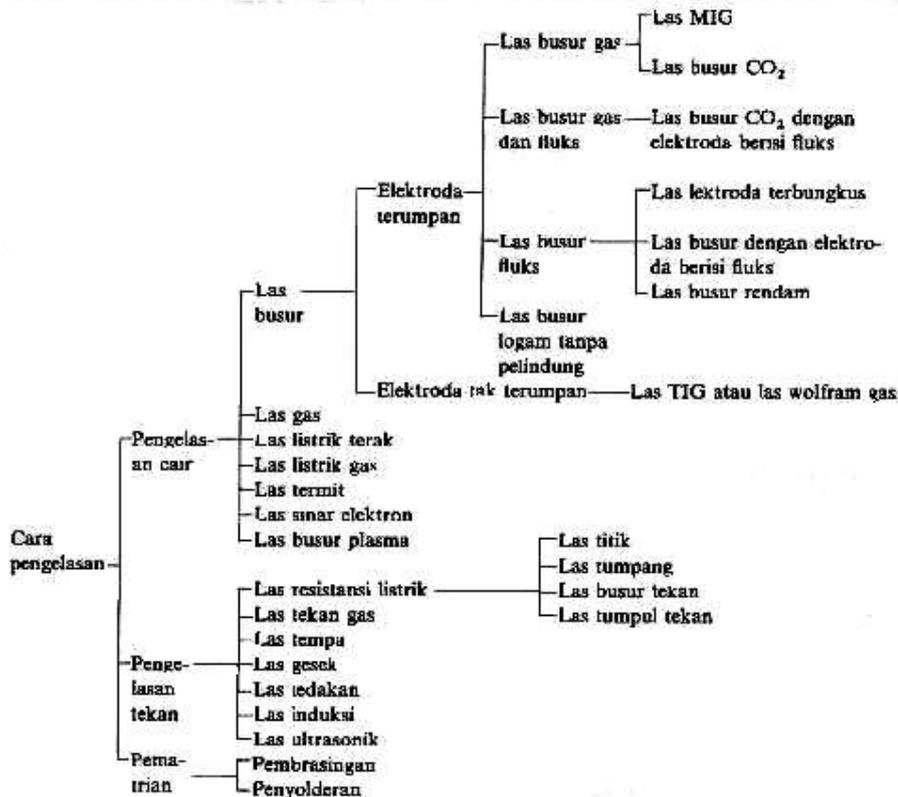
1. Retak las, merupakan retak panas yang terjadi pada proses pembekuan dan pencairan. Retak pada proses pembekuan disebabkan karena adanya penyusutan butir logam yang membeku dan dapat menimbulkan retak manik membujur, retak manik melintang, dan retak kawah. Retak pada proses pencairan disebabkan karena adanya pengendapan dari unsur bertitik cair rendah seperti Mg, Si, Cu, dan Zn.
2. Lubang-lubang halus, hal ini disebabkan oleh gas-gas hidrogen yang larut dan terjebak di dalam aluminium pada saat cair. Karena batas kelarutan turun pada saat pendinginan maka proses pembekuan yang cepat menyebabkan gas tersebut terperangkap dan membentuk gelembung halus.

3. Pengaruh panas pengelasan, hal ini dapat menyebabkan terjadinya pencairan sebagian, rekristalisasi butir, pelarutan padat, dan pengendapan. Perubahan struktur butir tersebut biasanya mengakibatkan menurunnya kekuatan mekanik dan ketahanan korosi pada aluminium, dapat juga menjadikan daerah pengelasan menjadi bersifat getas.

### 2.3 Pengertian dan Klasifikasi 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 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 dengan menggunakan sumber panas dari busur listrik atau semburan api gas yang terbakar, contohnya : las busur, las gas, las listrik terak, las listrik gas, las termit, las sinar elektron, dan las busur plasma.
2. Pengelasan tekan adalah pengelasan dimana sambungan dipanaskan lalu ditekan tanpa mencair hingga menyatu. Contohnya : las tekas gas, las tempa, las gesek, dan las induksi.
3. Pematrian adalah cara dimana sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cari rendah. Dalam proses ini logam yang akan disambung tidak ikut mencair.



Gambar 2.2 Klasifikasi cara pengelasan

Sumber: Wirjosumarto (2000:8)

Pada gambar 2.2 merupakan klasifikasi berbagai macam cara pengelasan, pengelasan gesek termasuk dalam cara pengelasan dengan cara ditekan. Maksudnya dua buah benda dapat menyambung dengan cara benda ditekan selama proses pengelasan. Tujuan dari penekanan pada saat pengelasan yaitu untuk membuang udara sisa yang terjebak di dalam logam yang terjadi akibat proses pengelasan. Karena apabila masih terdapat udara di dalam logam maka akan terdapat porositas di dalam logam tersebut.

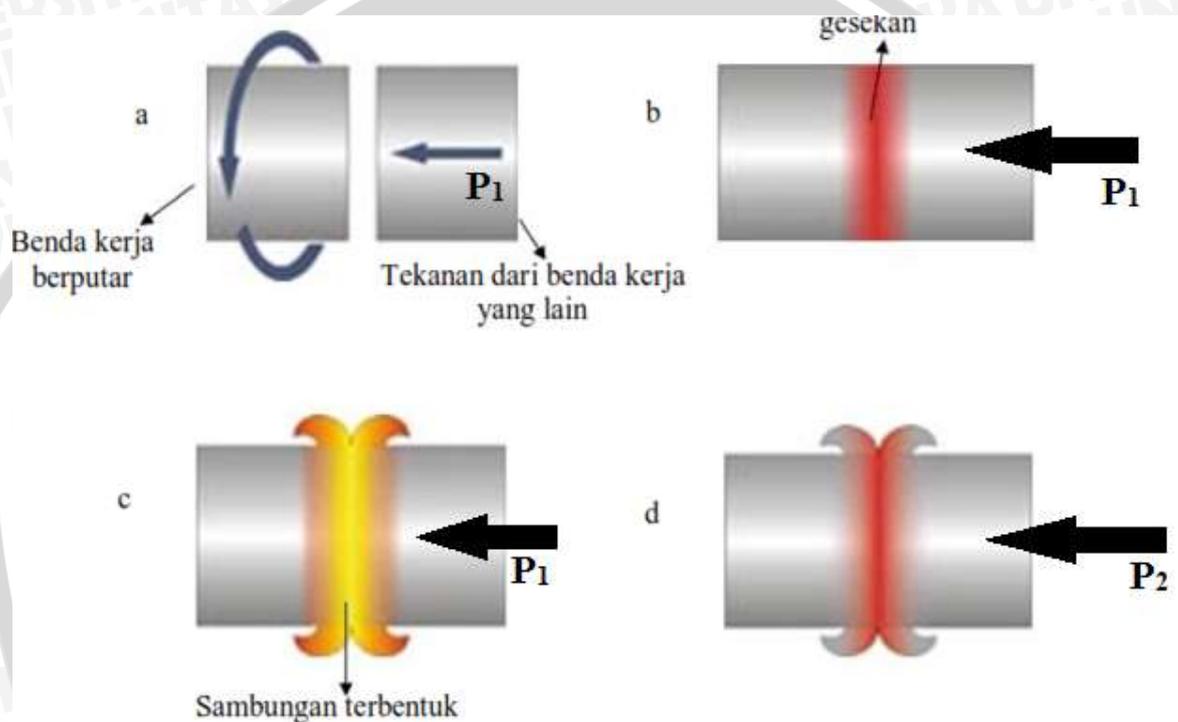
## 2.4 Pengelasan Gesek (*Friction Welding*)

*Friction welding* adalah salah satu metode dalam pengelasan tekan. Las (*welding*) adalah salah satu cara untuk menyambung benda padat dengan jalan mencairkan melalui pemanasan (Sriwidharto, 1966:1). Dalam metode ini dua buah benda dapat menyatu karena adanya panas yang timbul dari gesekan dua benda tersebut. Prinsip dasar dari pengelasan sendiri adalah dengan cara memansakan logam yang akan dilas supaya logam dapat meleleh dan bisa saling menempel. Salah satu cara untuk mendapatkan panas tersebut

adalah dengan cara menggesekan logam itu sendiri dengan logam lainnya. Salah satu cara penggesekan dalam friction welding yaitu *continuous drive friction welding*.

#### 2.4.1 Continuous Drive Friction Welding

Las gesek merupakan pengelasan yang memanfaatkan panas yang berasal dari gesekan langsung dari kedua benda itu sendiri. Dimana salah satu benda kerja diputar dan satunya diam dan menekan.



Gambar 2.3 *Continuous drive friction welding*

Sumber: Swanson Industries Inc. 2006

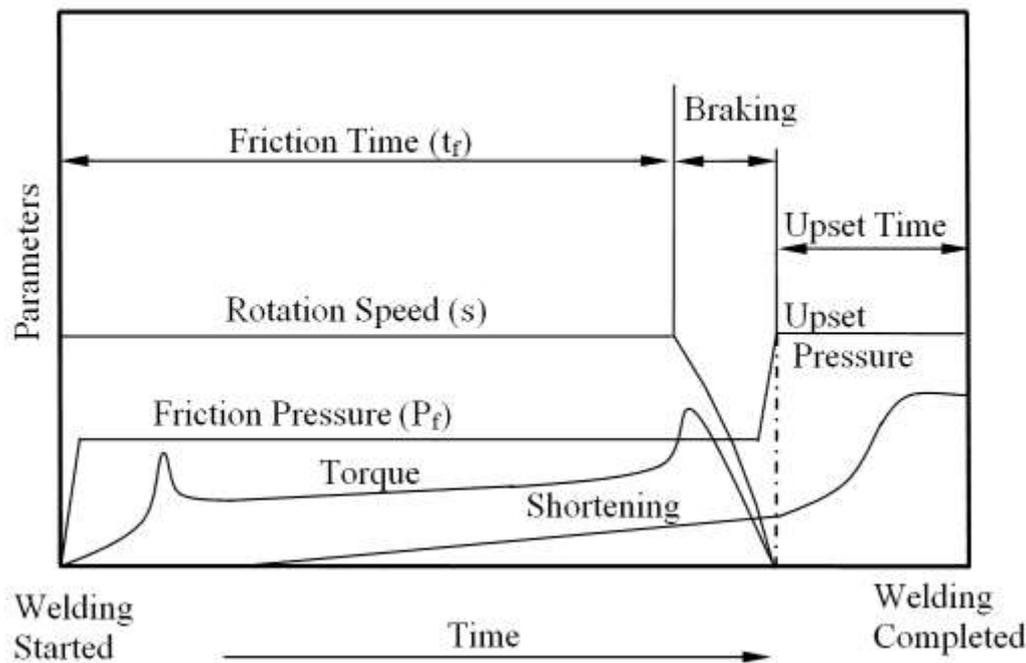
Dari gambar 2.3 dapat dilihat (a) ketika salah satu benda diputar dan salah satu benda yang lain menekan benda yang berputar tersebut. (b) Selama kedua benda bergesekan, benda yang tidak berputar memberi tekanan sebesar  $P_1$ . Akibat dari penekanan tersebut timbul panas sehingga partikel dari dua logam dapat saling berikatan dan perputaran yang terjadi mengakibatkan partikel dari dua benda tersebut teraduk. (c) Sedangkan penekanan akan menyebabkan partikel terdorong mengisi celah-celah kosong sekaligus mengeluarkan udara, dan akan timbul *flash* itu menandakan bahwa sambungan las terbentuk. (d) Setelah sambungan terbentuk benda yang awalnya berputar berhenti sedangkan benda yang tidak berputar memberi tekanan sebesar  $P_2$ . Dengan  $P_2 > P_1$ , karena dengan lebih besarnya  $P_2$  dari pada  $P_1$  akan menyebabkan udara yang masih berada di dalam logam setelah

mengalami gesekan keluar dalam logam tersebut. Karena ketika udara masih berada pada dalam logam tersebut akan terjadinya porositas.

Pada pengelasan las gesek ini terdapat parameter-parameter utama yang harus diperhatikan ketika proses penyambungan dengan metode las ini, parameter-parameter tersebut yaitu :

- *Rotation Speed* (kecepatan putaran)
- *Friction Pressure* (tekanan penggesekan)
- *Friction Time* (waktu penggesekan)
- *Upset Pressure* (tekanan akhir/tekanan tempa)
- *Upset Time* (waktu penekanan tempa)

Parameter-parameter tersebut lebih jelasnya akan ditampilkan pada gambar 2.4



Gambar 2.4 Parameter *friction welding*

Sumber: ASM International (2011:180)

Pada gambar 2.4 dapat dijelaskan grafik hubungan antara macam-macam parameter pengelasan dan waktu pengelasan. Pada saat berputarnya *spindle* maka diberikannya juga gaya tekan yang stabil sampai *friction time* yang telah ditentukan. Ketika sampai *friction time* yang ditentukan, putaran *spindle* diberhentikan dan diberi gaya tekan akhir yang lebih besar sampai *upset time* yang telah ditentukan. Dan apabila putaran *spindle* dinaikkan maka yang terjadi adalah *friction time* yang akan diperlukan akan semakin cepat, karena

dengan semakin besarnya putaran pada saat gesekan akan mengakibatkan panas yang terjadi lebih cepat. Sehingga sambungan akan lebih cepat terbentuk. Untuk panjang spesimen bisa dilihat semakin lama waktu pengelasan maka spesimen akan semakin pendek.

### 2.5 Kelebihan *Friction Welding*

Ada beberapa hal yang harus menjadi pertimbangan dalam penyambungan logam. Sama halnya ketika ingin melakukan pengelasan dengan menggunakan metode *friction welding* untuk menyambung logam karena pengelasan ini memiliki kelebihan dibanding dengan metode pengelasan lainnya, yaitu :

1. Dapat dilakukan pada logam yang berbeda.
2. Biaya yang murah dalam melaksanakan *friction welding*.
3. Waktu yang digunakan lebih efektif.
4. Hasil pengelasan presisi.
5. Meminimalisir energi yang dibutuhkan dalam proses pengelasan.
6. Daerah HAZ yang dihasilkan dalam pengelasan ini sangat sempit.
7. Pengelasan pada temperatur rendah dapat mempertahankan mikrostruktur dan sifat material.
8. Kekuatann yang dihasilkan pada sambungan *friction welding* hampir sama dengan kekuatan logam induk.

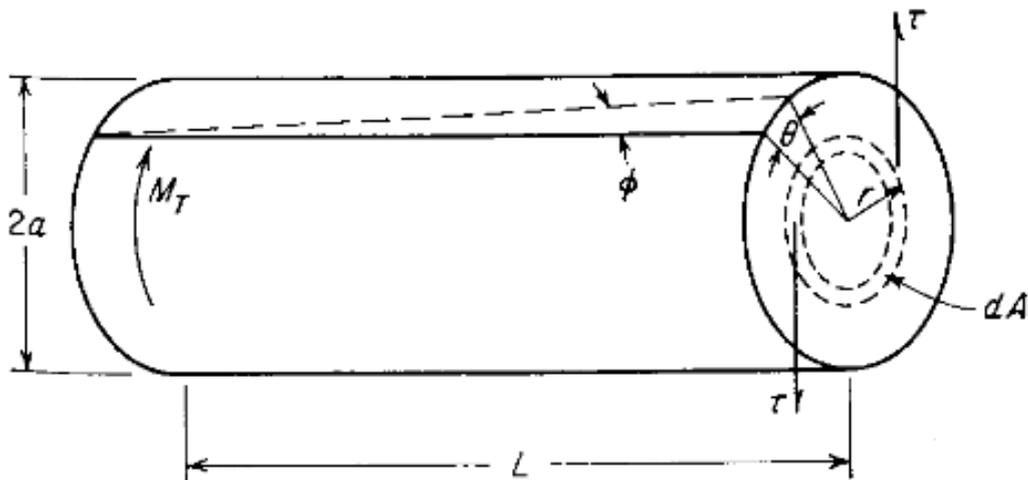
### 2.6 Pengujian Puntir

Pengujian ini merupakan jenis pengujian yang lebih spesifik dibandingkan dengan pengujian-pengujian terdahulu (tarik, *impact*, dan kekerasan). Dalam hal ini masih ada batas mulur dan batas pecah tetapi tidak ada kontraksi. Kontraksi sendiri merupakan perlawanan bahan terhadap baban akibat adanya tegangan dalam. Pengujian puntir ini mampu memberikan informasi penting tambahan mengenai modulus elastisitas dalam arah geser (*shear*), kekuatan luluh puntir dan modulus pemuluran (*rupture*). Pengujian ini umumnya dilakukan pada material-material yang getas sperti baja perkakas dan pada komponen-komponen fabrikasi seperti poros, as roda dan sebagainya.

Tegangan puntir disebabkan oleh momen puntir yang bekerja pada penampang batang. Dalam menganalisa tegangan puntir, momen torsi yang biasanya dinyatakan dalam vektor rotasi diubah menjadi vektor translasi. Seperti halnya gaya aksial, tegangan puntir muncul batang tersebut dipotong. Metode irisan tetap digunakan untuk mendapatkan momen puntir

dalam, sehingga tegangan puntir dapat dicari. Momen puntir dalam ini yang akan mengimbangi momen puntir luar sehingga bagian struktur tetap dalam kondisi seimbang.

Kondisi kesetimbangan yang terjadi antara momen reaksi dari material dan momen puntir luar ini dapat dilihat pada rumus :



Gambar 2.5 Pengujian puntir pada benda uji silinder

Sumber: Dieter (1988:339)

Pada gambar 2.5 bisa dijelaskan bahwa batang silinder yang mengalami sebuah torsi pada salah satu ujungnya. Saat memutar ditolak oleh tegangan geser yang menyebabkan potongan melintang pada batang. Tegangan geser pada tengah-tengah batang memiliki nilai nol dan meningkat secara linear dengan jari-jari lingkaran. Perhitungan momen puntir bisa dilihat pada rumus :

$$M_T = \int_{r=0}^{r=a} \tau \cdot r \cdot dA = \frac{\tau}{r} \int_{r=0}^{r=a} r^2 dA \quad (2-1)$$

Dimana (  $\int r^2 dA$  ) dapat diartikan sebagai momen inersia polar dari benda uji dan dapat disebut dengan  $J$ , maka :

$$M_T = \frac{\tau \cdot J}{r} \quad (2-2)$$

Kemudian didapatkan hasil bahwa

$$\tau = \frac{M_T \cdot r}{J} \quad (2-3)$$

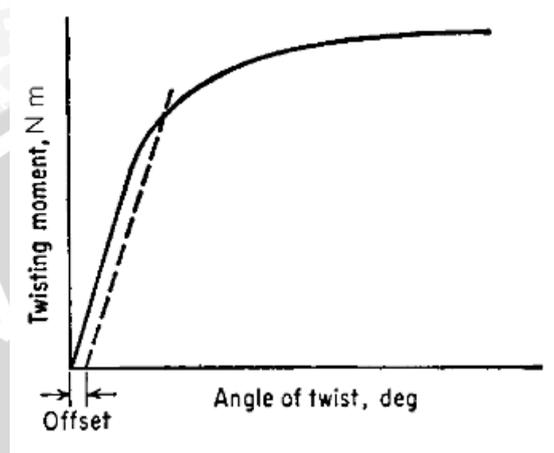
dengan :

$M_T$  = momen puntir (N.mm)

$\tau$  = tegangan geser (N/mm<sup>2</sup>)

$r$  = jarak radial dari pusat (mm)

$J$  = momen inersia polar yang tergantung geometris (mm<sup>4</sup>)



Gambar 2.6 Diagram momen puntir

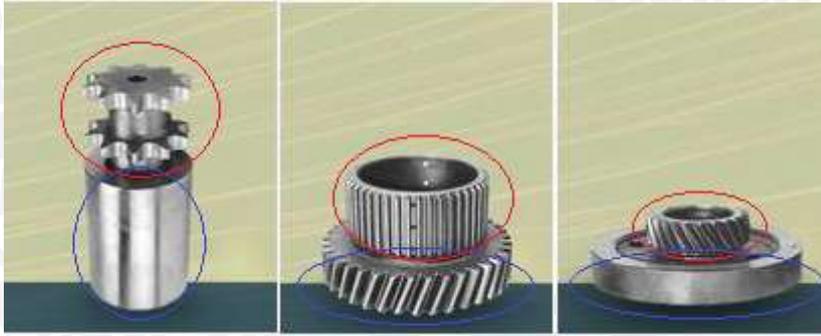
Sumber: Dieter (1988:340)

Gambar 2.6 menunjukkan hubungan antara momen puntir ( $M_T$ ) dengan sudut ( $\theta$ ). Tujuannya adalah untuk mengetahui sifat material berupa kekuatan puntir setelah menerima tegangan puntir. Setelah mengetahui besar nilai ini, dapat dilakukan perhitungan sesuai dengan rumus tegangan geser untuk silinder pejal. Dimana momen inersia ( $J$ ) pada silinder pejal ialah :

$$J = \frac{M_T L}{G \theta} \quad (2-4)$$

## 2.7 Kegunaan Las Gesek

Penyambungan dengan menggunakan metode ini telah banyak digunakan dalam industri otomotif, industri perkapalan. Contoh penyambungan menggunakan metode ini ditunjukkan pada gambar 2.7 berikut.



Gambar 2.7 Pengaplikasian las gesek pada paduan Al-Mg-Si

Sumber: *Manufacturing Tecnology INC*

Gambar 2.7 merupakan contoh pengaplikasian las gesek pada paduan Al-Mg-Si di mana ketiga roda gigi tersebut semulanya terpisah bagian yang dilingkari warna merah dan biru, maka untuk bisa menyambungkan kedua bagian tersebut salah satunya adalah dengan pengelasan gesek.

## 2.8 Energi pada Proses *Friction Welding*

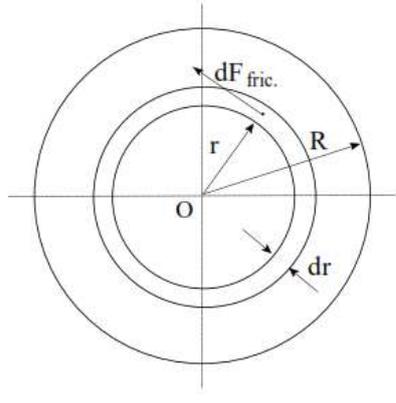
Pada proses *friction welding* terdapat energi panas yang dihasilkan akibat proses gesekan antara dua permukaan logam aluminium. Hal tersebut diasumsikan bahwa tekanan gesek yang sama menyebar pada bagian-bagian benda berputar dan benda yang tidak berputar. Energi panas yang dihasilkan dapat menyatakan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

$$d\dot{Q} = \omega \cdot dM_t \quad (2-5)$$

Nilai  $\omega$  ialah kecepatan putaran dan  $dM_t$  ialah perbedaan nilai momen torsi. Kemudian nilai torsi dapat dihitung dengan rumus :

$$dM_t = r \cdot dF_{friction} \quad (2-6)$$

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 2.8 Friction surface

Sumber: *Modelling of friction welding* (2010)

Bisa dijelaskan dari gambar 2.8 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.

$$dF_{friction} = (\mu \cdot P \cdot 2\pi r \cdot dr) \quad (2-7)$$

dengan menggabungkan persamaan (2-6) dan persamaan (2-7) pada persamaan (2-5) maka didapatkan :

$$d\dot{Q} = 2\pi \cdot \mu \cdot \omega \cdot P \cdot r^2 \cdot dr \quad (2-8)$$

Rumus (2-8) tersebut kemudian di integralkan dengan nilai R pada (spesimen pejal) untuk menjelaskan jumlah kalor yang terjadi selama proses gesekan.

$$dQ = \int_0^R 2\pi \cdot \mu \cdot \omega \cdot P \cdot r^2 \cdot dr \quad (2-9)$$

$$\dot{Q} = 2 \cdot \pi \cdot \mu \cdot P \cdot \omega \cdot \frac{r^3}{3} \Big|_0^R \quad (2-10)$$

$$\dot{Q} = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot \mu \cdot P \cdot \omega \cdot R^3 \quad (2-11)$$

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 . m)

$\mu_s$  : Koefisien gesek aluminium

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

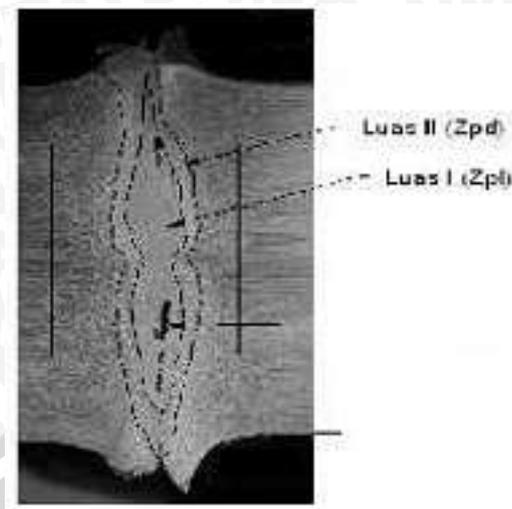
Panas yang dihasilkan oleh proses pengelasan pada aluminium akan menyebabkan terjadinya pencairan sebagai benda kerja dan pelarutan padat atau pengendapan, tergantung pada tingginya suhu yang ada pada daerah las tersebut. Ketika pengelasan berlangsung, logam induk di sekitar logam las mengalami siklus *thermal* berupa pemanasan sampai mendekati titik leleh kemudian seiring waktu diikuti dengan pendinginan. Dalam hal ini tingginya suhu tersebut akan mengakibatkan struktur mikro dan sifat-sifat mekanisnya tidak sama dengan logam induk. Dan daerah atau zona ini dinamakan *Heat Affected Zone* (HAZ).

Pada HAZ sering kali dijumpai penurunan kekuatan dan penurunan ketahanan korosi bahkan dapat menyebabkan daerah tersebut menjadi getas. Hilangnya kekuatan di HAZ sangat dipengaruhi oleh proses pengelasan, masukan panas, kecepatan pengelasan, dan kecepatan pendinginan. Jika masukan panas yang diberikan semakin tinggi, maka HAZ yang terbentuk akan menjadi semakin lebar dan semakin banyak kekuatan yang hilang.

Pada pengelasan gesek ada beberapa bagian yang dan bagian tersebut dibagi menjadi empat yakni :

- Luas I : *Fully plasticised zone* (Zpl) atau daerah sambungan yang menyatu dengan sempurna.
- Luas II : *Partly deformed zone* (Zpd) atau daerah ini mengalami panas sebagian yang diakibatkan proses pengelasan.
- Luas III : *undeformed zone* (Zud) atau daerah yang tidak terpengaruh panas sama sekali ketika proses pengelasan.

Untuk mengetahui daerah-daerah tersebut maka dapat dilihat dari foto makrostruktur.



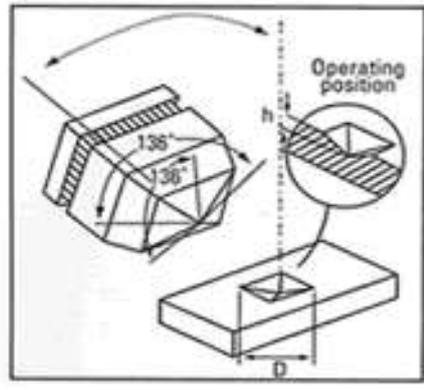
Gambar 2.9 Ilustrasi perbedaan luas pada HAZ

Sumber : Santoso (2007)

Dari gambar 2.9 bisa dilihat untuk Luas I berada pada tepat di sambungan las yang menyatu sedangkan untuk Luas II berada pada tepat di samping Luas I. Semakin besar panas yang dihasilkan maka daerah HAZ yang terbentuk juga semakin besar. Ini akan menyebabkan kekuatan dari sambungan las tersebut akan semakin menurun.

## 2.10 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan merupakan pengujian untuk mengukur ketahanan material terhadap deformasi plastis yang terlokasi pada suatu titik seperti, indentasi kecil/deformasi kecil dan tergores. Macam-macam metode pada pengujian kekerasan, yaitu *Brinell*, *Vickers*, dan *Rockwell*. Pada metode uji kekerasan tersebut, umumnya menggunakan indentor kecil (berbentuk bola atau piramid) yang ditekan ke permukaan benda dengan mengontrol besar beban dan laju pembebanan. Kemudian indentasi (besar jejak / diagonal jejak) diukur menggunakan mikroskop ukur.



Gambar 2.10 Indentor piramid intan pada metode *Microvickers*

Sumber: Sofyan, 2010 : 21

Gambar 2.10 merupakan indentor piramid intan pada metode *microvickers*. Dapat dilihat bahwa dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besarnya sudut antara permukaan-permukaan piamid yang saling berhadapan adalah  $136^\circ$ . Beban yang biasanya digunakan pada uji *vickers* berkisar antara 1-10 *newton*. Kelebihan uji kekerasan *vickers* ini banyak dilakukan pada penelitian karena metode tersebut memberikan hasil berupa skala kekerasan yang kontinyu untuk suatu beban tertentu.

Kekurangan menggunakan uji *vickers* ini yaitu tidak dapat digunakan pengujian rutin karena pengujian tersebut lamban, memerlukan persiapan benda uji yang hati-hati, dan terdapat pengaruh kesalahan manusia yang besar pada penentuan panjang diagonal. Nilai kekerasan metode *vickers* dapat dihitung dengan rumus persamaan (2-12) berikut ini:

$$VHN = \frac{2P\left(\frac{\theta}{2}\right)}{L^2} \quad (2-12)$$

Dengan :

P = Beban (kg)

L = Panjang diagonal indentasi rata-rata (mm)

$\theta$  = Sudut antara permukaan intan yang berlawanan ( $136^\circ$ )

Metode ini merupakan cara pengujian kekerasan yang paling sensitif. Cara ini memiliki satu skala kontinyu untuk semua material dan angka. Kekerasan *vickers* tergantung dari beban yang diberikan. Sangat memungkinkan sekali penggunaan beban ringan pada pengujian *vickers*. Oleh karena itu hanya digunakan untuk pengujian kekerasan pada material yang tipis sampai 0,005 in.

### 2.11 Hipotesis

Berdasarkan teori dan beberapa penelitian yang sudah pernah dilakukan dapat ditarik hipotesis bahwa penggunaan sudut *chamfer* pada salah satu sisi dan *friction time* dengan gaya tekan akhir 7,5 kN akan mempengaruhi kekuatan puntir sambungan *friction welding* pada Al–Mg–Si. Dengan adanya variasi ini pada *friction welding* akan mempengaruhi masukan panas (*Heat Input*), yang akan mempengaruhi lebar daerah HAZ. Semakin besar sudut *chamfer* yang digunakan dan *friction time* semakin lama maka daerah HAZ yang terjadi semakin luas sehingga mempengaruhi kekuatan puntir dari sambungan las.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



### BAB III METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah penelitian nyata (*True Experimental Research*) dan secara langsung pada objek yang dituju. Metode ini dipakai untuk mengetahui secara langsung pengaruh *friction time* dan sudut *chamfer* satu sisi dengan gaya penekanan akhir 7,5 kN terhadap nilai kekuatan puntir pada Al-Mg-Si. Disamping itu juga dilakukan pengkajian terhadap dasar teori dari sumber literatur dari buku dan jurnal.

#### 3.1 Variabel Penelitian

##### 3.1.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan sebelum dilakukannya penelitian. Variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini adalah sudut *chamfer* 0°, 11.5°, 15°, dan 30° dan *friction time* yang digunakan adalah 45 detik, 50 detik, dan 55 detik.

##### 3.1.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besar nilainya tergantung oleh variabel bebas. Variabel terikat pada penelitian ini adalah nilai kekuatan puntir sambungan las.

##### 3.1.3 Variabel Kontrol

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

1. Spesimen paduan Al-Mg-Si berbentuk silinder pejal.
2. Gaya penekanan saat pengelasan 2,5 kN.
3. Gaya penekanan akhir 7,5 kN.
4. Putaran *spindle* 1600 rpm.
5. Pengelasan dan pendinginan sambungan las dilakukan di suhu ruangan.
6. Kekasaran permukaan kontak  $\pm 0,54 \mu\text{m}$ .

### 3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Oktober 2015 – November 2015. Tempat yang digunakan pada penelitian yaitu :

1. Kegiatan pengelasan gesek dilakukan di Laboratorium Proses Produksi I Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
2. Pengujian kekuatan puntir dilakukan di Laboratorium Pengujian Bahan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang.
3. Pengujian foto makrostruktur dilakukan di Laboratorium Pengujian Bahan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.

### 3.3 Alat dan Bahan yang Digunakan

#### 3.3.1 Alat yang Digunakan

Pada penelitian ini alat yang digunakan adalah sebagai berikut :

- a. *Stopwatch*



Gambar 3.1 *Stopwatch*

Sumber :Laboratorium Proses Produksi I Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Gambar 3.1 digunakan untuk menghitung waktu pada proses pengelasan gesek dan pengujian puntir.

### b. Vernier Caliper



Gambar 3.2 Vernier caliper

Sumber :Laboratorium Proses Produksi I Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Gambar 3.2 merupakan gambar *vernier caliper* yang digunakan untuk mengukur dimensi spesimen yang akan dilas gesek maupun diuji puntir. Dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Merk : Hommel
- Ketelitian : 0,05 mm

### c. Mesin Uji Puntir



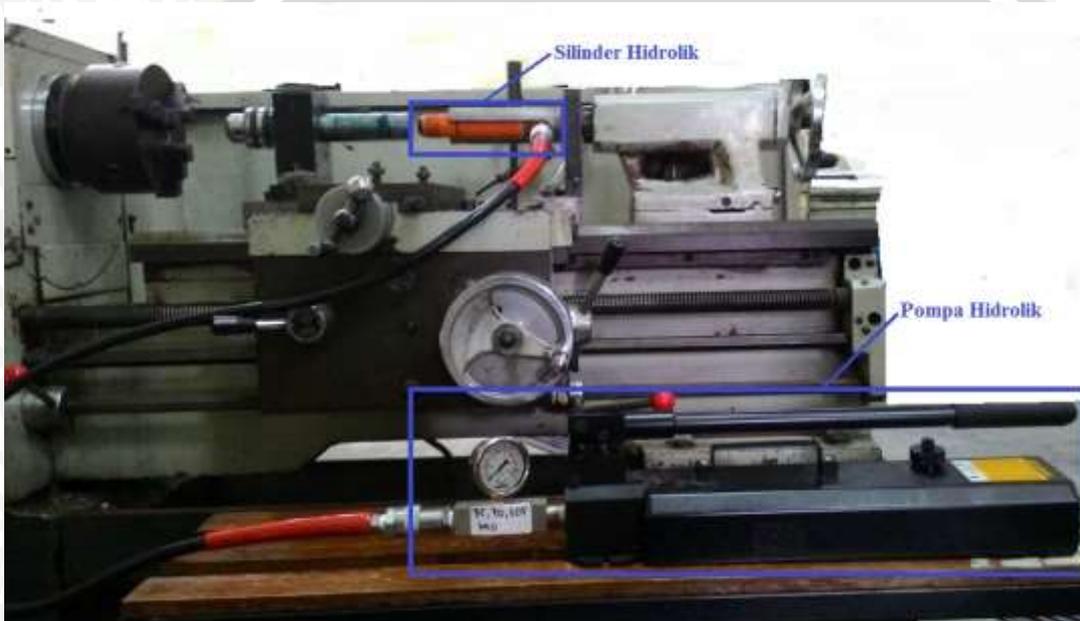
Gambar 3.3 Mesin uji puntir

Sumber : Laboratorium Pengujian Bahan Politeknik Negeri Malang

Gambar 3.3 merupakan mesin uji puntir yang digunakan untuk menguji spesimen agar dapat mengetahui sifat mekanik dari material ketika mendapatkan tegangan puntir. Dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Merk : Polinema *Torsion Test*
- Reducer Ratio : 1:60
- Beban Maksimum : 75.95 MPa

#### d. Alat Pengelasan Gesek



Gambar 3.4 Alat Pengelasan Gesek

Sumber : Laboratorium Proses Produksi I Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Gambar 3.4 merupakan alat yang digunakan untuk pengelasan gesek. Dengan alat dasar mesin bubut yang dimodifikasi alat tambahan yaitu silinder hidrolik dan pompa hidrolik. Dan spesifikasi dari alat pengelasan gesek sebagai berikut :

- Merk Mesin Bubut : Chenchong
- Putaran Max : 1600 rpm
- Merk Pompa Hidrolik : *Eagle Pro*
- Gaya Max : 150 Bar
- Merk Silinder Hidrolik : *Eagle Pro*
- Luas Efektif Silinder : 700 mm<sup>2</sup>

## e. Kamera



Gambar 3.5 Kamera

Sumber : Dokumentasi pribadi

Gambar 3.5 merupakan alat yang digunakan untuk mendokumentasikan gambar selama proses penelitian dilakukan. Dengan spesifikasi kamera sebagai berikut :

- Merk : Sony DSC H200
- Resolusi : 20,1 *Megapixels*
- Zoom Optik : 26,0 kali

### 3.3.2 Bahan yang Digunakan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah paduan Al-Mg-Si. Bisa dilihat pada gambar 3.6

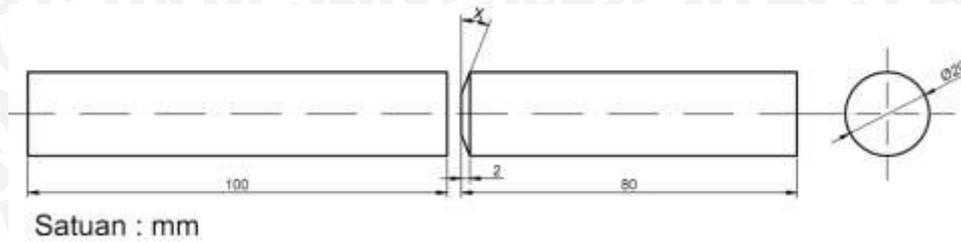


Gambar 3.6 Paduan Al-Mg-Si

Dari bahan tersebut dilakukan pengujian komposisi untuk mengetahui apa saja dan berapa besar kandungan yang terdapat pada bahan tersebut. Pengujian komposisi ini dilakukan di PT. H.P. Metals Indonesia, Ngoro *Industry Park*, Mojokerto. Untuk hasil pengujian komposisi paduan Al-Mg-Si bisa dilihat dalam **lampiran 4**.

Dimensi bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah poros pejal dengan dimensi spesimen ditunjukkan pada gambar 3.7 dan besarnya sudut *chamfer* yang dilambangkan x. Adanya sudut *chamfer* bertujuan agar permukaan yang bergesekan tidak terlalu besar, luas

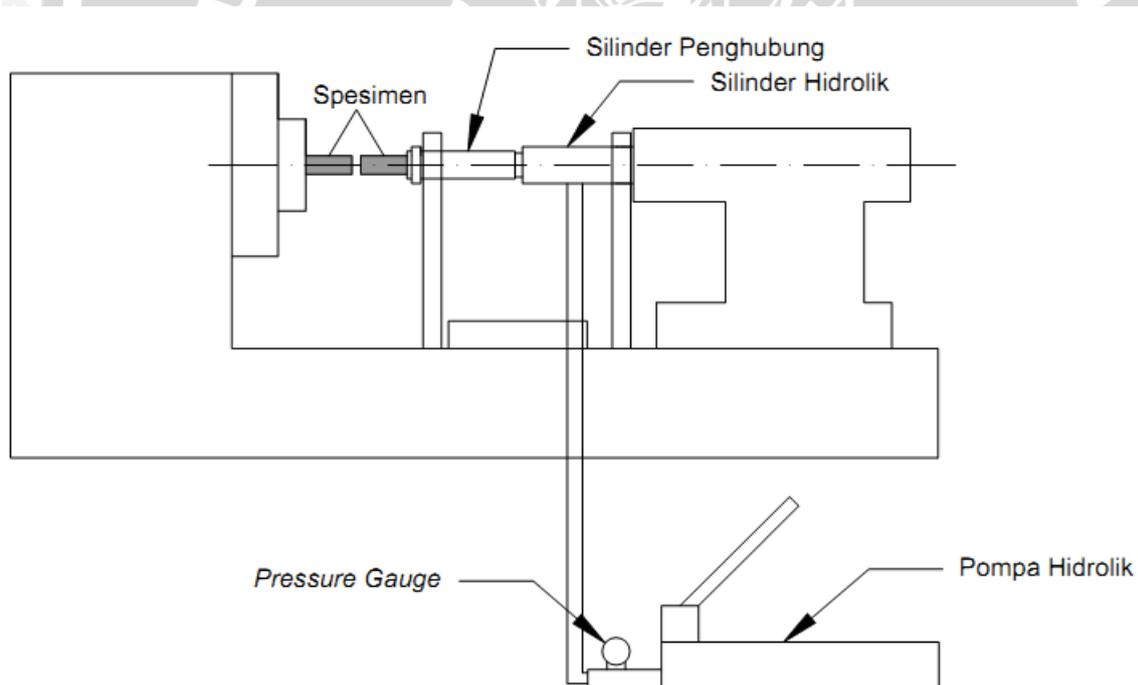
permukaan spesimen yang terdapat sudut *chamfer* akan mengalami gesekan tidak sama dengan yang tidak terdapat sudut *chamfer*.



Gambar 3.7 Dimensi spesimen pengelasan

### 3.4 Skema Alat Pengelasan Gesek

Proses pengelasan gesek menggunakan mesin bubut yang telah dimodifikasi pada bagian *tail stock*. Dengan menambahkan silinder hidrolis dan dongkrak hidrolis untuk memberikan tekanan pada saat proses pengelasan.



Gambar 3.8 Skema alat pengelasan gesek

Pada gambar 3.8 dapat dijelaskan bahwa pompa hidrolis memberikan gaya dengan aliran fluida melalui selang yang dialirkan menuju silinder hidrolis. Besarnya gaya bisa dilihat pada *pressure gauge*. Gaya yang diberikan kepada silinder hidrolis akan menekan

spesimen lain untuk menekan spesimen yang berputar. Untuk merubah gaya menjadi tekanan bisa didapat dengan rumus :

$$P = \frac{F}{A} \quad (3-1)$$

Dengan : P = Tekanan (MPa)

F = Gaya (N)

A = Luas Permukaan (mm<sup>2</sup>)

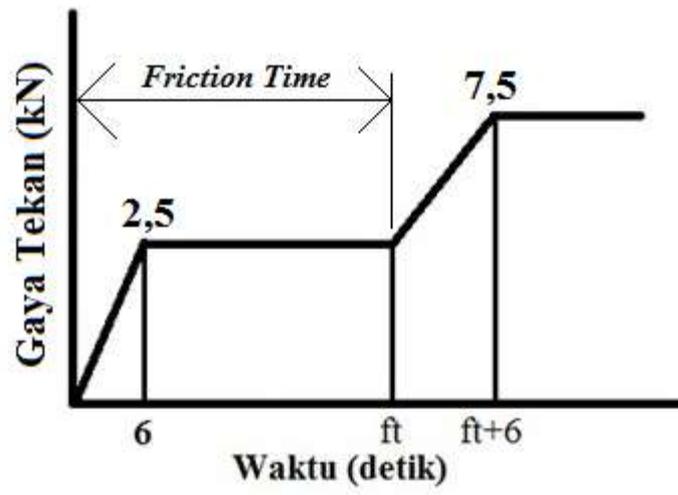
Untuk luas permukaan yang digunakan pada rumus (3-1) bisa dilihat dari spesifikasi alat pada gambar 3.4, yaitu luas efektif dari silinder hidrolik yaitu sebesar 700 mm<sup>2</sup>.

### 3.5 Prosedur Penelitian

#### 3.5.1 Pengelasan Gesek

Proses pengelasan gesek menggunakan mesin bubut yang telah dimodifikasi dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Membersihkan kedua permukaan spesimen menggunakan *acetone*
2. Pemasangan spesimen pada kedua *chuck*.
3. Mesin bubut dinyalakan dengan putaran *spindle* 800 rpm.
4. Putaran *spindle* dinaikkan menjadi 1600 rpm.
5. Pemberian tekanan awal sebesar 2,5 kN selama *friction time* yang telah ditentukan.
6. Mesin dimatikan.
7.  *Holding* selama 110 detik dengan gaya tekan akhir sebesar 7,5 kN.
8. Pelepasan spesimen pada *chuck*.
9. Pengecekan hasil las.

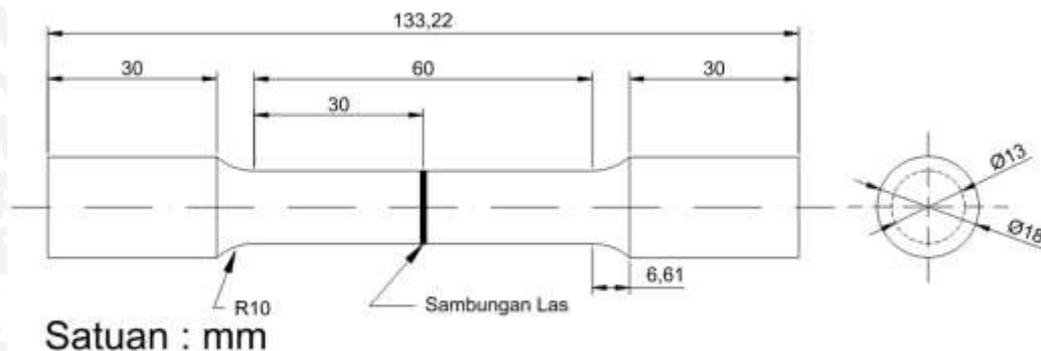


Gambar 3.9 Parameter pengelasan

Gambar 3.9 merupakan parameter pengelasan yang dilakukan pada penelitian ini, dimana untuk mencapai gaya tekan sebesar 2,5 kN memerlukan waktu selama enam detik. Setelah gaya tekan mencapai 2,5 kN, kemudian gaya tekan ditahan stabil sampai waktu *friction time* yang ditentukan, yaitu 45 detik, 50 detik, dan 55 detik. Dan apabila sudah sampai *friction time* yang ditentukan gaya tekan dinaikan sampai 7,5 kN dan untuk mencapai gaya tekan sebesar 7,5kN memerlukan waktu selama *friction time* ditambah enam detik.

### 3.5.2 Pengujian Kekuatan Puntir

Sebelum melakukan uji puntir, spesimen terlebih dahulu dibentuk menjadi spesimen uji puntir sesuai dengan standart. Dilihat dari dimensi pengelasan yang sudah ada, maka standar yang digunakan untuk dimensi spesimen uji puntir adalah AWS (*American Welding Society*) dengan bentuk dan dimensi spesimen seperti ditunjukkan gambar 3.10



Gambar 3.10 Dimensi spesimen uji puntir

Prosedur pengujian uji puntir adalah sebagai berikut :

1. Pasang spesimen pada alat uji puntir
2. Nyalakan stopwatch untuk menghitung waktu
3. Melakukan pengujian selama 2 detik untuk mendapatkan putaran 2 derajat
4. Catat beban puntir yang didapat.
5. Lakukan langkah 3 – 4 sampai spesimen putus.
6. Pelepasan spesimen dari alat uji puntir.

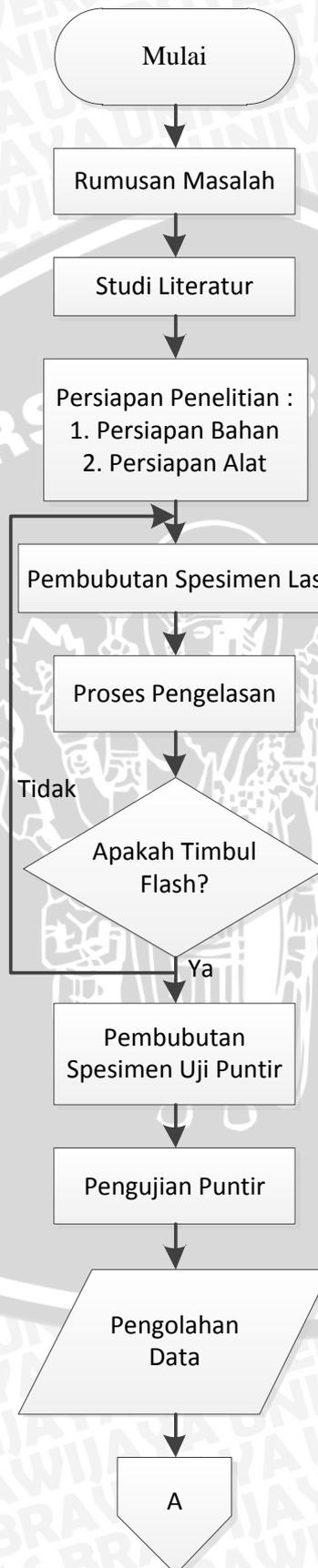
### 3.5.3 Pengujian Kekerasan

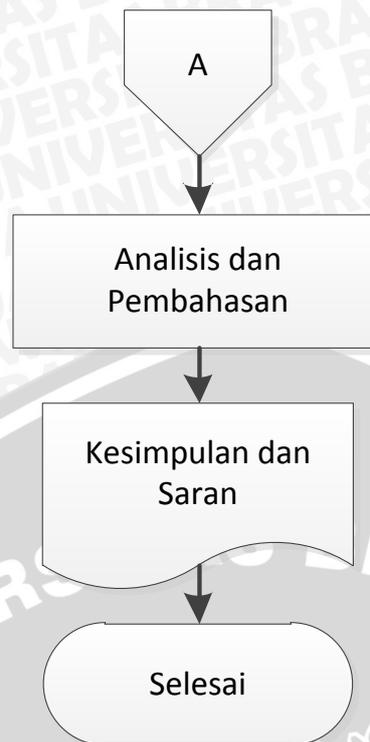
Prosedur pengujian kekerasan adalah sebagai berikut:

1. Spesimen hasil las dibelah pada bagian tengah.
2. Permukaan spesimen dihaluskan menggunakan *Autosol*.
3. Setelah halus permukaan diberikan cairan ETSA.
4. Melakukan pengujian kekerasan menggunakan alat *Microhardness Vickers Tester*.



### 3.6 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.11 Diagram alir penelitian

Gambar 3.11 merupakan diagram alir penelitian yang di dalamnya dibagi menjadi tiga tahapan, yaitu dimulai dari persiapan untuk melakukan penelitian mulai dari membuat rumusan masalah sampai persiapan alat dan bahan penelitian, dilanjutkan dengan penelitian mulai pembubutan spesimen las gesek sampai pengujian puntir, dan yang terakhir pengolahan data dan analisis data yang didapat dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Data Hasil Pengujian Puntir

Dalam penelitian ini, diambil data pengujian puntir hasil dari pengelasan. Pengambilan data kekuatan puntir menggunakan alat Polinema *Torsion Test Machine*. Untuk nilai hasil pengujian puntir dapat dilihat pada tabel 4.1

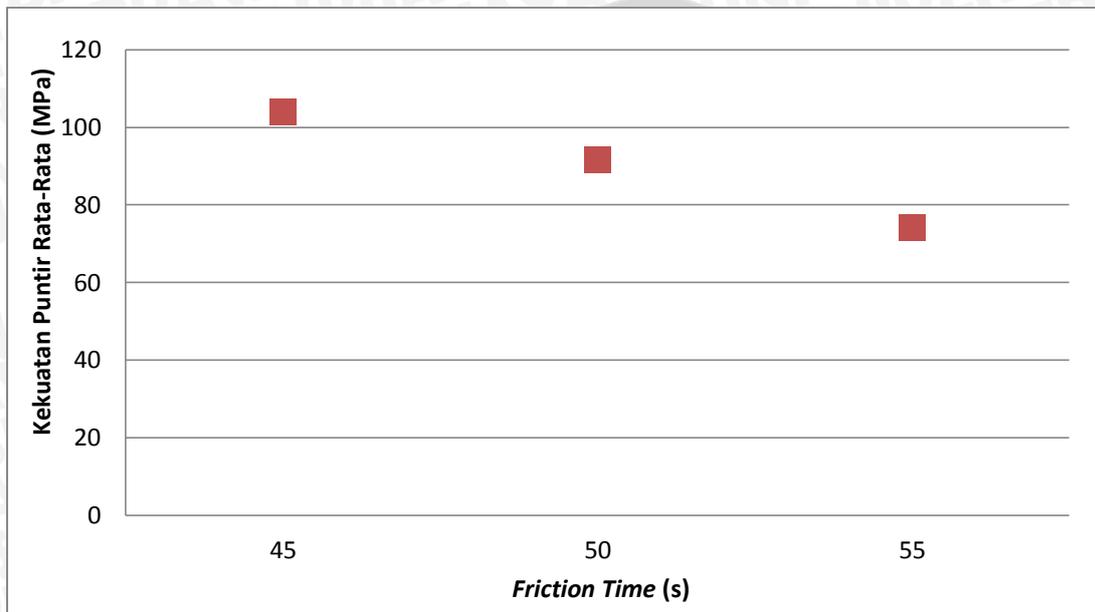
Tabel 4.1 Data nilai momen puntir

No	Sudut Chamfer (°)	Friction Time (s)	Pengulangan	Kekuatan Puntir (MPa)	Kekuatan Puntir Rata-Rata (MPa)	
1	0	45	1	103,22	103,81	
			2	103,93		
			3	104,28		
		50	1	90,89	91,48	
			2	91,95		
			3	91,59		
	55	1	73,28	73,98		
		2	74,69			
		3	73,98			
	2	11,5	45	1	88,08	88,54
				2	88,43	
				3	89,13	
50			1	102,17	103,11	
			2	103,93		
			3	103,22		
55		1	156,42	155,95		
		2	156,07			
		3	155,37			
3		15	45	1	128,24	128,24
				2	127,89	
				3	128,59	
	50		1	108,86	108,04	
			2	108,16		
			3	107,10		
	55	1	113,79	113,21		
		2	112,38			
		3	113,44			
	4	30	45	1	106,04	106,28
				2	106,04	
				3	106,75	
50			1	100,05	99,94	
			2	100,41		
			3	99,35		
55		1	93,01	93,48		
		2	94,06			
		3	93,36			

## 4.2 Pembahasan

### 4.2.1 Hubungan *Friction Time* dengan Kekuatan Puntir Rata-Rata pada Sudut *Chamfer* 0 Derajat

Dari variasi *friction time* pada sudut *chamfer* 0 derajat diperoleh nilai kekuatan puntir rata-rata yang berbeda. Analisa data tersebut disajikan pada grafik di bawah ini.



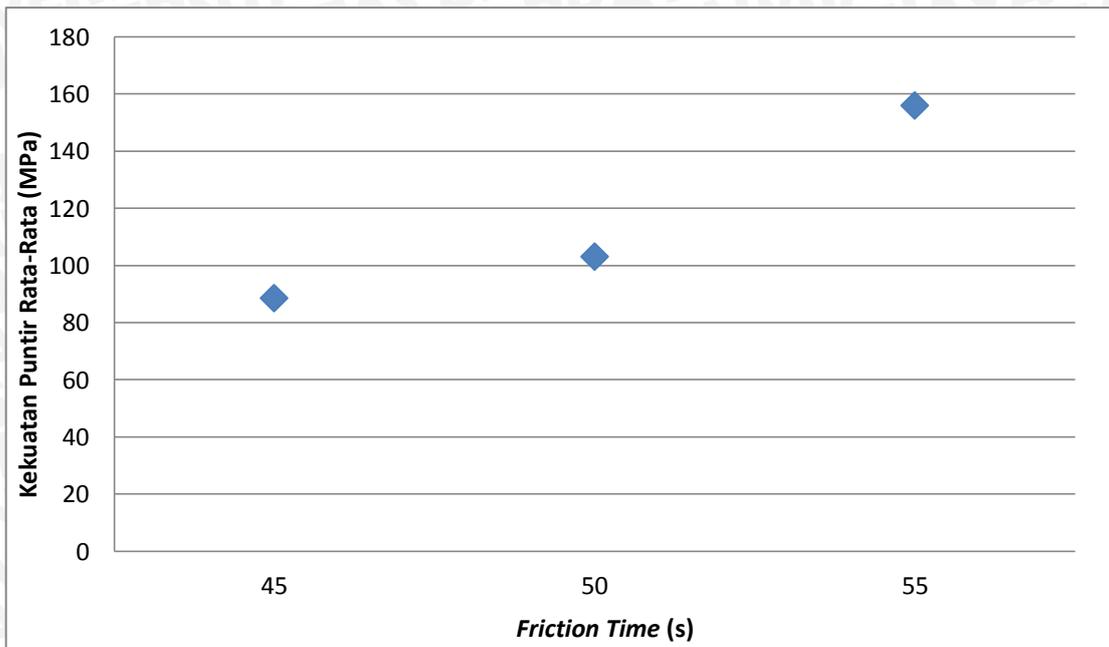
Gambar 4.1 Grafik hubungan *friction time* dengan kekuatan puntir rata-rata pada sudut *chamfer* 0 derajat

Pada gambar 4.1 di atas menunjukkan grafik hubungan antara *friction time* dengan kekuatan puntir rata-rata pada sudut *chamfer* 0 derajat. Besarnya *friction time* pada proses pengelasan gesek memberikan pengaruh pada kekuatan puntir yang dihasilkan.

Pada grafik sudut *chamfer* 0 derajat, *friction time* 45 detik mempunyai nilai kekuatan puntir sebesar 103,81 MPa, sedangkan pada *friction time* 50 detik mempunyai nilai kekuatan puntir sebesar 91,48 MPa, dan pada *friction time* 55 detik mempunyai kekuatan puntir sebesar 73,98 MPa. Dari grafik tersebut menunjukkan kecenderungan nilai kekuatan puntir yang semakin menurun dengan menambahnya *friction time*.

### 4.2.2 Hubungan *Friction Time* dengan Kekuatan Puntir Rata-Rata pada Sudut *Chamfer* 11,5 Derajat

Dari variasi *friction time* pada sudut *chamfer* 11,5 derajat diperoleh nilai kekuatan puntir rata-rata yang berbeda. Analisa data tersebut disajikan pada grafik di bawah ini.



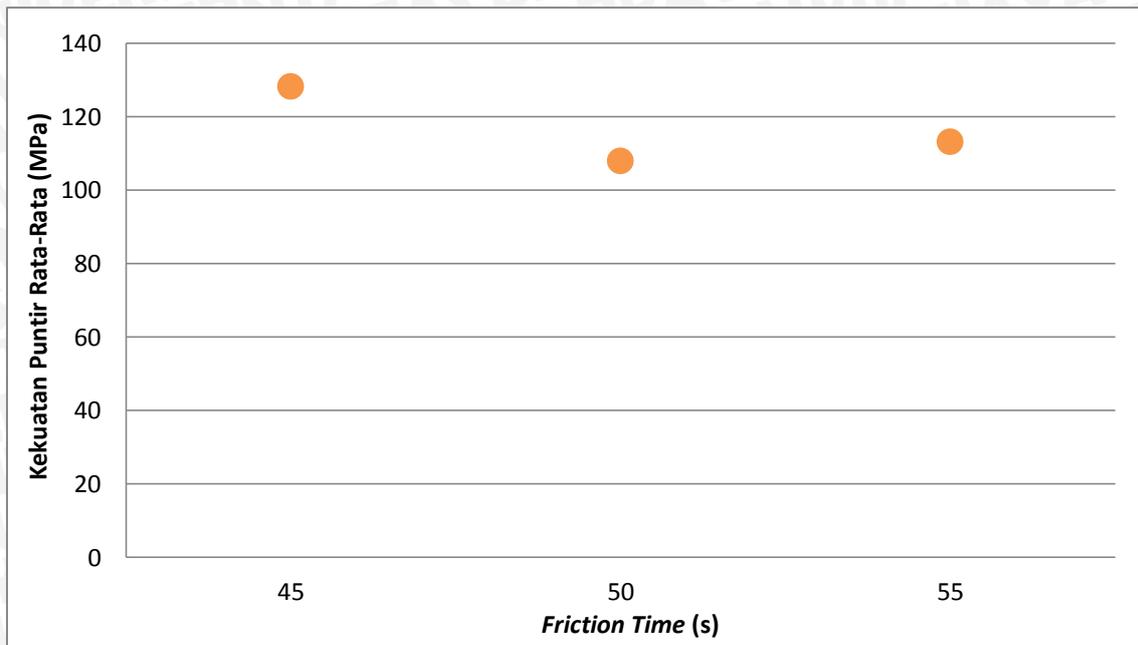
Gambar 4.2 Grafik hubungan *friction time* dengan kekuatan puntir rata-rata pada sudut *chamfer* 11,5 derajat

Pada gambar 4.2 di atas menunjukkan grafik hubungan antara *friction time* dengan kekuatan puntir rata-rata pada sudut *chamfer* 11,5 derajat. Besarnya *friction time* pada proses pengelasan gesek memberikan pengaruh pada kekuatan puntir yang dihasilkan.

Pada grafik sudut *chamfer* 11,5 derajat, *friction time* 45 detik mempunyai nilai kekuatan puntir sebesar 88,54 MPa, sedangkan pada *friction time* 50 detik mempunyai nilai kekuatan puntir sebesar 103,11 MPa, dan pada *friction time* 55 detik mempunyai kekuatan puntir sebesar 155,95 MPa. Dari grafik tersebut menunjukkan kecenderungan nilai kekuatan puntir yang semakin meningkat dengan menambahnya *friction time*.

#### 4.2.3 Hubungan Friction Time dengan Kekuatan Puntir Rata-Rata pada Sudut Chamfer 15 Derajat

Dari variasi *friction time* pada sudut *chamfer* 15 derajat diperoleh nilai kekuatan puntir rata-rata yang berbeda. Analisa data tersebut disajikan pada grafik di bawah ini.



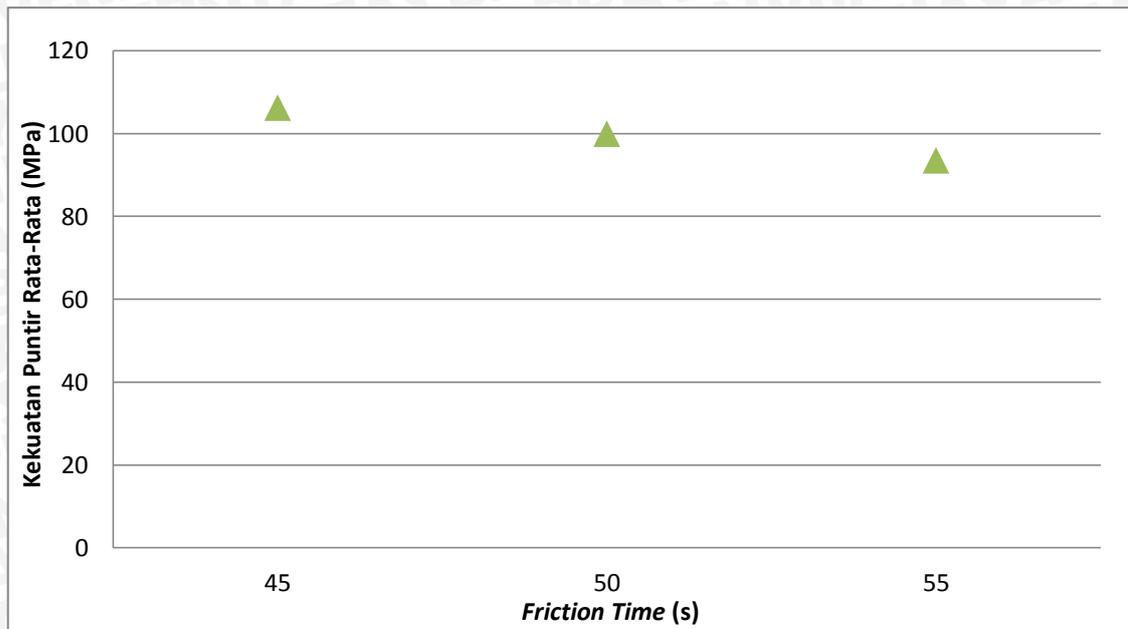
Gambar 4.3 Grafik hubungan *friction time* dengan kekuatan puntir rata-rata pada sudut *chamfer* 15 derajat

Pada gambar 4.3 di atas menunjukkan grafik hubungan antara *friction time* dengan kekuatan puntir rata-rata pada sudut *chamfer* 15 derajat. Besarnya *friction time* pada proses pengelasan gesek memberikan pengaruh pada kekuatan puntir yang dihasilkan.

Pada grafik sudut *chamfer* 15 derajat, *friction time* 45 detik mempunyai nilai kekuatan puntir sebesar 128,24 MPa, sedangkan pada *friction time* 50 detik mempunyai nilai kekuatan puntir sebesar 108,04 MPa, dan pada *friction time* 55 detik mempunyai kekuatan puntir sebesar 113,21 MPa. Dari grafik tersebut menunjukkan kecenderungan nilai kekuatan puntir yang semakin menurun dengan menambahnya *friction time*.

#### 4.2.4 Hubungan *Friction Time* dengan Kekuatan Puntir Rata-Rata pada Sudut *Chamfer* 30 Derajat

Dari variasi *friction time* pada sudut *chamfer* 30 derajat diperoleh nilai kekuatan puntir rata-rata yang berbeda. Analisa data tersebut disajikan pada grafik di bawah ini.

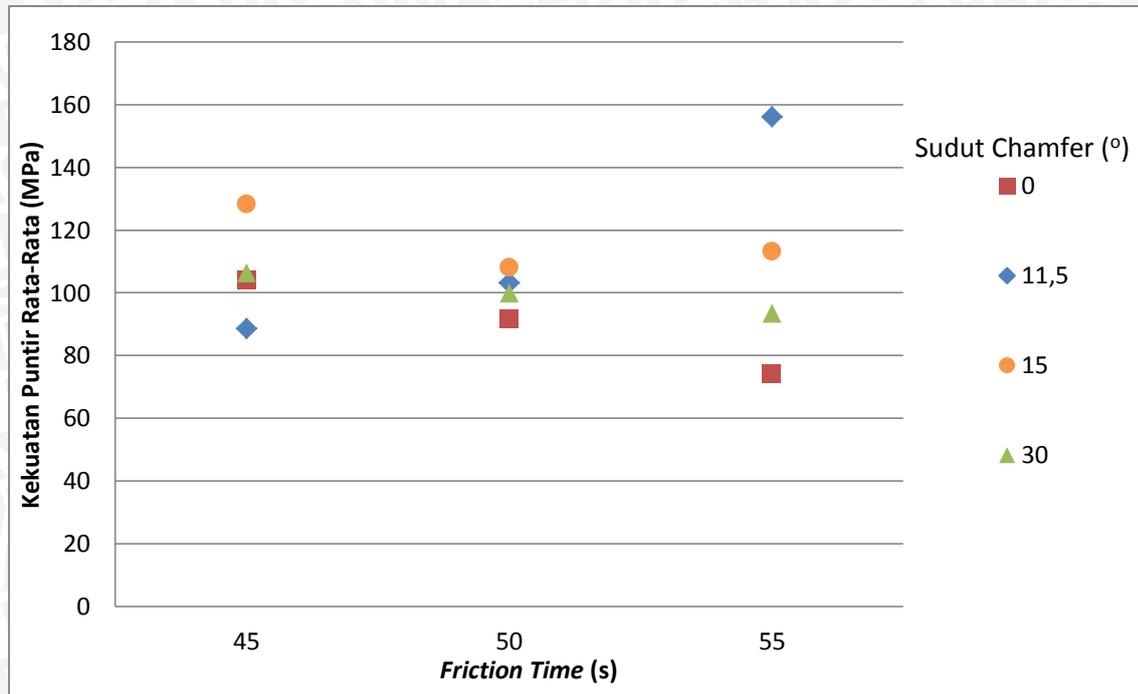


Gambar 4.4 Grafik hubungan *friction time* dengan kekuatan puntir rata-rata pada sudut *chamfer* 30 derajat

Pada gambar 4.4 di atas menunjukkan grafik hubungan antara *friction time* dengan kekuatan puntir rata-rata pada sudut *chamfer* 30 derajat. Besarnya *friction time* pada proses pengelasan gesek memberikan pengaruh pada kekuatan puntir yang dihasilkan.

Pada grafik sudut *chamfer* 30 derajat, *friction time* 45 detik mempunyai nilai kekuatan puntir sebesar 106,28 MPa, sedangkan pada *friction time* 50 detik mempunyai nilai kekuatan puntir sebesar 99,94 MPa, dan pada *friction time* 55 detik mempunyai kekuatan puntir sebesar 93,48 MPa. Dari grafik tersebut menunjukkan kecenderungan nilai kekuatan puntir yang semakin menurun dengan menambahnya *friction time*.

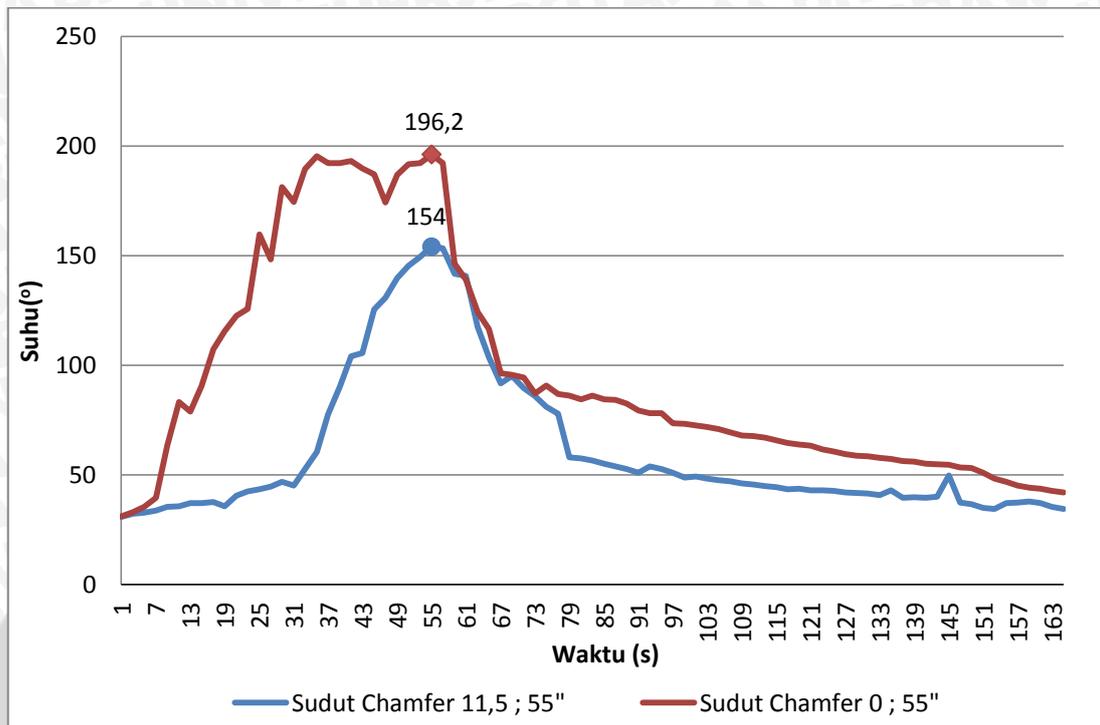
#### 4.2.5 Hubungan *Friction Time* dengan Kekuatan Puntir Rata-Rata pada Sudut *Chamfer*



Gambar 4.5 Grafik hubungan *friction time* dengan kekuatan puntir rata-rata pada sudut *chamfer*

Dari gambar 4.5 menunjukkan hubungan *friction time* terhadap kekuatan puntir rata-rata pada sudut *chamfer*  $0^\circ$ ,  $11,5^\circ$ ,  $15^\circ$ , dan  $30^\circ$ . Dari grafik tersebut terlihat nilai kekuatan puntir rata-rata tertinggi terdapat di variasi sudut *chamfer*  $11,5^\circ$  dan *friction time* 55 detik dengan nilai sebesar 155,95 MPa. Sedangkan nilai kekuatan puntir rata-rata terendah terdapat di variasi sudut *chamfer*  $0^\circ$  dan *friction time* 55 detik dengan nilai sebesar 73,98 MPa.

#### 4.2.6 Analisis Suhu pada Proses Pengelasan



Gambar 4.6 Grafik distribusi suhu pada proses pengelasan

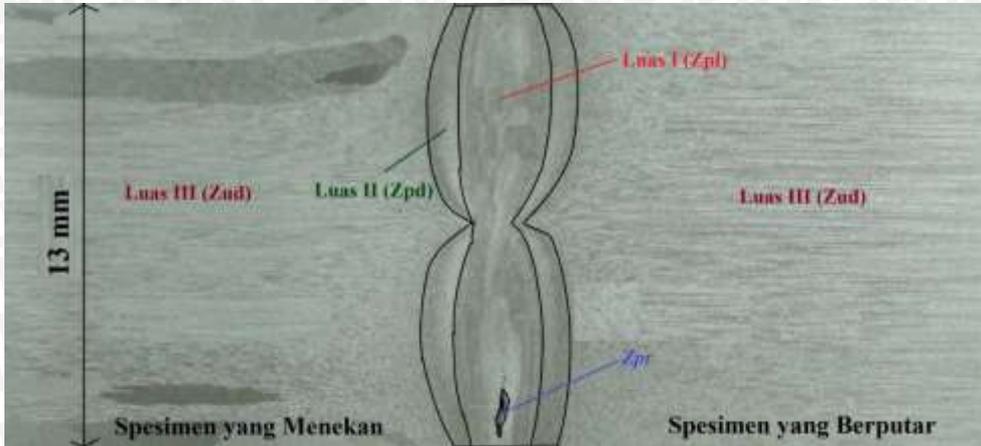
Gambar 4.6 menunjukkan distribusi suhu pada proses pengelasan, untuk yang berwarna biru untuk spesimen dengan sudut *chamfer*  $11,5^\circ$  dan *friction time* 55 detik, sedangkan yang berwarna merah untuk spesimen dengan sudut *chamfer*  $0^\circ$  dan *friction time* 55 detik. Dari grafik tersebut bisa dilihat kenaikan suhu yang signifikan terjadi pada spesimen dengan sudut *chamfer*  $0^\circ$  dan *friction time* 55 detik dengan suhu maksimum sebesar  $196,2^\circ\text{C}$  lebih tinggi dibanding dengan sudut *chamfer*  $11,5^\circ$  dan *friction time* 55 detik dengan suhu maksimum sebesar  $154^\circ\text{C}$ .

Hal ini dikarenakan untuk spesimen  $0^\circ$  luas permukaan yang bergesekan lebih besar dibanding dengan spesimen yang lain. Sehingga menyebabkan suhu gesekan yang lebih tinggi dan penyebaran panas yang lebih cepat dan merata. Maka luas daerah HAZ yang terbentuk juga semakin besar. Di dasar teori sudah dijelaskan, bahwa apabila semakin besar luas HAZ yang terbentuk, maka kekuatan puntir yang didapat semakin kecil.

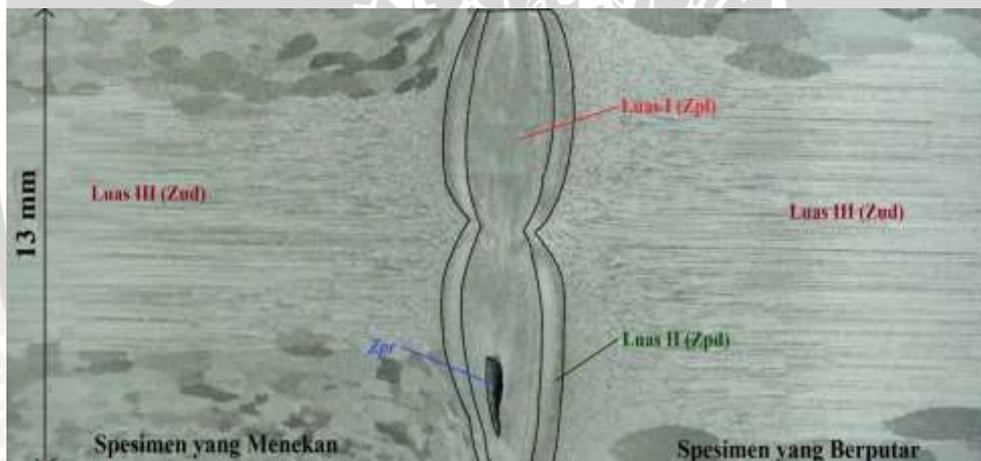
#### 4.2.7 Analisis Luasan Daerah Hasil Pengelasan

Dari hasil foto makrostruktur pada bagian dalam spesimen hasil pengelasan gesek yang sudah dibelah pada bagian tengah dan diberikan cairan etsa pada permukaannya,

dapat dilihat batas-batas daerah pengelasan yaitu Luas I (Zpl), Luas II (Zpd), Luas III (Zud), dan *Porosity Zone* (Zpr). Dengan adanya batas-batas tersebut dapat menganalisis luasan dari daerah pengelasan dengan menggunakan *software ImageJ*.



Gambar 4.7 Foto makrostruktur spesimen dengan sudut *chamfer*  $11,5^\circ$  dan *friction time* 55 detik



Gambar 4.8 Foto makrostruktur spesimen dengan sudut *chamfer*  $0^\circ$  dan *friction time* 55 detik

Gambar 4.7 dan 4.8 menampilkan foto makrostruktur yang memiliki nilai kekuatan puntir tertinggi dan terendah. Yang mana nilai kekuatan puntir tertinggi terdapat pada sudut *chamfer*  $11,5^\circ$  dan *friction time* 55 detik, sedangkan nilai kekuatan puntir terendah terdapat pada sudut *chamfer*  $0^\circ$  dan *friction time* 55 detik. Hasil analisis luasan Region II, Region III, dan Zpr dari masing-masing spesimen bisa dilihat pada tabel 4.2.

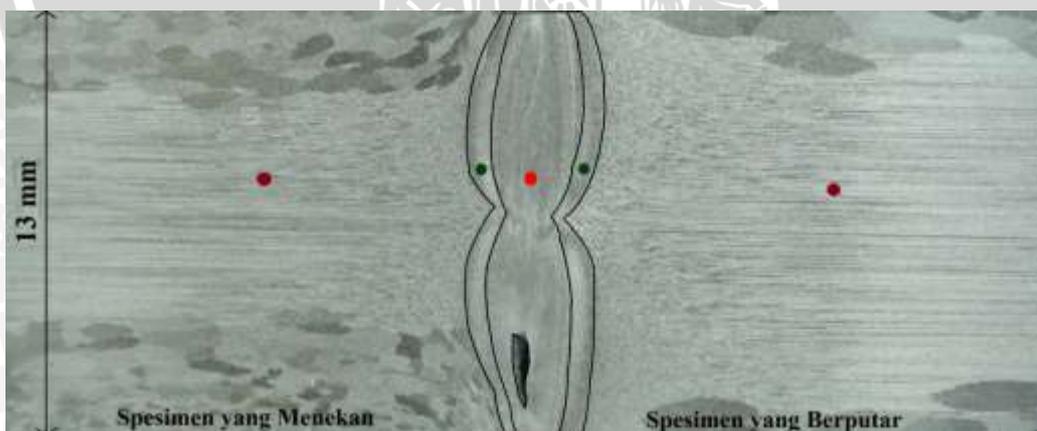
Tabel 4.2 Data nilai luasan daerah HAZ

Spesimen	Luas I (mm <sup>2</sup> )	Luas II (mm <sup>2</sup> )	Z <sub>pr</sub> (mm <sup>2</sup> )
11,5° ; 55"	28,808	17,074	0,720
0° ; 55"	27,891	23,006	0,265

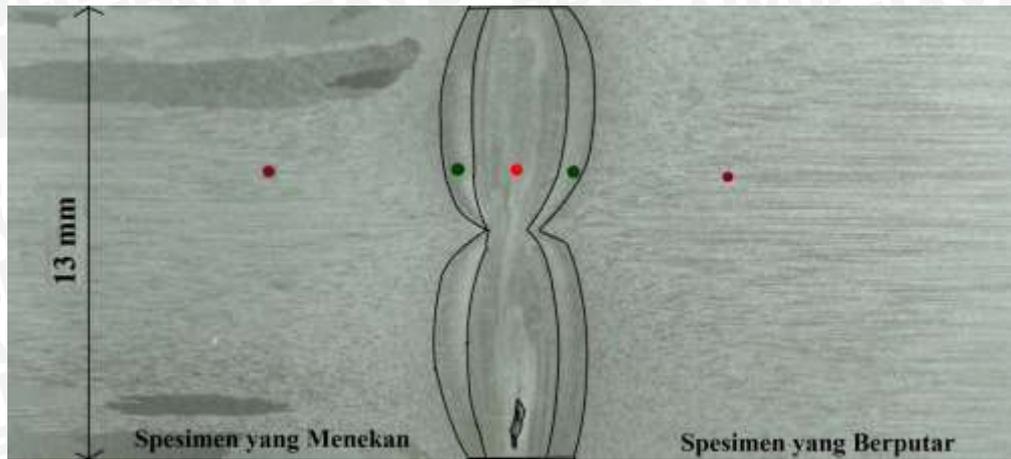
Dari tabel 4.2 dapat diketahui luasan daerah Luas I, Luas II, dan  $Z_{pr}$ . Dari daerah luasan tersebut dapat dilihat bahwa spesimen dengan sudut *chamfer* 0° dan *friction time* 55 detik memiliki luasan HAZ (Luas I dan Luas II) lebih besar dengan luas sebesar 50,897 mm<sup>2</sup> daripada spesimen sudut *chamfer* 11,5° dan *friction time* 55 detik dengan luas sebesar 45,882 mm<sup>2</sup>. Hal tersebut dikarenakan pada sudut *chamfer* 0° seluruh permukaan spesimen lebih lama mengalami gesekan, oleh karena itu panas yang dihasilkan juga semakin besar. Semakin besar panas yang dihasilkan maka daerah HAZ yang terbentuk juga semakin besar. Ini akan menyebabkan nilai kekuatan puntir dari sambungan las tersebut yang semakin menurun.

#### 4.2.8 Hasil Pengujian Kekerasan pada Daerah Pengelasan

Dilihat dari nilai kekerasan pada daerah pengelasan juga dapat mempengaruhi nilai kekuatan puntir yang didapat. Berikut adalah data hasil dari uji kekerasan rata-rata untuk setiap titiknya yang diambil tiga data kekerasannya.



Gambar 4.9 Foto makrostruktur uji kekerasan spesimen dengan sudut *chamfer* 11,5° dan *friction time* 55 detik



Gambar 4.10 Foto makrostruktur uji kekerasan spesimen dengan sudut *chamfer*  $0^\circ$  dan *friction time* 55 detik

Gambar 4.9 dan 4.10 merupakan foto makrostruktur uji kekerasan di mana pada titik berwarna pada foto adalah lokasi yang diambil nilai kekerasannya. Untuk titik berwarna coklat berada pada daerah Luas III, sedangkan untuk berwarna hijau berada pada daerah Luas II, dan yang berwarna merah berada pada daerah Luas I. Setiap titik diambil tiga buah nilai kekerasan. Untuk nilai kekerasan bisa dilihat pada tabel 4.3

Tabel 4.3 Data hasil pengujian kekerasan *Vickers*

Spesimen	Daerah	Kekerasan Rata-Rata
		(VHN)
11,5° ; 55"	HAZ	303,83
	Luas III	175,10
0° ; 55"	HAZ	300,68
	Luas III	139,27

Dari tabel 4.3 dapat dilihat bahwa spesimen dengan sudut *chamfer*  $11,5^\circ$  dan *friction time* 55 detik nilai kekerasan rata-rata pada setiap daerah, yaitu daerah HAZ sebesar 303,83 VHN dan Luas III sebesar 175,10 VHN. Sedangkan spesimen sudut *chamfer*  $0^\circ$  dan *friction time* 55 detik nilai kekerasan rata-rata pada setiap daerah, yaitu daerah HAZ sebesar 300,68 VHN dan Luas III sebesar 139,27 VHN. Dari data di atas bisa dikatakan spesimen dengan sudut *chamfer*  $11,5^\circ$  dan *friction time* 55 detik memiliki nilai kekuatan puntir lebih besar dibandingkan dengan yang lainnya. Dikarenakan pada spesimen dengan sudut *chamfer*  $11,5^\circ$  dan *friction time* 55 detik memiliki nilai kekuatan puntir yang tinggi dan memiliki nilai kekerasan pada daerah HAZ yang besar.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dalam penelitian ini adalah :

Besarnya sudut *chamfer* dan *friction time* dapat memengaruhi kekuatan puntir pada sambungan pengelasan gesek paduan Al-Mg-Si. Dengan kekuatan puntir rata-rata tertinggi terdapat pada spesimen dengan sudut *chamfer*  $11,5^\circ$  dan *friction time* 55 detik dengan nilai sebesar 155,95 MPa. Sedangkan nilai terendah terdapat pada spesimen dengan sudut *chamfer*  $0^\circ$  dan *friction time* 55 detik dengan nilai sebesar 73,98 MPa.

### 5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan putaran *spindle* yang lebih cepat agar tidak memerlukan *friction time* yang lama.
2. Dibutuhkan alat yang benar-benar diperuntukan pengelasan gesek agar hasil mendapatkan hasil yang lebih baik.



## DAFTAR PUSTAKA

- American Society for Testing and Materials. 2004. Standard Test Method for Torsion at Room Temperature, ASTM Designation E143. Annual Book of ASTM Standards. Vol. 03.01. pp 338-342.
- Amirullah, Muhamad , Yudi Surya Irawan, Tjuk Oerbandono. 2014. "*Pengaruh Sudut Chamfer Satu Sisi Dan Friction Time Terhadap Kekuatan Puntir Pada Sambungan Las Gesek Al- Mg- Si*", Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Malang.
- Ardianto, Alfian Ferry., Yudi Surya Irawan , Rudy Soenoko. 2015. "*Kekuatan puntir sambungan las gesek Al-Mg-Si dengan variasi sudut chamfer dua sisi dan kekasaran*", Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Malang.
- Dieter, George. 1988. "*Mechanical Metallurgy*". McGraw-Hill Company. United Kingdom.
- I.J. Polmear. 1995. "*Light Alloys*", E. Arnold, Hodder & Stoughton Ltd. Third edition, UK.
- Kissel, Ferry, Robbert. 2002. "*Aluminium Structure : A Guide to Their Specifications and Design*". John Wiley & Son , Inc. New York.
- Kuswandi, Ari., Yudy Surya Irawan , Winarno Yahdi Atmodjo. 2010. "*Pengaruh friction time terhadap kekuatan impak sambungan las gesek pada paduan Al-Mg-Si*", Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Malang.
- Prasetyono, Sigied., Hari Subiyanto. 2012. "*Pengaruh Durasi Gesek, Tekanan Gesek Dan Tekanan Tempa Terhadap Impact Strength Ssambungan Lasan Gesek Langsung Pada Baja Karbon AISI 1045*", Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Sahin, Mumin dkk. 2010. "*Modelling of Friction Welding*". Faculty of Engineering and Arch. Mechanical Engineering Trakya University.
- Santoso, Eko Budi., Yudy Surya Irawan, Endi Sutikno. 2012. "*Pengaruh Sudut Chamfer Dan Gaya Tekan Akhir Terhadap Kekuatan Tarik Dan Porositas Sambungan Las Gesek Pada Paduan Al-Mg-Si*", Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Malang.
- Setyawan, Pungky Eka., Yudy Surya Irawan , Wahyono Suprpto. 2014. "*Kekuatan Tarik dan Porositas Hasil Sambungan Las Gesek Aluminium 6061 dengan Berbagai Suhu Aging*", Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Malang.
- Spindler. 1994. "*What Industry Needs to Know About Friction Welding*", Welding Journal. Indiana.
- Stanley, Mark Smith. 2011. "*ASM Handbook Welding Fundamental and Processes*". Materials Park. Ohio. United Stated of America.

Tyagita, Dicky., Yudy Surya Irawan , Wahyono Suprpto. 2014. “*Kekuatan Puntir dan Porositas Hasil Sambungan Las Gesek Al-Mg-Si dengan Variasi sudut chamfer dan Gaya Tekan Akhir*”, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.Malang.

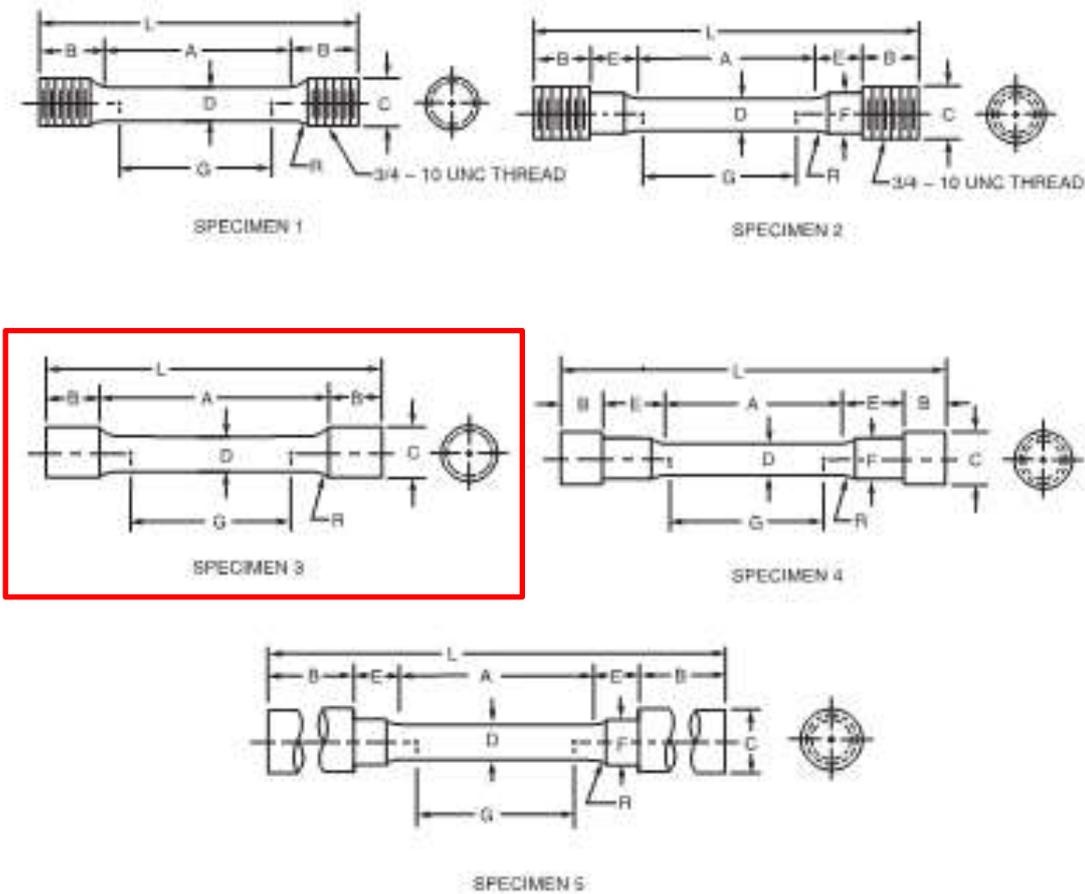
Wiryosumatro, Harsono., Toshie Okumora. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta. Pradnya Paramita



# Lampiran 1

CLAUSE 4. TENSION TESTS

AWB B4.0:2007



Dimensions					
	Specimen 1 in (mm)	Specimen 2 in (mm)	Specimen 3 in (mm)	Specimen 4 in (mm)	Specimen 5 in (mm)
G — gage length	2.000 ± 0.005 (50 ± 0.127)				
D — diameter (Note 1)	0.500 ± 0.010 (13 ± 0.254)				
R — radius of fillet, min.	3/8 (10)	3/8 (10)	1/16 (1.6)	3/8 (10)	3/8 (10)
A — length of reduced section (Note 2)	2-1/4 (58) min.	2-1/4 (58) min.	4 (101) approx.	2-1/4 (58) min.	2-1/4 (58) min.
L — over-all length approx.	5 (126)	5-1/2 (139)	5-1/2 (139)	4-3/4 (120)	9-1/2 (241)
B — length of end section	1-3/8 (35) approx.	1 (25) approx.	3/4 (19) approx.	1/2 (13) approx.	3 (76) min.
C — diameter of end section	3/4 (19)	3/4 (19)	23/32 (18)	7/8 (22)	3/4 (19)
E — length of shoulder and fillet section, approx.	—	5/8 (16)	—	3/4 (19)	5/8 (16)
F — diameter of shoulder	—	5/8 (16)	—	5/8 (16)	10/32 (15)

Figure 4.1 (Continued)—Round Tensile Specimens

Lampiran 2



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
POLITEKNIK NEGERI MALANG

Jl. Soekarno Hatta No.9 Malang 65141  
Telp (0341) 404424 – 404425 Fax (0341) 404420  
<http://www.polinema.ac.id>



**SURAT KETERANGAN**  
NOMOR : 491 /PL.2.TM/KM/2015

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Ir. Kasijanto, MT.  
NIP : 19580815 199003 1 001  
Jabatan : Ketua Jurusan Teknik Mesin  
Politeknik Negeri Malang

Menerangkan dengan sesungguhnya bahwa mahasiswa :

Nama : Rifyal Fauzan  
Nim : 115060207111012  
Jurusan : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Universitas Brawijaya

Benar benar telah melaksanakan penelitian Pengujian Puntir Material Aluminium AL 6061 di Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang pada tanggal 16-18 November 2015, guna keperluan penyusunan skripsi.

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Malang, 16 November 2015

Ketua Jurusan Teknik Mesin  
Sekretaris Jurusan Teknik Mesin

Pendi Ligitio, S.Si., M.T  
19590815 199512 1 001



Lampiran 3

	45 Detik			Sudut Chamfer 0 (Kg)			50 Detik			55 Detik		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
3	3	4	3.5	4	4.2	4.1	4.7	4.5	4.6			
5.5	5.3	6.1	5.4	5.6	5.4	7	7	7	7.2			
7.5	7.3	7.8	8	8.1	8.2	8.3	8.3	8.5	8.4			
9.9	9.4	9.6	10.2	10.4	10.3	10.6	10.6	10.8	10.5			
10.1	10.5	11.5	12	12.4	12.1	12.7	12.7	12.5	12.6			
13.7	13.5	13.9	13.9	14.1	14.1	14.1	14.4	14.2	14.3			
15.7	15.3	14.9	15.0	15.2	15.1	15.1	15.2	15.4	15.6			
16.5	16.7	16.9	16.2	16	16.1	16.4	16.4	16.6	16.5			
17.2	17.1	17.4	17.2	17.1	17.3	17.3	17.6	17.5	18			
17.8	18	18.1	18.1	18.1	18.0	18.0	18.4	18.2	18.3			
18.3	19	19.2	19.1	19.0	18.9	18.9	19.6	19.4	19.5			
19.3	19.8	19.5	19.9	20.1	20.0	20.6	20.6	21	20.8			
20.1	20.6	20.2	20.3	20.7	20.5	21.0	21.0	21.8	21.8			
20.9	21.3	21.1	22.4	21.4	22.0	22.2	22.2	22.4	22.3			
21.3	21.9	21.9	23.2	23.3	23.1	23.6	23.6	23.8	23.2			
21.7	22.5	22.5	25.0	25.1	24.9	26.6	26.6	26.2	26.4			
24.9	25.1	25.2	26.3	26.3	26.2	27.4	27.4	27.5	27.6			
24.4	24.5	24.3	27.8	28.0	27.9	28.2	28.2	28.4	28.3			
24.3	24.5	24.1	29.8	30.0	29.9	29.2	29.2	29.3	29.1			
24	24.1	23.8	30.0	30.2	30.1	31.3	31.3	31.3	31.1			
22.2	22.7	22.5	27.2	27.0	27.1	25.9	26.1	26.1	26.1			
20.9	21.5	21	23.0	22.0	22.6	13.9	14	14	14			
20.2	20.1	20	20.4	19.0	19.6							
17.9	18.1	18.3	17.0	17.1	17.2							
14.5	14.6	14.8	15.2	15.0	15.1							
11.1	11.2	10.9										



45 Detik	Sudut Chamfer 11,5 (kg)			50 Detik			55 Detik		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
5.2	5.4	5.3	5.5	5.5	5.4	5.3	5.2	5.2	5.5
8	8.1	8.2	8.5	8.3	8.4	8.2	8.3	8.3	8.2
10.3	10.4	10.2	9.9	10.1	10.8	10.2	10.3	10.3	10.2
13.6	13.7	13.6	13.4	13	13.2	13.3	13.5	13.4	13.4
15.4	15.5	15.4	16.3	15.6	15.5	15.8	15.5	15.7	15.7
18.1	18	18.1	18	17.5	17.8	18.1	18	18.3	18.3
20.2	20.1	20.0	20	20.1	20.3	20.1	20.1	20.1	20.1
21.2	21.3	21.2	21.4	21.2	21.3	21.2	21.1	21.1	21.1
22.3	22.4	22.4	22.5	22.2	22.4	22.5	22.4	22.2	22.2
23.4	23.6	23.4	23.5	23.6	23.4	23.3	23.2	23.4	23.4
24.1	24.0	24.2	24.5	24.5	24.6	24.5	24.4	24.3	24.3
25.2	25	25.1	25.3	25.2	25.1	25.4	25.3	25.1	25.1
26.4	25.8	26.1	26.3	26.2	26.1	26.3	26.2	26.1	26.1
27.1	27.3	27.0	27.1	27	27	26.9	26.8	26.7	26.7
27.8	27.9	27.7	27.8	27.9	27.7	27.7	27.6	27.7	27.7
28.1	28.1	28.0	28.1	28.2	28.2	28.1	28	28.2	28.2
28.2	28.4	28.3	28.7	29.1	29	29	29.1	29.1	29.1
28.7	28.8	28.6	29.2	29.5	29.3	29.4	29.5	29.3	29.3
29.7	29.8	29.6	29.6	29.6	29.8	29.9	30	30.1	30.1
31.1	31.1	30.9	30.6	30.9	30.7	30.5	30.4	30.3	30.3
32.0	32.2	31.8	31	31	31.2	31.1	31.2	31.2	31.2
29.0	30.0	29.2	31.1	31.9	31.4	31.5	31.4	31.5	31.5
13.2	13.1	13.0	32.6	32.7	32.8	32.7	32.5	32.5	32.5
			33.5	33.4	33.6	33.6	33.5	33.4	33.4
			34.2	34.1	34	33.1	33	33.2	33.2
			30.8	30.7	30.6	30.5	30.4	30.6	30.6
			20.2	20.3	20.4	22.4	22.4	22.2	22.2
			11	11.2	11.1	15.1	15.3	15.4	15.4
			9.2	9	9.1	7.8	8	8.1	8.1



	45 Detik			Sudut Chamfer 15 (Kg)			50 Detik			55 Detik		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
5.4	5.5	5.3	5.3	5.3	5.3	5.5	5.4	5.5	5.3	5.4	5.5	5.3
8.4	8.3	8.2	8.5	8.4	8.3	8.3	8.3	8.4	8.3	8.3	8.4	8.3
10.2	10.4	10.3	10.1	10.6	10.2	10.2	10.3	10.4	10.3	10.3	10.4	10.3
11.3	11.4	11.2	12.2	12	12.1	12.1	12.1	12.2	12.2	12.1	12.2	12.3
15.6	15.7	15.5	13.3	13.4	13.2	13.2	13.4	13.4	13.2	13.4	13.4	13.2
18.3	18.2	18.4	14.5	14.4	14.7	14.7	15.4	15.3	15.2	15.4	15.3	15.2
19.0	18.9	19.1	15.3	15.4	15.6	15.6	15.7	15.9	15.5	15.7	15.9	15.5
20.2	20.3	20.1	16.1	16.2	16.3	16.3	16.1	16.3	16.3	16.1	16.3	16.3
21.0	21.1	21.0	16.9	17	17.1	17.1	17	17.1	17.2	17.1	17.1	17.2
21.8	22.0	21.9	17.6	17.7	17.5	17.5	17.5	17.6	17.4	17.5	17.6	17.4
22.0	22.3	22.2	18	18.1	17.9	17.9	18.1	18	18.2	18.1	18	18.2
25.2	25.3	25.1	18.5	18.8	18.6	18.6	18.5	18.4	18.6	18.5	18.4	18.6
26.2	26.3	26.1	19.1	19.2	19	19	19.2	19.1	19.2	19.1	19.1	19.2
26.8	26.7	26.6	19.5	19.6	19.4	19.4	19.4	19.5	19.5	19.4	19.5	19.5
27.7	27.6	27.7	21.4	21.3	21.2	21.2	21.3	21.2	21.3	21.3	21.2	21.3
28.6	28.7	28.7	21.8	21.9	21.8	21.8	21.8	21.7	21.6	21.8	21.7	21.6
29.4	29.3	29.3	22.4	22.3	22.4	22.4	22.3	22.4	22.4	22.3	22.4	22.4
29.9	29.8	30.0	23	22.9	23.2	23.2	23.2	23.3	23.1	23.2	23.3	23.1
29.2	29.1	29.2	25.4	25.4	25.5	25.5	25.4	25.3	25.3	25.4	25.3	25.3
27.0	27.0	25.1	22.2	22	23.2	23.2	26.1	26	26.2	25.2	25.1	25.3
25.3	25.2	23.2	21.8	21.2	22.4	22.4	22.1	21.9	22.2	22.1	21.9	22.2
19.2	19.8	15.2	21.2	21	21.7	21.7	20.1	20.2	20.2	20.1	20.2	20.2
18.6	19.0	14.2	18.4	18.2	18.6	18.6	19.2	19.1	19.1	19.2	19.1	19.1
14.8	15.0	12.6	15.5	15.6	15.4	15.4	19.2	19.1	19.1	19.2	19.1	19.1
7.9	8.0	8.0	9.2	9	9.3	9.3	9.1	9	9	9.1	9	9



	45 Detik			50 Detik			55 Detik		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
5.4	5.3	5.5	5.5	5.4	5.3	5.4	5.4	5.3	5.5
8.5	8.4	8.6	8.7	8.5	8.6	8.6	8.6	8.5	8.4
10.2	10.1	10.3	10.0	10.1	10.2	10.2	10.2	10.1	10.2
12.1	12	12.2	12.2	12.1	12	12.1	12.1	12.2	12.3
13.4	13.3	13.4	13.5	13.4	13.4	13.4	13.4	13.3	13.3
14.4	14.3	14.5	14.2	14.3	14.3	14.1	14.1	14.0	14.2
15.4	15.3	15.4	15.3	15.5	15.4	15.2	15.2	15.1	15.2
16	15.9	16.2	16.2	16.0	16.1	16.3	16.3	16.4	16.5
16.9	16.8	16.8	16.9	16.8	16.9	16.8	16.7	16.7	16.9
17.5	17.3	17.4	17.1	17.2	17.3	17.0	17.1	17.1	17.2
18.2	18.1	18.3	18.1	18.2	18.3	18.2	18.1	18.1	18.0
18.6	18.5	18.5	18.6	18.4	18.5	18.5	18.4	18.4	18.4
19.1	19.2	19.2	19.3	19.2	19.1	19.4	19.3	19.3	19.4
21.4	21.4	21.3	21.2	21.1	21.0	21.1	21.1	21.1	21.0
22.4	22.3	22.0	22.2	22.2	22.3	22.1	22.1	22.0	22.2
23	23.3	23.5	24.4	24.3	24.3	24.3	24.2	24.1	24.1
25.4	25.4	25.8	25.1	25.2	25.1	25.0	24.9	25.1	25.1
26.2	26.3	26.5	22.1	22.4	22.0	26.3	26.2	26.2	26.2
27	27.2	27.4	20.5	20.6	20.8	27.1	27.2	27.0	27.0
28.1	28.0	27.9	19.5	19.4	19.8	28.1	28.2	28.0	28.0
29	28.9	29.2	18.7	18.4	18.5	28.3	28.4	28.4	28.4
32.1	32.0	32.2	15.4	15.4	15.5	26.4	26.8	26.6	26.6
33.3	33.2	33.4	8.9	9.0	9.1	20.8	21.0	21.2	21.2
34	34.1	34.0				18.4	18.6	18.8	18.8
28	27.8	28.0				16.6	16.8	16.4	16.4
22.2	22.0	22.2				9.1	9.0	8.9	8.9
20.8	21.0	20.7							
20.2	19.9	19.8							
18.4	18.5	18.4							
15.5	15.4	15.4							



Lampiran 4



PT.H.P.METALS INDONESIA **122804**

Method: Al-SS-6063 9/18/2015 6:16:05 AM  
 Comment: Al-Base SS-6063 Element Concentration  
 Sample No.: Sample ID:

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.530	0.338	0.231	0.125	0.799	0.0489	0.0373	0.0250
2	0.529	0.344	0.229	0.125	0.795	0.0490	0.0372	0.0249
3	0.549	0.368	0.234	0.122	0.786	0.0486	0.0383	0.0257

	Na	Ca	Ni	Pb	P	Sn	Sb	Sr
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.00036	0.00019	0.0106	0.0022	< 0.00050	0.0014	< 0.00040	< 0.00010
2	0.00032	0.00016	0.0103	0.0021	< 0.00050	0.0013	< 0.00040	< 0.00010
3	0.00062	0.00050	0.0111	0.0021	< 0.00050	0.0017	< 0.00040	< 0.00010

	Be	Zr	Bi	Cd	Al			
	%	%	%	%	%			
1	0.00006	0.00062	< 0.00030	0.00058	97.8			
2	0.00006	0.00067	< 0.00030	0.00063	97.8			
3	0.00008	0.00048	< 0.00030	0.00056	97.8			





PT.H.P.METALS INDONESIA

122804

Method: Al-SS-6063

9/18/2015 6:16:05 AM

Comment: Al-Base SS-6063

Element Concentration

Sample No.:

Sample ID:

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
	%	%	%	%	%	%	%	%
Ø (3)	0.536	0.350	0.231	0.124	0.793	0.0488	0.0376	0.0252

	Na	Ca	Ni	Pb	P	Sn	Sb	Sr
	%	%	%	%	%	%	%	%
Ø (3)	0.00050	0.00028	0.0107	0.0021	< 0.00050	0.0015	< 0.00040	< 0.00010

	Be	Zr	Bi	Cd	Al			
	%	%	%	%	%			
Ø (3)	0.00008	0.00059	< 0.00030	0.00062	97.8			

- 1 -

18/09 2015  
 LABORAT  
 Jeffrey  
 (T. Jeffrey)



### Lampiran 5

- Spesimen sudut chamfer 0° dan friction time 55”



Gambar spesimen hasil pengelasan



Gambar spesimen uji puntir



Gambar spesimen patahan (tampak tidur)



Gambar spesimen patahan (tampak berdiri)

- Spesimen sudut chamfer 11,5° dan friction time 55"



Gambar spesimen hasil pengelasan



Gambar spesimen uji puntir



Gambar spesimen patahan (tampak tidur)



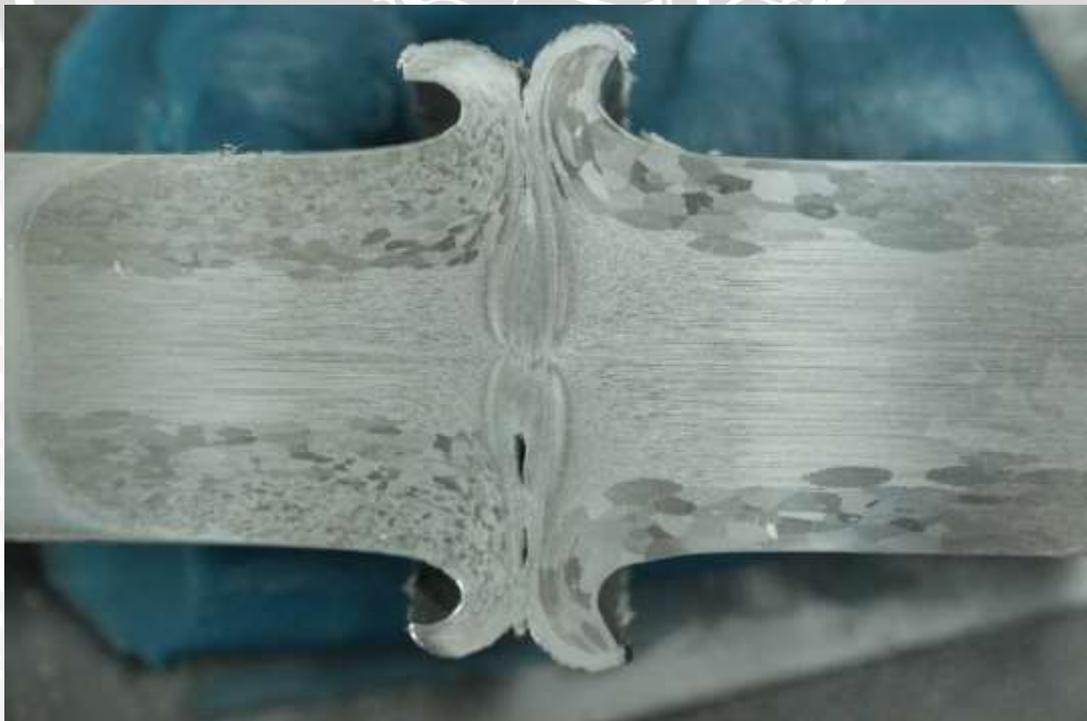
Gambar spesimen patahan (tampak berdiri)

### Lampiran 6

- Foto makrostruktur Spesimen sudut chamfer  $0^\circ$  dan friction time 55"



- Foto makrostruktur Spesimen sudut chamfer  $11,5^\circ$  dan friction time 55"



Lampiran 7



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI  
JURUSAN MESIN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
LABORATORIUM PENGUJIAN BAHAN

Jl. Mayjen Haryono 167 Telp. 553286 Pes. 1214 Malang 65145

Surat Keterangan Penelitian  
Nomor : 002/PT.13.FT.6.M/I/2016

Yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan dengan sesungguhnya bahwa mahasiswa:

Nama : Rifyal Fauzan  
Nim. : 115060207111012-62  
Jurusan : S-1 Teknik Mesin  
Univ./Instansi : Universitas Brawijaya Malang

Benar-benar telah melaksanakan penelitian / pengambilan data Pengujian Kekerasan Mikrovickers dan Foto Makro pada sambungan las Al-Mg-Si di Laboratorium Pengujian Bahan Fakultas Teknik Jurusan Mesin Universitas Brawijaya Malang pada tanggal 08 Desember 2015 dengan judul skripsi :

" Pengujian Kekuatan Puntir Pada Sambungan Las Gesek Al-Mg-Si dengan Variasi Sudut Chamfer Satu Sisi dan Friction Time terhadap Gaya Tekan Akhir 750 kgf."

Demikian surat keterangan ini di buat dengan sebenar benarnya dan diberikan kepada yang bersangkutan untuk dipergunakan dengan seperlunya.



Malang, 05 Januari 2016

Ka. Lab. Pengujian Bahan

*Erwin Sullisto*

Jr. Erwin Sullisto, MT.  
NIP. 19661215 199802 1 007



Lampiran 8



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI  
JURUSAN MESIN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
LABORATORIUM PENGUJIAN BAHAN

Jl. Mayjen Haryono 167 Telp. 553286 Pes. 1214 Malang 65145

DATA HASIL PENGUJIAN

Jenis Pengujian : Pengujian Kekerasan Mikrovickers  
Satuan : HV  
Beban : 0.98 N  
Bahan : Al-Mg-Si  
Penguji : Rifyal Fauzan  
Nim. : 115060207111012-62  
Jurusan : S-1 Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang  
Tanggal Pengujian : 08 Desember 2015

Spesimen dengan gaya tekan akhir 750 kgf

Tertinggi 11,5; 55 detik	Mutar	177	150,9	143,6
		184	158,1	153,1
		186,9	163,4	152,5
	Diam	165,3	149,3	
		167,2	154,7	
		170,2	148,2	

Terendah 0; 55 detik	Mutar	161	157,6	154,2
		146,7	150,9	159,3
		138,8	157	179,7
	Diam	125,6	138,3	
		128,9	120,8	
		134,6	120,8	



Malang, 05 Januari 2016  
Ka. Lab. Pengujian Bahan

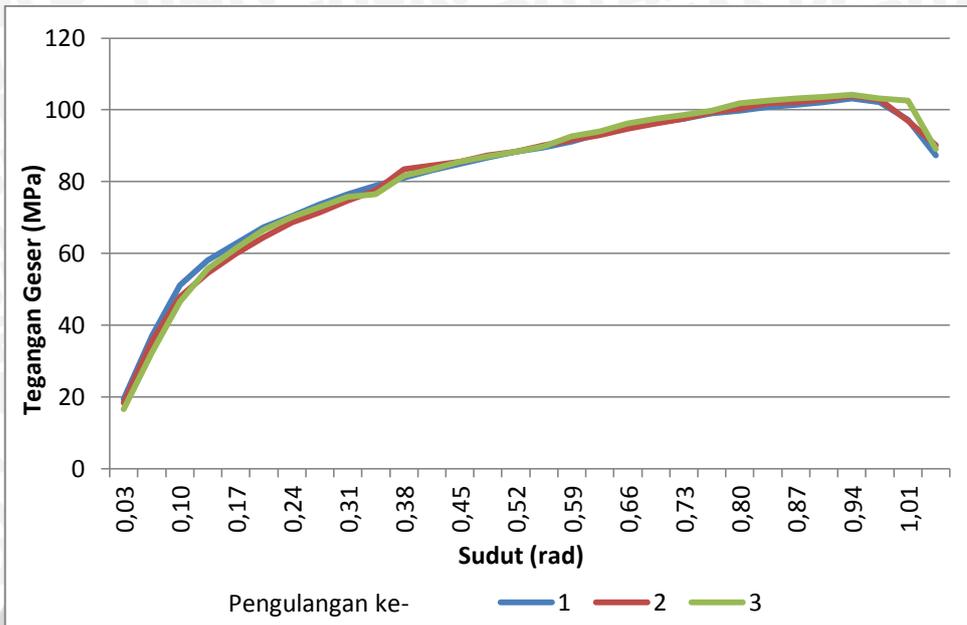
*Resulisty*

Ir. Erwin Sulisty, MT.  
NIP. 19661215 199802 1 007

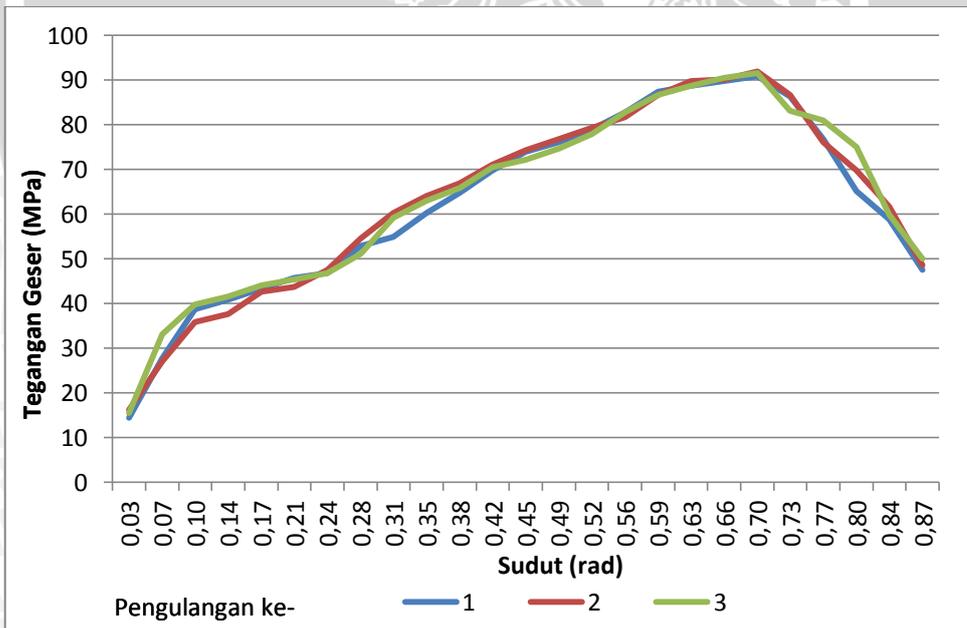


### Lampiran 9

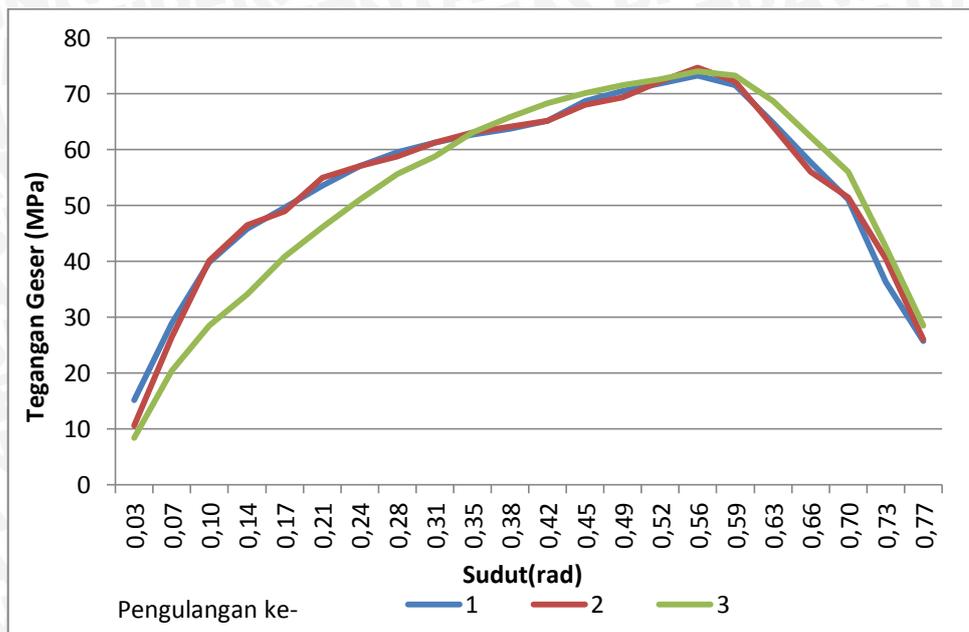
- Spesimen Sudut Chamfer 0° dan Friction Time 45 detik



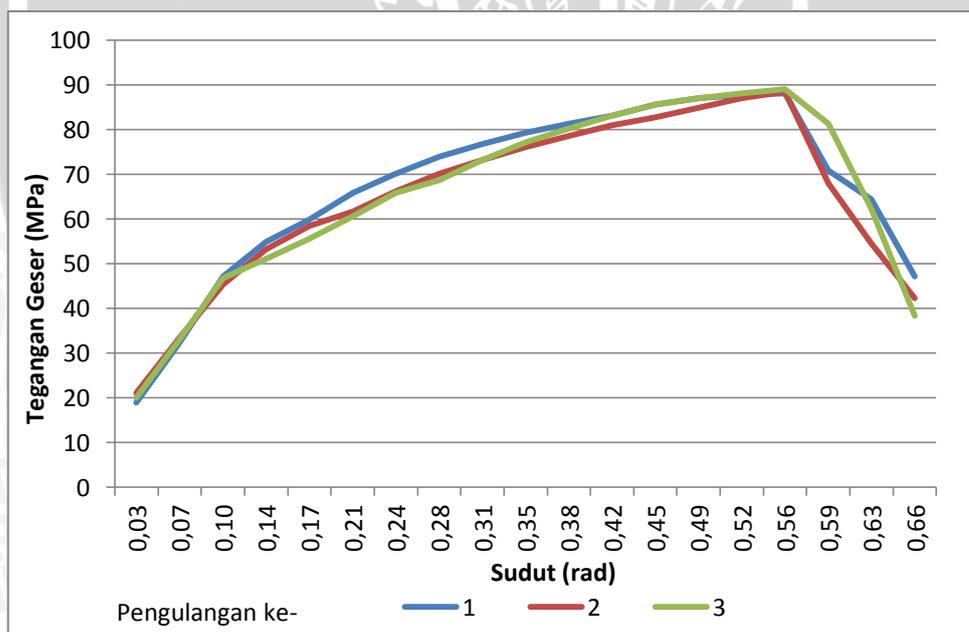
- Spesimen Sudut Chamfer 0° dan Friction Time 50 detik



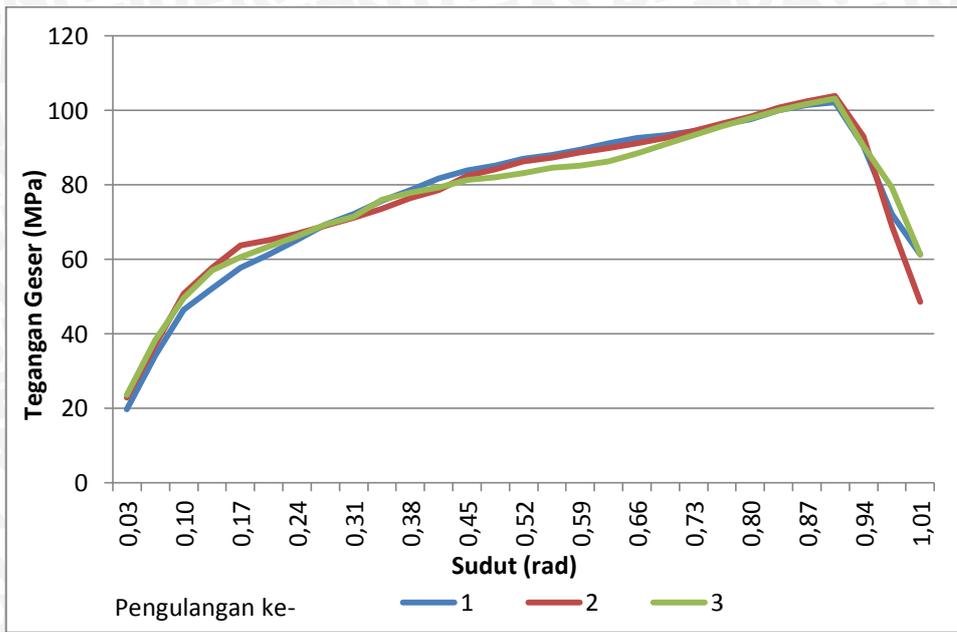
- Spesimen Sudut Chamfer 0° dan Friction Time 55 detik



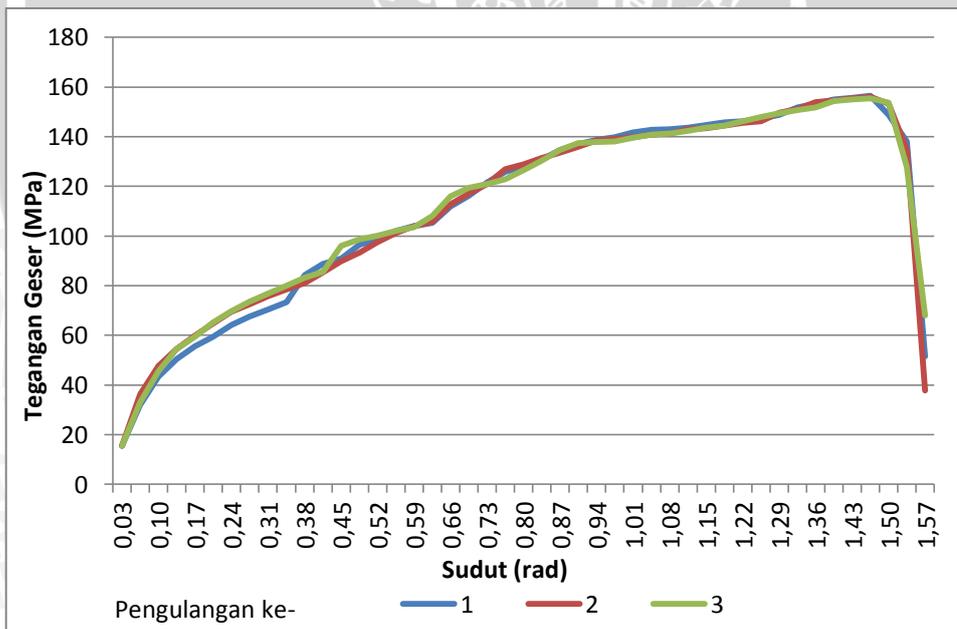
- Spesimen Sudut Chamfer 11,5° dan Friction Time 45 detik



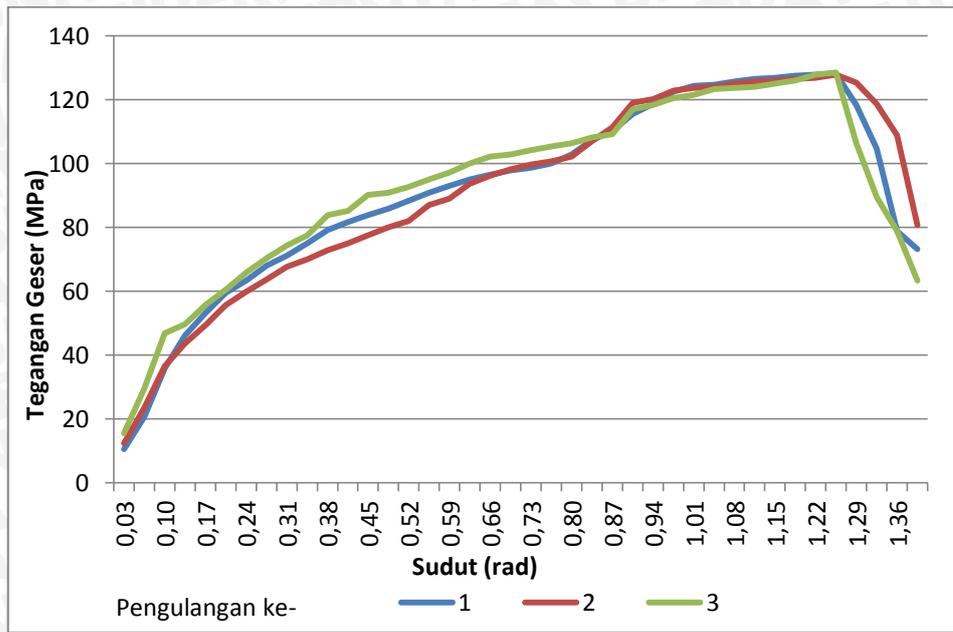
- Spesimen Sudut Chamfer 11,5° dan Friction Time 50 detik



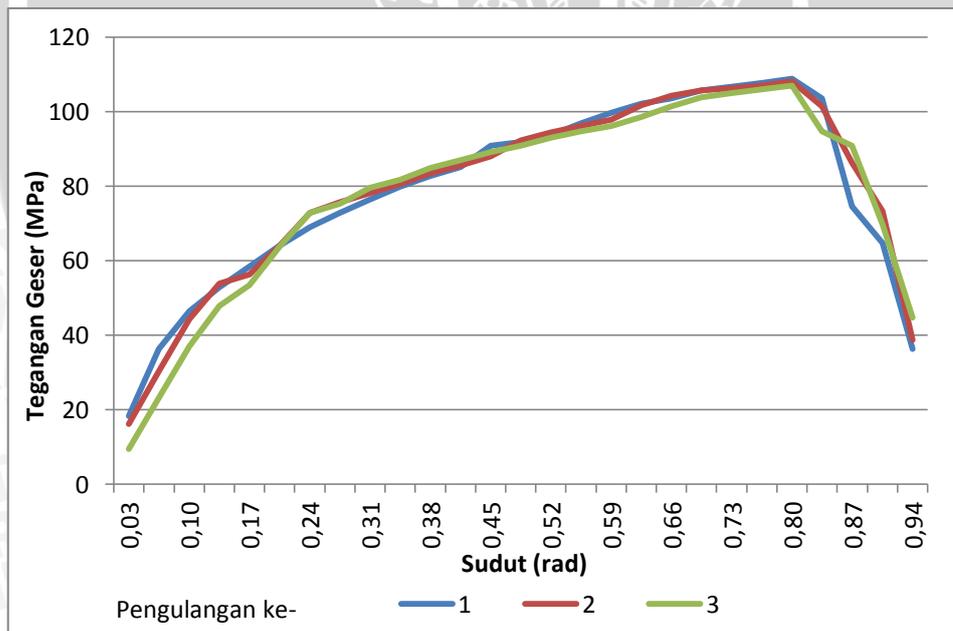
- Spesimen Sudut Chamfer 11,5° dan Friction Time 55 detik



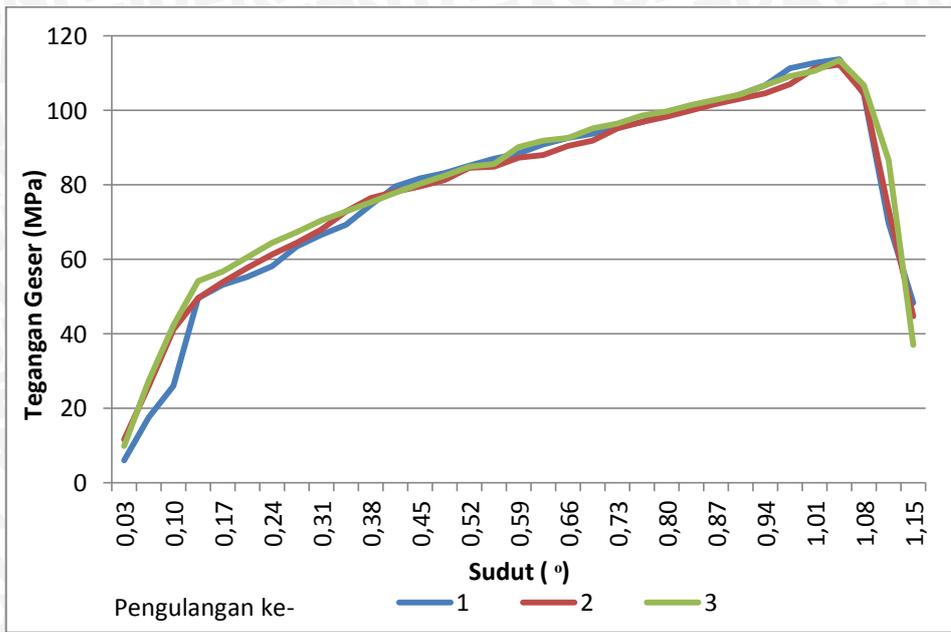
- Spesimen Sudut Chamfer 15° dan Friction Time 45 detik



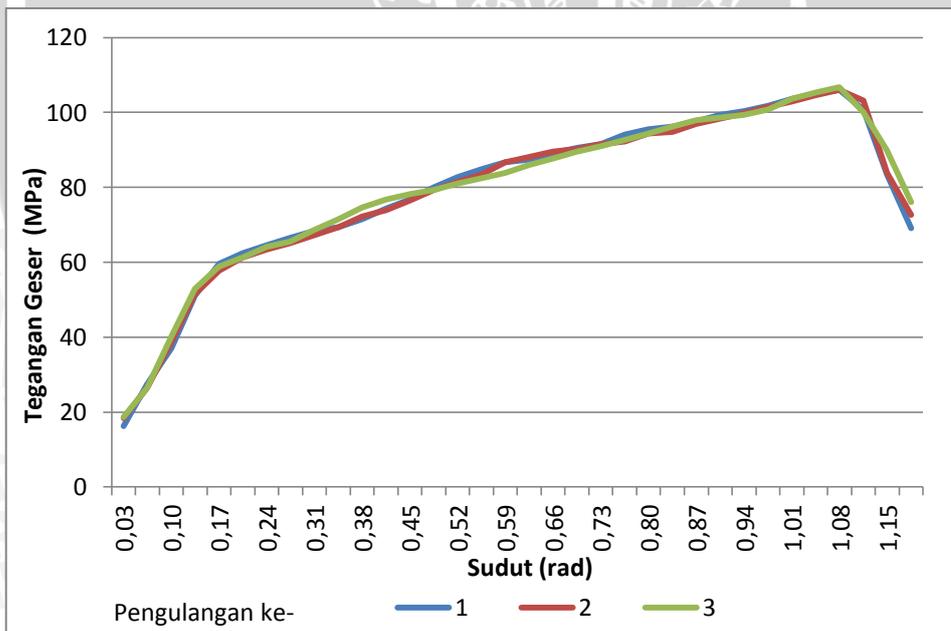
- Spesimen Sudut Chamfer 15° dan Friction Time 50 detik



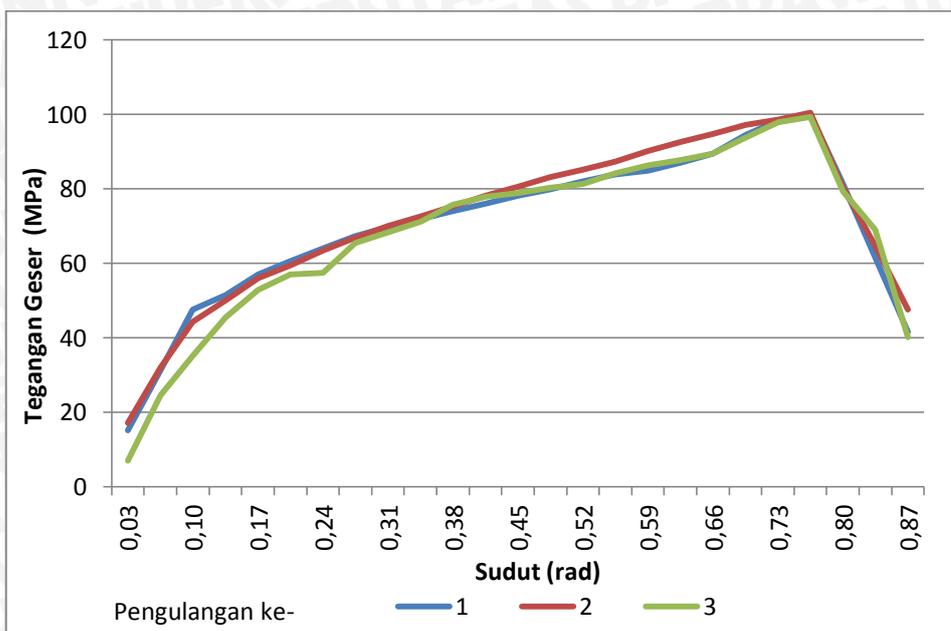
- Spesimen Sudut Chamfer 15° dan Friction Time 55 detik



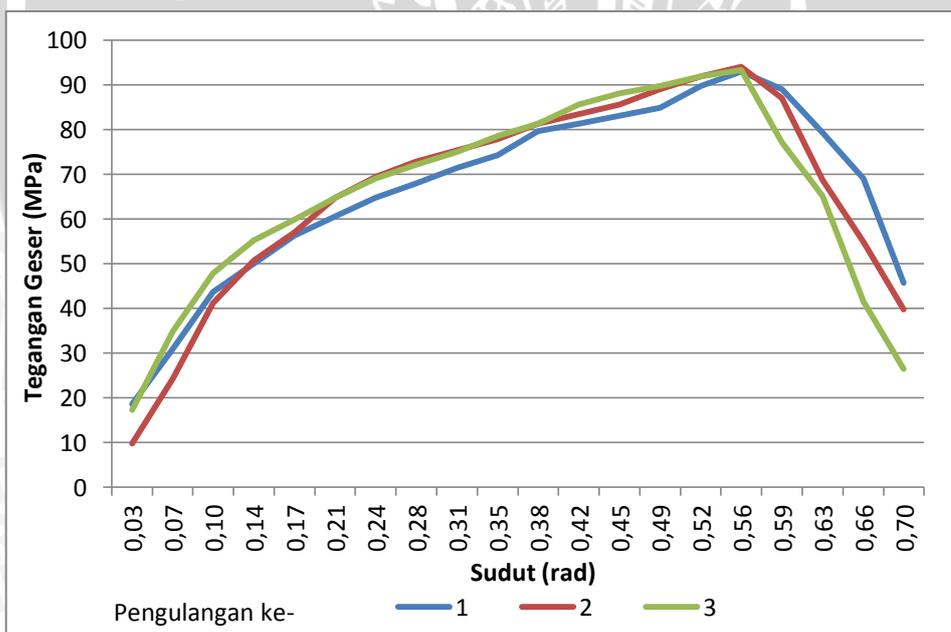
- Spesimen Sudut Chamfer 30° dan Friction Time 45 detik



- Spesimen Sudut Chamfer 30° dan Friction Time 50 detik



- Spesimen Sudut Chamfer 30° dan Friction Time 55 detik



Lampiran 10

MODULUS GESER (GPa)							
Sudut (rad)	Sudut 0 Derajat			Sudut (rad)	Sudut 11,5 Derajat		
	45 Detik	50 Detik	55 Detik		45 Detik	50 Detik	55 Detik
0,03	4784,85	4070,23	3013,83	0,03	5313,05	5841,24	4101,30
0,07	4629,50	3883,81	3340,07	0,07	4365,40	4831,46	4474,14
0,10	4277,37	3365,97	3189,90	0,10	4101,30	4318,79	4008,09

Sudut (rad)	Sudut 15 Derajat			Sudut (rad)	Sudut 30 Derajat		
	45 Detik	50 Detik	55 Detik		45 Detik	50 Detik	55 Detik
0,03	3386,68	3883,81	2423,50	0,03	4691,64	3479,89	4039,16
0,07	3262,40	3961,48	3138,12	0,07	3542,03	3883,81	3977,02
0,10	3510,96	3759,52	3220,97	0,10	3407,39	3738,81	3904,52