

**PENGARUH VARIASI SUDUT *CHAMFER* SATU SISI DAN WAKTU  
GESEK Al- Mg- Si TERHADAP KEKUATAN PUNTIR MAKSIMUM  
DENGAN GAYA TEKAN AKHIR 10 kN**

**SKRIPSI  
TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



**AULIA RIZEKY JANUARY**

**NIM. 115060207111022**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**MALANG**

**2016**



**LEMBAR PENGESAHAN**

**PENGARUH VARIASI SUDUT *CHAMFER* SATU SISI DAN WAKTU  
GESEK Al- Mg- Si. TERHADAP KEKUATAN PUNTIR MAKSIMUM  
DENGAN GAYA TEKAN AKHIR 10 kN**

**SKRIPSI**

**TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**AULIA RIZEKY JANUARY**  
**NIM. 115060207111022**

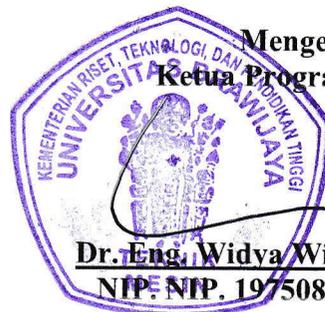
Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
pada tanggal 22 Januari 2016

**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**

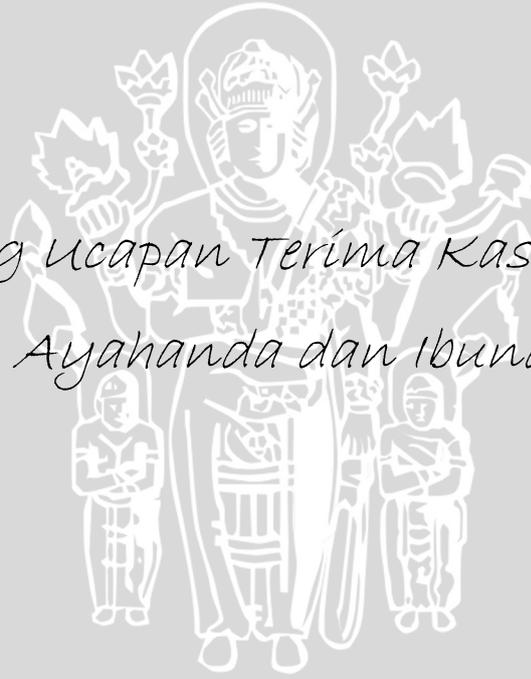


**Mengetahui**  
**Ketua Program Studi S1**

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

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

*Teriring ucapan Terima Kasih Kepada :  
Ayahanda dan Ibunda Tercinta*



## 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 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 sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata didalam naskah Skripsi ini didapat 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, 22 Januari 2016

Mahasiswa,



Aulia Rizeky January

NIM. 115060207111022

**JUDUL SKRIPSI :**

Pengaruh Variasi Sudut *Chamfer* Satu Sisi dan Waktu Gesek Al- Mg- Si Terhadap Kekuatan Puntir Maksimum Dengan Gaya Tekan Akhir 10 kN

Nama Mahasiswa : Aulia Riziky January

NIM : 115060207111022

Program Studi : Teknik Mesin

Minat : Teknik Produksi

**KOMISI PEMBIMBING :**

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

Pembimbing 2 : Ir. Erwin Sulisty, MT

**TIM DOSEN PENGUJI :**

Dosen Penguji 1 : Prof. Ir. Sudjito, Ph.D

Dosen Penguji 2 : Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M. Eng

Dosen Penguji 3 : Teguh Dwi Widodo, ST., M. Eng., Ph.D

Tanggal Ujian : 11 Januari 2016

SK Penguji : 55/ UN 10.6/ SK/ 2016

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah segala puji dan syukur penulis ucapkan kepada ALLAH SWT, yang telah senantiasa melimpahkan rahmat, berkah, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini yang berjudul **“Pengaruh Variasi Sudut Chamfer Satu Sisi Dan Waktu Gesek Al- Mg- Si Terhadap Kekuatan Puntir Maksimum Dengan Gaya Tekan Akhir 10 kN”**.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini dapat terselesaikan berkat bantuan, petunjuk, dan bimbingan dari berbagai pihak yang telah banyak membantu dalam proses penyelesaian tugas akhir skripsi ini. Oleh karena itu penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr.Eng. Yudy Surya Irawan, ST., M.Eng., sebagai Dosen Pembimbing Skripsi I yang telah banyak memberikan segala bimbingan, nasihat, pengarahan, motivasi, doa, dan masukan yang telah diberikan.
2. Bapak Ir. Erwin Sulisty, MT., sebagai Dosen Pembimbing Skripsi II yang telah banyak memberikan segala bimbingan, nasihat, pengarahan, motivasi, doa, dan masukan yang telah diberikan.
3. Bapak Dr.Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
4. Bapak Purnami ST., MT., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
5. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang telah banyak memberikan ilmu selama perkuliahan.
6. Seluruh pegawai Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang terlibat secara langsung dan tidak langsung selama proses penelitian ini.
7. Saudari Fani Ramadanti sebagai wanita terdekat setelah Ibu penulis, yang selalu ada untuk memberikan dukungan, motivasi semangat, dan doa.
8. Kakak Adinda Yuliandri yang selalu ada untuk memberikan dukungan, motivasi semangat, dan doa.
9. Teman – teman Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, khususnya keluarga besar angkatan 2011 (KAMIKAZE / M'11) dan lebih khususnya Arifin Kekar Maheru Wijaksono, Rifyal Fauzan, Ikhwan Wahyudi, Baskara Yonda Anugrah, Adib Afriansyah, juga Mas Rofiq dan Pak Andreas yang telah memberi bantuannya dalam pelaksanaan penelitian ini.

10. Serta semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini, yang tidak memungkinkan penulis menyebutkan satu persatu.

Semoga Tuhan Yang Maha Esa, ALLAH SWT senantiasa melimpahkan karunia-Nya dan membalas segala amal kebaikan dari pihak-pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan skripsi ini. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penyusunan skripsi ini masih sangat jauh dari sempurna, maka dari itu penulis sangat mengharapkan masukan, saran, dan kritik dari berbagai pihak untuk membangun ke hal yang lebih baik lagi. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat khususnya bagi penulis, peneliti lebih lanjut, dan juga bagi pembaca pada umumnya.

Malang, Januari 2016

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	<b>vii</b>
<b>RINGKASAN .....</b>	<b>ix</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>x</b>

### BAB I PENDAHULUAN

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

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya .....	5
2.2 Aluminium .....	6
2.2.1 Sifat- Sifat Aluminium .....	7
2.2.2 Sifat Mampu Las Aluminium .....	7
2.2.3 Klasifikasi Paduan Aluminium .....	8
2.3 Pengelasan .....	9
2.4 <i>Friction Welding</i> .....	10
2.5 Kelebihan <i>Friction Welding</i> .....	11
2.6 <i>Friction Time</i> .....	12
2.7 Kegunaan Las Gesek .....	12
2.8 Daerah <i>Heat Effect Zone (HAZ)</i> .....	12
2.9 Energi Peleburan Aluminium Al- Mg- Si .....	13
2.10 Energi Pengelasan <i>Friction Welding</i> .....	13
2.11 Momen Puntir .....	15
2.12 Hipotesis .....	17

**BAB III METODE PENELITIAN**

3.1	Tempat dan Waktu Penelitian .....	19
3.2	Variabel Penelitian .....	19
3.2.1	Variabel Bebas .....	19
3.2.2	Variabel Terikat .....	19
3.2.3	Variabel Terkontrol .....	20
3.3	Spesifikasi Alat Dan Bahan .....	20
3.3.1	Spesifikasi Alat .....	20
3.3.2	Bahan .....	21
3.4	Skema Instalasi Alat .....	22
3.5	Foto Alat Penelitian .....	23
3.6	Prosedur Penelitian .....	24
3.5.1	Pengelasan Gesek .....	24
3.5.2	Pengujian Puntir .....	24
3.7	Diagram Alir Penelitian .....	26

**BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1	Data Hasil Pengujian Puntir Spesimen Pengelasan .....	29
4.2	Pembahasan .....	30
4.2.1	Grafik Hubungan Antara Kekuatan Puntir Rata- rata Dengan <i>Friction Time</i> , Semua Sudut <i>Chamfer</i> .....	30

**BAB V PENUTUP**

5.1	Kesimpulan .....	41
5.2	Saran .....	41

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Hal.
Gambar 2.1	Diagram Fase Pseudo- Binary Untuk Paduan Al 6061 .....	9
Gambar 2.2	Klasifikasi Berdasarkan Cara Kerja Pengelasan .....	10
Gambar 2.3	Klasifikasi Berdasarkan Cara Pemotongan Pada Pengelasan .....	10
Gambar 2.4	Parameter Pengelasan Gesek .....	11
Gambar 2.5	Aplikasi Las Gesek .....	12
Gambar 2.6	<i>Heat Effected Zone (HAZ)</i> .....	13
Gambar 2.7	Permukaan Gesek .....	14
Gambar 2.8	Pengujian Puntir Pada Benda Uji Silinder .....	15
Gambar 2.9	Diagram Momen Puntir .....	16
Gambar 3.1	Parameter Pengelasan.....	20
Gambar 3.2	Bentuk Dimensi Benda Kerja .....	22
Gambar 3.3	Skema Pengaturan Jarak Benda Pada Mesin Bubut .....	22
Gambar 3.4	Skema Instalasi Alat Penelitian .....	22
Gambar 3.5	Skema Mesin Pengelasan Gesek .....	23
Gambar 3.6	Dimensi Benda Kerja Uji Puntir .....	24
Gambar 3.7	Alur Penelitian .....	26
Gambar 4.1	Grafik Hubungan Antara Kekuatan Puntir Rata- rata Dengan <i>Friction Time</i> Semua Sudut <i>Chamfer</i> .....	30
Gambar 4.2	Foto Makrostruktur Sudut <i>Chamfer</i> 0°, <i>Friction Time</i> 45 Detik .....	31
Gambar 4.3	Foto Makrostruktur Sudut <i>Chamfer</i> 0°, <i>Friction Time</i> 50 Detik .....	31
Gambar 4.4	Foto Makrostruktur Sudut <i>Chamfer</i> 0°, <i>Friction Time</i> 55 Detik .....	31
Gambar 4.5	Foto Makrostruktur Sudut <i>Chamfer</i> 11.5°, <i>Friction Time</i> 45 Detik .....	32
Gambar 4.6	Foto Makrostruktur Sudut <i>Chamfer</i> 11.5°, <i>Friction Time</i> 50 Detik .....	32
Gambar 4.7	Foto Makrostruktur Sudut <i>Chamfer</i> 11.5°, <i>Friction Time</i> 55 Detik .....	32
Gambar 4.8	Foto Makrostruktur Sudut <i>Chamfer</i> 15°, <i>Friction Time</i> 45 Detik .....	33
Gambar 4.9	Foto Makrostruktur Sudut <i>Chamfer</i> 15°, <i>Friction Time</i> 50 Detik .....	33
Gambar 4.10	Foto Makrostruktur Sudut <i>Chamfer</i> 15°, <i>Friction Time</i> 55 Detik .....	33
Gambar 4.11	Foto Makrostruktur Sudut <i>Chamfer</i> 30°, <i>Friction Time</i> 45 Detik .....	34
Gambar 4.12	Foto Makrostruktur Sudut <i>Chamfer</i> 30°, <i>Friction Time</i> 50 Detik .....	34
Gambar 4.13	Foto Makrostruktur Sudut <i>Chamfer</i> 30°, <i>Friction Time</i> 55 Detik .....	35
Gambar 4.14	Foto Makrostruktur Sudut <i>Chamfer</i> 0°, <i>Friction Time</i> 55 Detik .....	36

Gambar 4.15 Foto Makrostruktur Sudut *Chamfer* 11.5°, *Friction Time* 45 Detik ..... 36

Gambar 4.16 Grafik Suhu Pengelasan ..... 37

Gambar 4.17 Pengambilan Titik Uji Kekerasan *Chamfer* 11.5° ..... 38

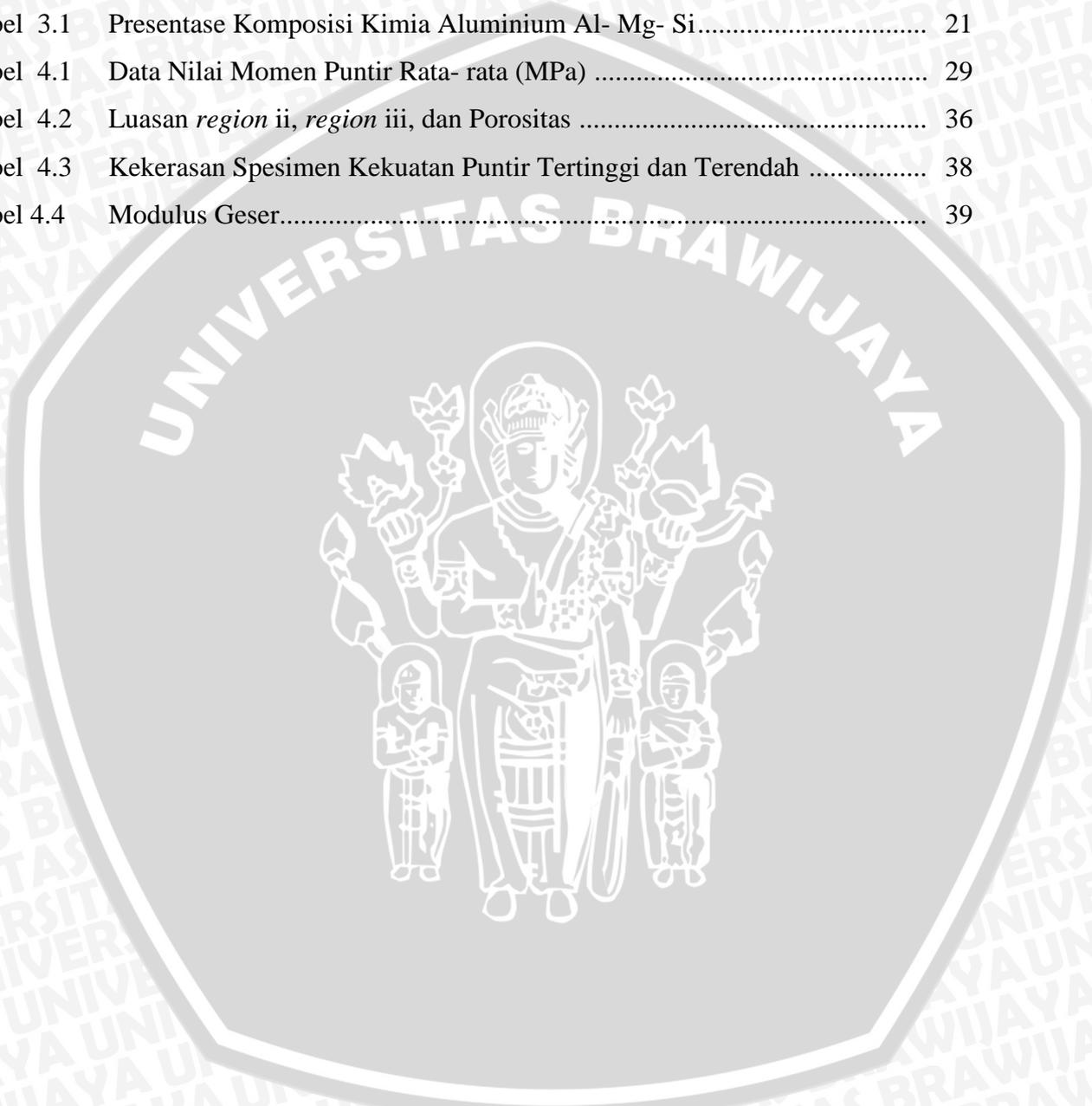
Gambar 4.18 Pengambilan Titik Uji Kekerasan *Chamfer* 0° ..... 38

Gambar 4.19 Grafik jarak antar titik uji kekerasan ..... 39



**DAFTAR TABEL**

No.	Judul	Hal.
Tabel 2.1	Sifat Fisik Aluminium .....	6
Tabel 2.2	Sifat Mekanik Aluminium .....	6
Tabel 3.1	Presentase Komposisi Kimia Aluminium Al- Mg- Si.....	21
Tabel 4.1	Data Nilai Momen Puntir Rata- rata (MPa) .....	29
Tabel 4.2	Luasan <i>region ii</i> , <i>region iii</i> , dan Porositas .....	36
Tabel 4.3	Kekerasan Spesimen Kekuatan Puntir Tertinggi dan Terendah .....	38
Tabel 4.4	Modulus Geser.....	39



## DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1	Standar <i>AWS &amp; ASTM-E8</i> untuk Spesimen Uji
Lampiran 2	Surat Keterangan Pengujian Puntir di Laboratorium Pengujian Bahan 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 Fakultas Teknik Jurusan Mesin Universitas Brawijaya
Lampiran 8	Data Pengujian Kekerasan
Lampiran 9	Foto Alat Uji Puntir
Lampiran 10	Grafik Momen Puntir



## RINGKASAN

**Aulia Rizky January**, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Januari 2016, *Pengaruh Variasi Sudut Chamfer Satu Sisi Dan Waktu Gesek Al- Mg- Si Terhadap Kekuatan Puntir Maksimum Dengan Gaya Tekan Akhir 10 kN*, Dosen Pembimbing : Yudy Surya Irawan dan Erwin Sulistyoo.

Perkembangan dunia industri dalam era globalisasi seperti saat ini, sangat berpengaruh dalam pemilihan material yang akan digunakan. Kebanyakan material yang digunakan ialah logam. Salah satu jenis dari logam ialah aluminium. Aluminium merupakan logam ringan yang memiliki berbagai kelebihan. Dalam era perindustrian sekarang, aluminium menjadi salah satu logam yang banyak digunakan seperti industri pesawat terbang, industri perkapalan, dan berbagai alat- alat perkakas.

Pengelasan gesek (*friction welding*) adalah penyambungan dua buah material logam menjadi satu. Panas yang terdapat pada pengelasan ini berasal perubahan energi mekanik menjadi energi panas yang terjadi pada permukaan dua material karena adanya gesekan selama gerak putar dibawah tekanan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh *friction time* dengan sudut *chamfer* dapat mempengaruhi nilai kekuatan puntir.

Pada pengelasan ini menggunakan jenis material Aluminium Al- Mg- Si. Variasi *friction time* yang digunakan yaitu 45 detik, 50 detik, dan 55 detik. Sedangkan untuk variasi sudut *chamfer* yang digunakan yaitu sudut 0°, 11,5°, 15°, dan 30°. Kecepatan *spindel* yang digunakan 1600 rpm, tekanan awalnya 250 kgf dan penekanan akhirnya 1000 kgf. Hasil penelitian ini menunjukkan nilai kekuatan puntir rata- rata terbesar terjadi pada sudut *chamfer* 0° dengan *friction time* 55 detik yaitu sebesar 168,63 MPa. Untuk nilai kekuatan puntir rata- rata terkecil terdapat pada sudut *chamfer* 11,5° dengan *friction time* 45 detik yaitu sebesar 129,41 MPa.

**Kata Kunci :** *Friction Welding, Friction Time, Sudut chamfer, Kekuatan puntir*

## SUMMARY

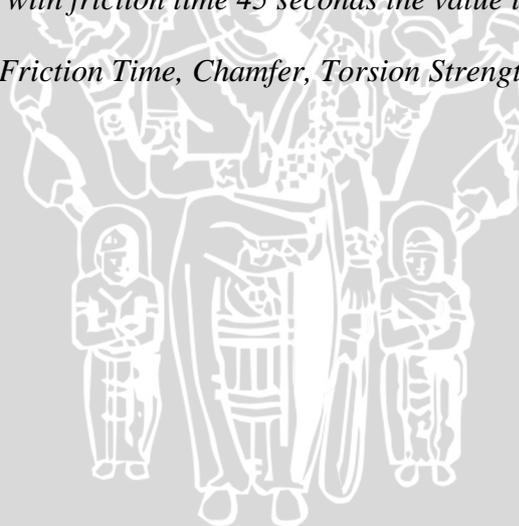
**Aulia Rizcky January**, *Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, in January 2016, Effect of Variations One Side Chamfer Angle and Friction Time Al- Mg- Si On Torsion Strength Maximum with Upset Force 10 kN. Supervisor: Yudy Surya Irawan and Erwin Sulistyono.*

*The development of industry in this globalization era, very influential for selection the material that will used. Most of material used is metal. Aluminum is an example of metal category. Aluminum is the lightest metal has various advantage. In this era of industry, aluminum that we used like at airplane industry, shipping industry, and various tools.*

*Friction Welding is connected two material of metal into one. Heat which found in friction welding is changing energy from mechanical energy that change to heat energy which occur at the surface of two materials because of friction from the under pressure rotary motion. This research is aimed to determine the effect of friction time and chamfer angle can affect the torsion strength*

*On this friction welding research used aluminum Al- Mg- Si. The variation of the friction time that used is 45 seconds, 50 seconds, 55 seconds. For the variation of the chamfer angle used  $0^\circ$ ,  $11.5^\circ$ ,  $15^\circ$ , and  $30^\circ$ . the spindle speed that used is 1600 rpm, the friction pressure is 250 kgf, and the upset force is 1000 kgf. This research result indicates the highest torsion strength is at the chamfer  $0^\circ$  with friction time 55 seconds the value is 168.63 MPa. While the lowest torsion strength is at the chamfer  $11.5^\circ$  with friction time 45 seconds the value is 129.41 MPa*

**Keywords :** *Friction Welding, Friction Time, Chamfer, Torsion Strength*



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan dunia industri dalam era globalisasi seperti saat ini, sangat berpengaruh dalam pemilihan material yang akan digunakan. Kebanyakan material yang digunakan ialah logam. Salah satu jenis dari logam ialah aluminium. Aluminium merupakan logam ringan yang memiliki berbagai kelebihan. Dalam era perindustrian sekarang, aluminium menjadi salah satu logam yang banyak digunakan seperti industri pesawat terbang, industri perkapalan, dan berbagai alat- alat perkakas.

Dalam proses pengolahan aluminium, aluminium mengalami berbagai macam perlakuan, salah satunya pengelasan. Pengelasan sendiri adalah proses penyambungan beberapa material komponen- komponen menjadi satu. Pengelasan sudah sering diaplikasikan dalam kehidupan sehari- hari, contohnya di jembatan, konstruksi bangunan gedung dan konstruksi- konstruksi yang lainnya. Selain lebih praktis untuk konstruksi tertentu hasil dari pengelasan juga lebih kuat dan murah (Sationo, 2010).

Pengelasan gesek (*friction welding*) adalah penyambungan dua buah material logam menjadi satu. Panas yang terdapat pada pengelasan ini berasal perubahan energi mekanik menjadi energi panas yang terjadi pada permukaan dua material karena adanya gesekan selama gerak putar dibawah tekanan (Kalpakjian, 2001). Keuntungan yang dimiliki dari *friction welding* ini adalah dapat melakukan penghematan dalam biaya untuk material dan mempersingkat waktu dalam proses penyambungan dua material yang sama ataupun yang berbeda. Hal yang harus diperhatikan dalam proses *friction welding* yaitu waktu gesekan, waktu tempa, tekanan gesekan, tekanan tempa, dan kecepatan putar (Spindler, 1994).

Beberapa hal penting atau parameter yang diperhatikan dalam melakukan pengelasan gesek (*friction Welding*) ialah waktu gesekan,tekanan gesekan,tekanan tempa, waktu tempa, dan kecepatan putar. Beberapa parameter tersebut mempengaruhi hasil dari pengelasan gesek tersebut. Faktor dari kekasaran permukaan juga mempengaruhi hasil dari las. Dari permukaan yang kasar akan mempengaruhi panas yang dihasilkan akibat gesekannya digunakan untuk melumerkan kedua logam kemudian menyambungkannya. Kekuatan puntir ialah sifat mekanik yang penting di dalam pengaplikasiannya pada hasil

sambungan las gesek. Kekuatan puntir pada sambungan las diketahui untuk melihat keadaan material saat mendapatkan tegangan geser dan mempengaruhi dalam proses pemilihan bahan yang akan digunakan.

Dalam penelitian yang dilakukan mengenai pengelasan gesek ini, digunakan pengujian puntir. Penggunaan pengujian puntir dikarenakan pengaplikasian dari pengelasan gesek digunakan seperti untuk penyambungan pipa, penyambungan antar as roda pada mobil dan masih banyak lagi. Jadi bisa dikatakan dalam pengaplikasian las gesek membutuhkan part/ material yang memiliki kemampuan puntir yang baik. Kemudian saya menggunakan gaya tekan akhir 1000 kgf karena melanjutkan dari penelitian sebelumnya yang nilai kekuatan tekan akhirnya lebih rendah.

Husodo dkk (2013), dalam penelitian pengelasan gesek pada material baja St41 menyimpulkan bahwa semakin tinggi tekanan tempa yang diberikan maka semakin tinggi juga nilai kekuatan sambungan, dan juga semakin tinggi pula kekuatan puntir pada sambungan lasnya, dengan begitu juga mempengaruhi nilai pada kekerasan logam las dan perubahan bentuk struktur mikro. Nilai kekuatan tertinggi terjadi pada proses ini terjadi pada tekanan tempa  $1300 \text{ kg/cm}^2$ , waktu gesek 45 detik dan tekanan gesek  $173 \text{ kg/cm}^2$ . Mesin las gesek mampu menghasilkan kekuatan puntir hingga 150 N.m sedangkan produk industri kecil pasuruan hanya 20 N.m. dengan hasil seperti itu maka akan sangat baik bila digunakan sebagai alternative pembuatan produk as roda sepeda motor.

Irawan dkk (2012), melakukan penelitian pengelasan gesek pada Al- Mg- Si menyimpulkan bahwa kekuatan tarik pada aluminium paduan Al-Mg-Si dengan variasi sudut *chamfer*  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ , dan  $75^\circ$  penekanan yang diberikan yaitu 123 kgf dan gaya penekanan akhirnya 157 kgf. Dilakukan penekanan dalam waktu 2 menit, dari penelitian ini didapatkan nilai kekuatan tarik terbesar pada sudut  $30^\circ$  dan hasil dari mikrostruktur kekuatan pada spesimen disebabkan karena luas maksimum daerah plastis, porositas minimum dan luas minimum daerah yang terkena panas.

Penelitian yang akan saya lakukan menggunakan material aluminium Al- Mg- Si yang memiliki sifat- sifat mampu las yang bagus. Beberapa penelitian sebelumnya, belum ada yang membahas pengaruh sudut *chamfer* satu sisi dan kekuatan puntir terhadap hasil pengelasan. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh dari variasi sudut *chamfer* satu sisi terhadap kekuatan puntir hasil pengelasan pada aluminium Al-Mg-Si.

Santoso dkk (2012), pada penelitian yang membahas tentang pengelasan gesek pada Al- Mg- Si dapat diambil kesimpulan bahwa kekuatan Tarik pada pengelasan gesek Al- Mg- Si akan meningkat seiring dengan semakin kecil sudut *chamfer* dan semakin besar

gaya tekan akhirnya. Lalu nilai porositas juga menurun dengan meningkatnya sudut *chamfer* dan gaya tekan akhir.

### 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya dirumuskan permasalahan yang akan diteliti yaitu : Pengaruh variasi sudut *chamfer* dan waktu pengelasan gesek Al- Mg- Si terhadap kekuatan puntir maksimum dengan gaya tekan akhir 1000 kgf.

### 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Material yang digunakan yaitu Al- Mg- Si
2. Jenis pengelasan *continuous drive friction welding*
3. Lama penekanan selama proses pengelasan 45", 50", 55"
4. Varisan sudut *chamfer* 0°, 11.5°, 15°, 30°
5. Kecepatan putaran 1600 rpm
6. Pendinginan menggunakan suhu ruangan
7. Gaya penekanan awal 2,5 kN
8. Gaya penekanan akhir 10 kN
9. Spesimen Al- Mg- Si hasil ekstrusi yang berbentuk silinder pejal

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini ialah untuk mengetahui pengaruh variasi sudut *chamfer* satu sisi dan waktu pengelasan terhadap kekuatan puntir pada las gesek Al- Mg- Si dengan gaya tekan akhir 1000 kgf.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan atau manfaat sebagai berikut :

- Dapat mengaplikasikan teori yang didapat saat kuliah terutama yang berhubungan langsung dengan pengelasan logam.
- Melakukan pengembangan dalam bidang ilmu pengetahuan dan teknologi sesuai dengan perkembangan zaman.

- Pengetahuan baru dalam bidang industri dalam hal melakukan *friction welding*.
- Agar nantinya ada penelitian yang bisa mengambil acuan dari penelitian ini.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Irawan dkk (2012), penelitian yang membahas pengelasan gesek pada Al- Mg- Si menyimpulkan bahwa kekuatan tarik pada aluminium paduan Al-Mg-Si dengan variasi sudut *chamfer* 15°, 30°, 45°, 60°, dan 75° penekanan yang diberikan yaitu 123 kgf dan gaya penekanan akhirnya 157 kgf. Dilakukan penekanan dalam waktu 2 menit, dari penelitian ini didapatkan nilai kekuatan tarik terbesar pada sudut 30° dan hasil dari mikrostruktur kekuatan pada spesimen disebabkan karena luas maksimum daerah plastis, porositas minimum dan luas minimum daerah yang terkena panas.

Tyagita dkk (2014), penelitian yang berjudul “Kekuatan Puntir dan Porositas Hasil Sambungan Las Gesek Al- Mg- Si dengan Variasi *Chamfer* dan gaya tekan Akhir”. Hasil dari penelitian ini didapatkan yaitu, nilai kekuatan puntir tertinggi terdapat pada sudut *chamfer* 15° dan gaya tekan akhir yang diberikan yaitu sebesar 202 kgf, yaitu dengan nilai kekuatan puntir sebesar 193.93 MPa. Untuk nilai kekuatan puntir terendah yaitu 108.63 MPa terdapat pada variasi sudut *chamfer* 0° dan gaya tekan akhir yang diberikan 157 kgf. Dengan adanya variasi sudut *chamfer* akan mempengaruhi luas kontak antar permukaan sehingga distribusi panas juga terpengaruh.

Ardianto dkk (2015), dalam penelitian yang memiliki judul “Kekuatan Puntir Sambungan Las Gesek Al- Mg- Si dengan Variasi Sudut *Chamfer* Sisi dan Kekerasan”. Hasil dari penelitian yang dilakukan yaitu sudut *chamfer* dan nilai kekerasan berpengaruh terhadap nilai kekuatan puntir. Nilai kekuatan puntir tertinggi terdapat pada sudut *chamfer* 15° dengan nilai kekasaran 0,7  $\mu\text{m}$ , yaitu sebesar 163.46 MPa. Untuk sudut *chamfer* 0° dengan kekasaran 1,07  $\mu\text{m}$  memiliki nilai kekuatan puntir terendah yaitu sebesar 71.48 MPa. Besar kecilnya kekuatan puntir dipengaruhi oleh daerah *Porosity Zone (Zpr)*, *Partly Deformed Zone (Zud)*, *Fully Plasticized Zone (Zpl)*.

Sahin dkk (2010), “*Modelling Of Friction Welding*” dari hasil penelitiannya didapatkan bahwa perubahan panas dan temperatur secara teoritis sangat berpengaruh terhadap waktu gesekan sebelum memulai putaran atau setelah terjadi putaran. Dari beberapa variasi panas yang digunakan saat melakukan percobaan, ternyata transfer panas

yang terjadi pada diameter spesimen yang lebih kecil lebih cepat, tetapi kemampuan menerima panasnya lebih baik di memiliki oleh spesimen yang diameter lebih besar.

## 2.2 Aluminium

Aluminium salah satu jenis logam ringan yang memiliki ketahanan korosi yang baik dan memiliki kemampuan hantaran listrik yang baik. Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni ialah beberapa tambahan yang bias meningkatkan kemampuan dari aluminium tersebut. Aluminium digunakan diberbagai macam bidang seperti untuk peralatan di rumah tangga, otomotif, dan alat- alat transportasi darat, laut, dan udara. Untuk melihat sifat fisik dan sifat mekanik dari aluminium bisa dilihat pada tabel 2.1 dan pada tabel 2.2.

Tabel 2.1 Sifat fisik aluminium

Sifat- sifat	Kemurnian Al (%)	
	99.996	>99.0
Massa Jenis (20°C)	26.989	2.71
Titik Cair	660.02	653-657
Panas Jenis (cal/g °C)(100 °C)	0.2226	0.2297
Hantaran Listrik (%)	64.94	59 (dianil)
Tahanan Listrik Koefisien Temperatur (°C)	0.00429	0,0115
Koefisien Pemuai (20-100 °C)	$23.86 \times 10^{-6}$	$23.5 \times 10^{-6}$
Jenis Kristal, Konstanta Kisi	Fcc,a= 4,013 kX	Fcc,a= 4,04 kX

Sumber : Surdia, (1999)

Tabel 2.2 Sifat mekanik aluminium

Sifat- sifat	Kemurnian Al			
	99,996		>99,9	
	Dianil	75% Dirol 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	3.5	14.8
Perpanjangan (%)	48.8	5.5	35	5
Kekerasan <i>Brinell</i>	17	27	23	44

Sumber : Surdia, (1999)

### 2.2.1 Sifat- sifat Aluminium

Aluminium mempunyai 4 sifat antara lain :

1. Kekerasan

Kekerasan ialah suatu kemampuan dari material yang dapat menerima beban yang berasal dari luar. Suatu aluminium yang mempunyai nilai kadar 99.99%, memiliki nilai kekerasan sebesar 17 BHN. Aluminium dapat berubah kemampuan mekaniknya jika aluminium tersebut diberikan unsur paduan tambahan (Surdia, 1999)

2. Kekuatan Tarik

Kekuatan Tarik adalah kemampuan yang dimiliki oleh suatu material untuk menerima gaya yang sejajar dengan sumbu dan arah gayanya saling berlawanan tanpa mengalami kerusakan. Kekuatan Tarik maksimum pada aluminium murni 99.99% yaitu sebesar  $4.9 \text{ kg/mm}^2$  (Surdia, 1999).

3. Kekuatan Puntir

Kekuatan puntir ialah suatu kemampuan yang dimiliki oleh material untuk menerima gaya rotasi dan gaya yang sejajar tanpa terjadi suatu slip pada material tersebut. Tujuan dari pengujian puntir ialah untuk mengetahui sifat material, setelah material menerima atau mendapatkan tegangan geser.

4. Kekuatan *Impact*

Ramlah (2012) menyatakan dalam penelitiannya kekuatan *impact* adalah kemampuan suatu material untuk menerima gaya benturan hingga membuat material tersebut mengalami patahan.

### 2.2.2 Sifat Mampu Las Aluminium

Dalam pengelasan, paduan aluminium memiliki sifat yang tidak begitu baik. Sifat- sifat tersebut yaitu :

1. Daya hantar panasnya tinggi, sehingga sulit untuk mencairkan walaupun hanya sebagian kecil saja.
2. Mudah terjadi deformasi karena aluminium memiliki nilai koefisien muai yang besar.
3. Jika proses pendinginan yang cepat, dapat menyebabkan terjadinya rongga-rongga udara.
4. Pada paduan aluminium yang memiliki berat jenis rendah, sehingga bisa terkandung zat- zat atau kotoran yang terkontaminasi didalamnya.

5. Memiliki viskositas rendah, sehingga permukaan yang terkena panas lebih cepat leleh (Wiryosumarto,2000).

### 2.2.3 Klasifikasi Paduan Aluminium

Terdapat 3 klasifikasi pada paduan aluminium yaitu berdasarkan bisa diberikan perlakuan panas atau tidak, berdasarkan klasifikasi pembuatan, dan berdasarkan unsur paduan yang diberikan. Dari tiga klasifikasi bisa dibagi menjadi 7 yaitu :

1. Jenis Al-murni (Seri 1000)

Jenis ini memiliki nilai kemurnian antara 99% dan 99.9%. dalam jenis ini memiliki kemampuan konduksi listrik, tahan terhadap karat, memiliki mampu las yang baik. Untuk nilai kekuatannya rendah.

2. Jenis paduan Al-Cu (Seri 2000)

Jenis ini bisa diberikan perlakuan panas.sifatnya hampir sama seperti baja lunak, tetapi sifat mampu las tidak baik dan tidak memiliki ketahanan terhadap korosi. Jenis seperti *duralumin* (2017) dan super *duralumin* (2024) biasa digunakan di industri pesawat terbang.

3. Jenis paduan Al-Mn (Seri 3000)

Jenis ini tidak bisa diberikan perlakuan panas, hanya dapat digunakan dalam pengerjaan dingin. Memiliki sifat seperti Al murni tetapi kekuatannya lebih baik.

4. Jenis paduan Al-Si (Seri 4000)

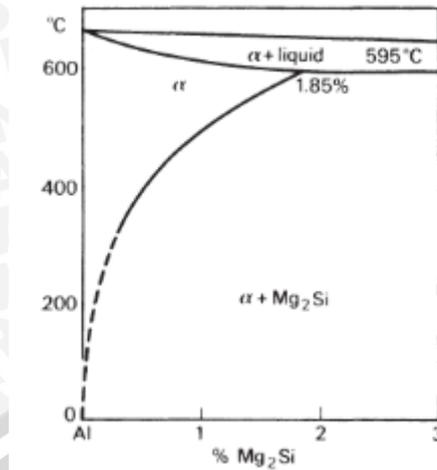
Jenis ini tidak bisa dilakukan perlakuan panas. Sifat mampu alir dan proses pembekuannya baik. Biasa digunakan untuk pengelasan pada paduan aluminium baik cor ataupun tempa.

5. Jenis paduan Al-Mg (Seri 5000)

Jenis ini tidak bisa diberikan perlakuan panas. Memiliki tahan korosi yang baik terhadap air laut, mampu las juga baik. Digunakan untuk tangka tempat penyimpanan oksigen dan gas alam cair.

6. Jenis paduan Al-Mg-Si (Seri 6000)

Jenis ini bisa diberikan perlakuan panas. Memiliki sifat tahan korosi dan mampu las yang baik. Kekurangannya terjadi pelunakan pada daerah las akibat panas yang terjadi saat pengelasan. Bisa dilihat pada gambar 2.1 yaitu ialah diagram fase dari dari paduan Al- Mg- Si.



Gambar 2.1 Diagram Fase Pseudo-binary untuk paduan Al 6061  
Sumber : Light Alloy, (1995 : 63)

#### 7. Jenis paduan Al-Zn (Seri 7000)

Jenis ini bisa diberikan perlakuan panas. Memiliki kekuatan Tarik yang sangat baik, sifat mampu las dan tahan korosi juga baik (Wirjosumarto,2000).

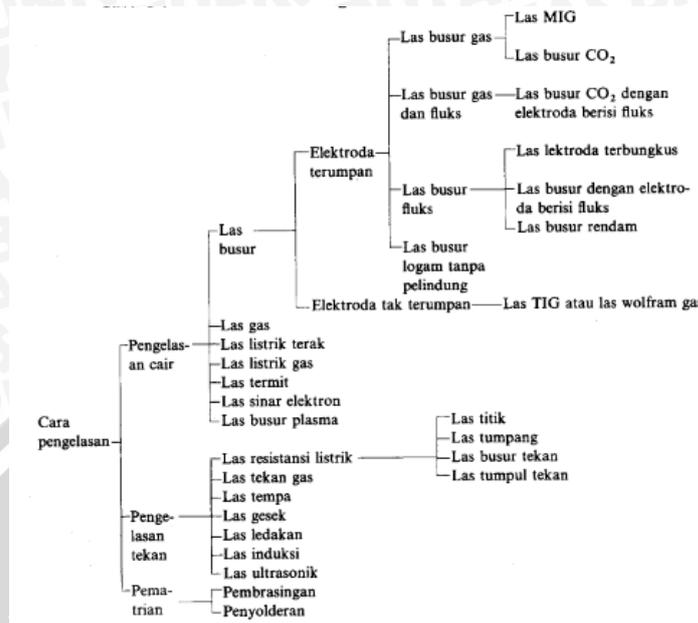
### 2.3 Pengelasan

Definisi dari *Deutsche Industrie Normen* (DIN) las adalah suatu ikatan metalurgi pada sebuah sambungan antar logam maupun non logam yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dengan kata lain las adalah penyambungan antar batang logam yang membutuhkan energi panas untuk penyambungannya (Wirjosumarto,2000).

Klasifikasi pengelasan berdasarkan cara kerjanya dibagi menjadi 3 yaitu :

1. Pengelasan cair adalah pengelasan yang dilakukan memberikan panas pada suatu sambungan dilakukan hingga mencair.
2. Pengelasan tekan adalah pengelasan dengan cara sambungan diberikan panas setelah itu ditekan hingga menyatu.
3. Pematrian adalah pengelasan yang dilakukan antar logam disatukan dengan menggunakan paduan logam yang memiliki titik cair yang rendah. Logam induk tidak mencair dalam proses ini (Wirjosumarto,2000).

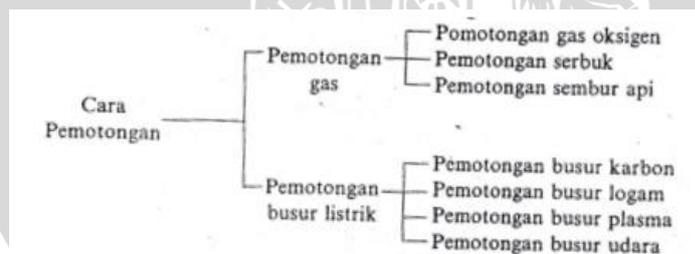
Pengklasifikasian juga terlihat dalam gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2.2 Klasifikasi Berdasarkan Cara Kerja Pengelasan

Sumber : Wiryosumarto, (2000)

Untuk klasifikasi cara pemotongan pada pengelasan dibagi menjadi 2 yaitu pemotongan dengan busur listrik dan pemotongan dengan gas, dapat dilihat dalam gambar 2.3



Gambar 2.3 Klasifikasi Berdasarkan Cara Pemotongan Pada Pengelasan

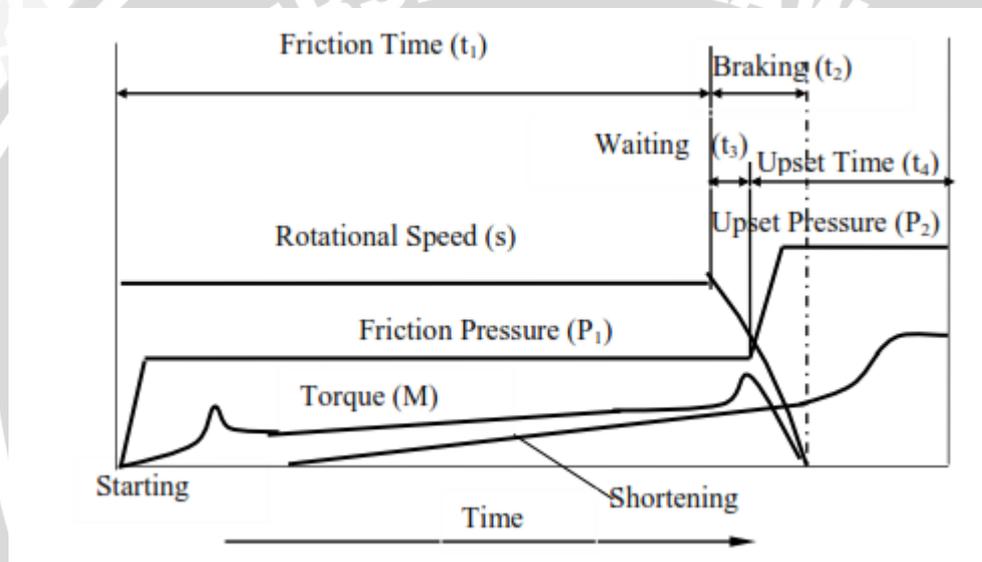
Sumber : Wiryosumarto, (2000)

#### 2.4 Friction Welding

*Friction Welding* adalah pengelasan yang panasnya berasal dari dua buah gerak suatu material (Lienert, 2001). Tyagita (2014) dalam penelitiannya menyatakan *Friction Welding* adalah Suatu proses pengelasan yang dilakukan sebelum terjadi leleh pada logam induk. Pengelasan gesek ini sangat bergantung pada panas yang mengalir melalui dua logam tersebut. Berdasarkan cara penggesekannya *friction Welding* menjadi dua yaitu :

1. Tyagita (2014) dalam penelitiannya menyatakan *Continuous drive friction welding* Adalah proses penyambungan antara 2 material, yang salah satu materialnya berputar dan material yang lainnya bergerak maju memberikan tekanan kepada material yang berputar pada kecepatan tertentu.
2. Khourshid (2013) dalam penelitiannya menyatakan *Friction Stir Welding* adalah cara penyambungan yang menggunakan sebuah pahat yang dapat berputar dengan kecepatan tinggi diletakkan diantara kedua material yang ingin di sambungkan.

Dalam penelitian ini menggunakan jenis pengelasan gesek *Continuous drive friction welding*, untuk parameter yang digunakan dalam pengelasan gesek *Continuous drive friction welding* ini bisa dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Parameter Pengelasan Gesek  
Sumber : Sahin, (2010)

## 2.5 Kelebihan *Friction Welding*

Tyagita (2014) dalam penelitiannya menyatakan *friction welding* memiliki beberapa kelebihan yaitu :

1. Hemat penggunaan material.
2. Dapat menyambungkan benda berbentuk bulat atau yang tidak berbentuk bulat.
3. Dapat menyambungkan material serupa maupun material yang berbeda jenisnya.

## 2.6 Friction Time

Amirullah (2014) dalam penelitiannya menyatakan semakin lama waktu pengelasan bisa mempengaruhi nilai dari kekuatan puntir yang didapatkan pada sebuah sambungan las. Jadi *friction time* pada pengelasan gesek ialah waktu yang terjadi pada saat dimulainya suatu gesekan antar material. Untuk lama *friction time* yang dibutuhkan sesuai dengan yang dibutuhkan saat melakukan penelitian.

## 2.7 Kegunaan Las Gesek

Sidhu (2012) dalam penelitiannya menyatakan penyambungan menggunakan metode las gesek ini telah dilakukan didalam industri pesawat, kereta api dan perkapalan. Pada gambar 2.5 dapat dilihat alat/ *part* yang menggunakan metode las gesek.



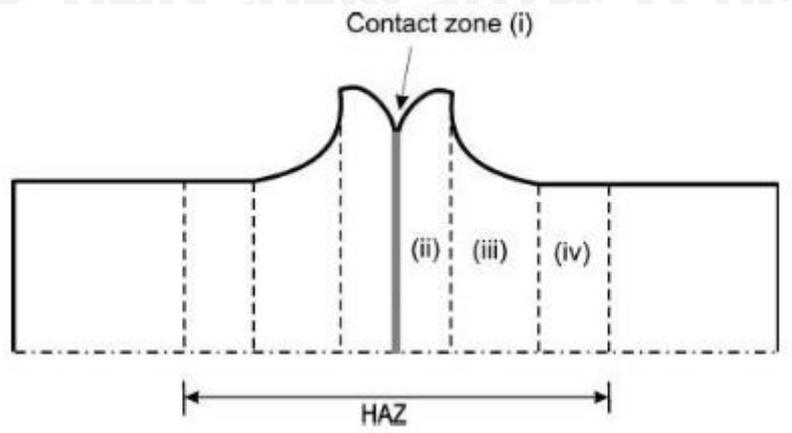
Gambar 2.5 Aplikasi Las Gesek  
Sumber : *Manufacturing Technology* INC

## 2.8 Daerah Heat Affected Zone (HAZ)

Daerah *HAZ* adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat (Wirjosumarto,2000). Pada daerah sering terjadi penurunan kekuatan pada suatu material. Pengaruh dari perbedaan waktu pengelasan, waktu pendinginan yang diberikan akan mempengaruhi hasil dari daerah *HAZ*.

Pada pengelasan gesek terdapat 3 daerah yaitu, *region i* ialah daerah dimana terjadinya gesekan, *region ii* ialah daerah mengalami perubahan bentuk hingga fase plastis, *region iii* ialah daerah yang hanya sebagian yang terkena dampak panas saat pengelasan dan

perubahan bentuk sebagian, dan *region iv* ialah daerah yang tidak terpengaruh saat terjadi pengelasan. dapat dilihat pada gambar 2.6 daerah atau *region- region* daerah las.



Gambar 2.6 *Heat Affected Zone* (HAZ)

Sumber : Maalekian (2007)

## 2.9 Energi Peleburan Aluminium Al- Mg- Si

Dalam proses peleburan suatu material dibutuhkan sebuah kalor yang digunakan untuk merubah fase dari suatu logam. Maka untuk mengetahui kalor yang dibutuhkan dalam proses peleburan dalam penelitian ini digunakan rumus yaitu :

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t$$

2-1

Dengan :

Q : jumlah kalor yang diterima (*Joule*)

m : Massa zat (kg)

c : Kalor jenis zat (*Joule/kg °C*)

$\Delta t$  : Perubahan Suhu ( $^{\circ}\text{C}$ )

Untuk besar nilai kalor jenis aluminium Al- Mg- Si adalah  $0.896 \text{ J/m }^{\circ}\text{C}$ . Sedangkan suhu untuk perubahan fase aluminium Al- Mg- Si dari fase *solid* ke fase *liquid* jenuh adalah  $582^{\circ}\text{C}$  ,untuk fase *liquid* adalah  $652^{\circ}\text{C}$

## 2.10 Energi Pengelasan *Friction Welding*

Dari dua benda yang bergesekan tersebut makan akan terbentuk energi mekanik. Maka jumlah energi pengelasan gesek adalah fungsi putaran yang dipakai, tekanan, dan nilai koefisien gesek. Maka jika dijabarkan ke dalam rumus seperti berikut:

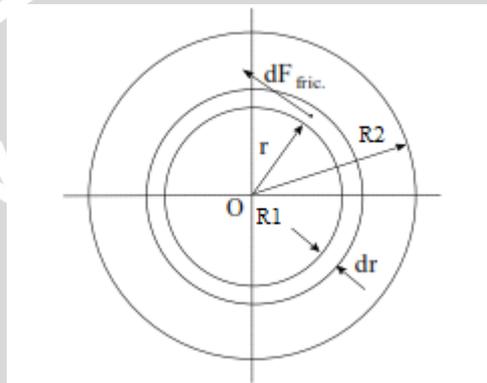
$$d\dot{Q} = \omega \cdot dM \quad (W)$$

2-2

Dimana  $\omega$  adalah kecepatan sudut dan  $dM$  adalah perbedaan nilai torsi untuk  $dr$ .

$$dM = r \cdot dF_{friction} \quad (Nm) \quad 2-3$$

Bisa dilihat pada gambar 2.7 yaitu, dimana nilai  $dF_{friction}$  ialah gaya gesekan yang terjadi pada lingkaran dengan lebar yaitu sebesar  $dr$ , sedangkan  $r$  ialah jari-jari lingkaran. Kemudian dengan menjabarkan rumus gaya gesekan  $dF_{friction}$  setara dengan koefisien gesek dikalikan dengan gaya aksial pada tekanan  $P$  pada lingkaran dengan jari-jari  $dr$ .



Gambar 2.7 Permukaan Gesek

Sumber : Sahin, (2010)

$$dF_{friction} = r \cdot (\mu \cdot P \cdot 2\pi r \cdot dr) \quad 2-4$$

Dengan menggabung dari persamaan 2-3 dan persamaan 2-4, pada persamaan 2-2 jadi

$$d\dot{Q} = 2\pi \cdot \mu \cdot \omega \cdot P \cdot r^2 \cdot dr \quad (W) \quad 2-5$$

Rumus (2-5) kemudian di integral dengan nilai  $R$  untuk menjelaskan jumlah kalor selama proses gesekan.

$$\int_{R_1}^{R_2} d\dot{Q} = 2\pi \cdot \mu \cdot \omega \cdot P \cdot r^2 \cdot dr \quad 2-6$$

$$\dot{Q} = 2\pi \cdot \mu \cdot \omega \cdot P \cdot \frac{r^3}{3} \Big|_{R_1}^{R_2} \quad 2-7$$

$$\dot{Q} = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot \mu \cdot \omega \cdot P \cdot (R_2^3 - R_1^3) \quad (W) \quad 2-8$$

Dengan :

$Q$  : Jumlah Kalor Yang Terjadi Pada Permukaan Las Gesek (W)

$P$  : Pressure Friction (N/m<sup>2</sup>)

$\omega$  : Kecepatan Sudut (radian/s)

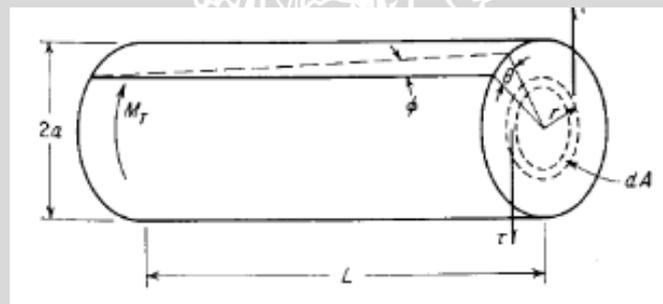
$R_2$ : Radius Luar Benda Kerja (m)

$R_1$ : Radius Dalam Benda Kerja (m)

## 2.11 Momen Puntir

Puntir ialah kondisi dimana suatu benda biasanya berbentuk poros, menerima gaya yang berlawanan terhadap kedua ujungnya. Cara kerjanya yaitu poros dipasangkan pada sebuah penahan yang membuat poros tersebut tidak bisa bergerak dan pada ujung lainnya bekerja sebuah gaya yang mengakibatkan poros tersebut terpuntir. Jika sudut puntir yang diberikan relatif kecil diameter dari poros tidak akan berubah.

Patahan yang terjadi pada puntiran terjadi pada bahan yang getas terlihat pada arah kekuatan puntir  $45^\circ$  terhadap sumbu puntiran, untuk bahan yang ulet patahan terjadi tegak lurus terhadap sumbu puntir. Pada gambar 2.8 bisa dilihat cara menghitung kekuatan puntir pada spesimen benda uji silinder.



Gambar 2.8 Pengujian Puntir pada benda uji silinder

Sumber : Dieter (1988 : 339)

Kondisi kesetimbangan antara momen puntir luar dan momen reaksi dari material menghasilkan :

$$M_T = \int_{r=0}^{r=a} \tau \cdot r \cdot dA = \frac{\tau}{r} \int_{r=0}^{r=a} \tau \cdot r \cdot dA \quad 2-9$$

Dimana ( $r^2 dA$ ) sebagai momen inersia polar dari spesimen dan disebut dengan J, Maka :

$$M_T = \frac{\tau \cdot J}{r} \quad 2-10$$

$$\tau = \frac{M_T \cdot r}{J} \quad 2-11$$

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>)

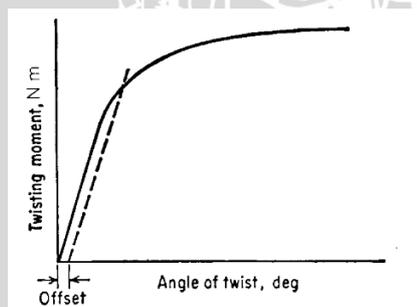
Tujuannya ialah untuk mengetahui sifat material setelah diberikan tegangan geser. Untuk mencari nilai kekuatan puntir perlu diketahui besar nilai torsi (momen puntir) dari setiap sudut pada saat pengujian spesimen. Setelah dapat mengetahui besar nilainya dapat melakukan perhitungan dengan rumus tegangan geser untuk benda silinder pejal. Dimana momen inersia ( $J$ ) pada silinder pejal ialah :

$$J = \left(\frac{\pi}{32}\right) d^4 \quad 2-12$$

Sehingga rumus untuk tegangan geser maksimum sebagai berikut :

$$\tau_{maks} = \frac{M_T D/2}{\pi D^4/32} = \frac{16M_T}{\pi D^3} \quad 2-13$$

Gambar 2.9 digunakan untuk mengetahui nilai sudut yaitu  $\theta$ , biasanya dalam bentuk radian.



Gambar 2.9 Diagram Momen Puntir  
Sumber : Dieter, (1988 : 340)

Kemudian untuk mencari nilai regangan geser, dapat menggunakan rumus yang dijabarkan seperti dibawah ini:

$$\gamma = \tan\theta = \frac{r\theta}{L} \quad 2-14$$

Dimana  $r$  ialah jari-jari kecil spesimen, untuk  $L$  ialah panjang spesimen dengan jari-jari kecil, dan  $\Theta$  ialah sudut yang terbaca pada *troptometer*. *Troptometer* ialah alat yang digunakan untuk membaca nilai sudut tiap putaran pada alat uji puntir. Di dalam pengujian puntir, biasanya telah didapatkan hasil berupa momen puntir serta sudut puntirnya, namun hal ini bisa juga dibuktikan dengan menggunakan rumus :

$$G = \frac{\tau}{\gamma} \quad 2-15$$

$$G = \frac{M_T L}{J\theta} \quad 2-16$$

dengan :

$G$  = Modulus elastisitas geser

$\tau$  = Tegangan geser

$\gamma$  = Regangan geser

$\Theta$  = Sudut puntir

## 2.12 Hipotesis

Kesimpulan awal sementara yang berasal dari beberapa teori dan beberapa penelitian dapat dikatakan bahwa penggunaan variasi sudut *chamfer* satu sisi dan waktu gesekan mempengaruhi tinggi rendahnya kekuatan puntir yang didapatkan, yaitu semakin kecil sudut *chamfer* spesimen yaitu sebesar  $11.5^\circ$  dan waktu gesek sebesar 45 detik yang diberikan pada spesimen, dapat meningkatkan nilai kekuatan puntir dari hasil pengelasan gesek yang dilakukan pada paduan Al- Mg- Si.

### BAB III

## METODE PENELITIAN

Metode Penelitian yang akan digunakan pada penelitian ini adalah metode *true experimental* nyata dan langsung pada objek yang diteliti. Metode ini digunakan agar dapat mengetahui secara langsung pengaruh sudut chamfer satu sisi dan waktu penekanan terhadap kekuatan puntir dari material Al-Mg-Si. Selain itu dilakukan kajian terhadap dasar teori yang ada dari beberapa sumber buku dan jurnal.

### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian akan dilakukan pada bulan April 2015 – bulan November 2015.

Tempat yang digunakan pada penelitian ini adalah

1. Laboratorium Proses Produksi, Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
2. Laboratorium Pengujian Bahan, Politeknik Negeri Malang.
3. Laboratorium Pengujian Bahan, Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.

### 3.2 Variabel Penelitian

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

#### 3.2.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang bisa diubah- ubah sehingga variabel ini dapat mempengaruhi hasil dari penelitian ini. Nilai dari variable ditentukan oleh peneliti agar mendapatkan hubungan antara variabel bebas dan variabel terikatnya. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah :

1. Sudut *chamfer* :  $0^{\circ}$ ,  $11,5^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$
2. *friction time* : 45', 50', 55'

#### 3.2.2 Variabel Terikat

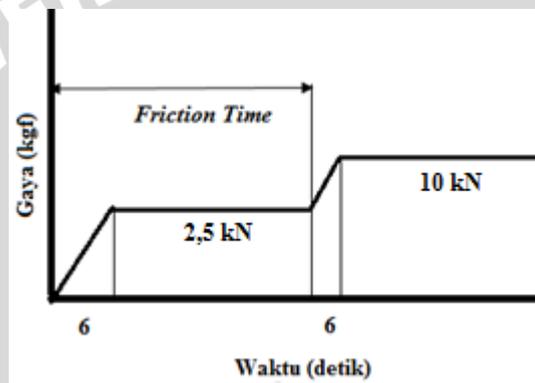
Variabel terikat adalah variabel yang besarnya dipengaruhi oleh besarnya variabel bebas. Adapun variabel terikat dari penelitian ini adalah kekuatan puntir.

### 3.2.3 Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang besarnya harus selalu di jaga konstan agar tidak mempengaruhi hasil dari variabel terikat. Variabel konstan pada penelitian ini yaitu :

1. Gaya penekanan awal pada proses pengelasan 2,50 kN.
2. Gaya penekanan akhir 10 kN.
3. Putaran *spindle* 1600 rpm.
4. Kekasaran permukaan bidang kontak  $\pm 0,54$

Dapat dilihat pada gambar 3.1 parameter pengelasan yang digunakan.



Gambar 3.1 Parameter Pengelasan

## 3.3 Spesifikasi Alat dan Bahan

### 3.3.1 Spesifikasi Alat

1. *Stopwatch*

Alat ini digunakan untuk mengukur waktu *friction time* saat melakukan pengelasan.

2. Jangka sorong

Alat ini digunakan untuk mengukur dimensi dari spesimen pengelasan.

3. Mesin bubut

Alat ini digunakan untuk pengambilan data pengelasan.

4. Mesin *power hacksaw*

Alat ini digunakan untuk memotong sesuai kebutuhan ukuran spesimen.

5. Mesin *milling*

Alat ini digunakan untuk memotong melintang spesimen, untuk keperluan foto makrostruktur.

6. Kamera digital

Alat ini digunakan untuk mengambil foto dan video saat melakukan pengelasan.

7. Polinema *Torsion Test*

Alat ini digunakan untuk melakukan pengujian puntir :

Spesifikasi Alat

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

### 3.3.2 Bahan

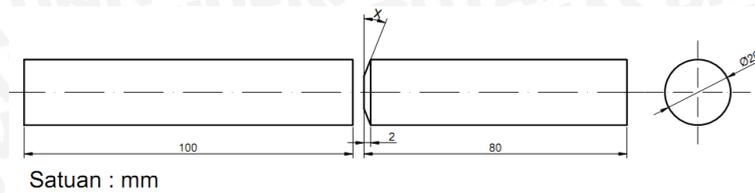
Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah aluminium Al- Mg- Si, untuk komposisi yang terkandung dapat dilihat pada tabel 3.1 sebagai berikut :

Table 3.1 Persentase komposisi kimia aluminium Al- Mg- Si

Paduan	Kandungan (%)	Paduan	Kandungan (%)	Paduan	Kandungan (%)
Aluminium (Al)	97,8	Besi (Fe)	0,231	Berllium (Be)	0,00006
Magnesium (Mg)	0,0489	Natrium (Na)	0,00036	Sirkonium (Zr)	0,00062
Silikon (Si)	0,530	Kalsium (Ca)	0,00019	Bismut (Bi)	< 0,00030
Besi (Fe)	0,338	Nikel (Ni)	0,0106	Cadium (Cd)	0,00056
Mangan (Mn)	0,125	Timbal (Pb)	0,0022		
Seng (Zn)	0,0373	Fosfor (P)	< 0,00050		
Tembaga (Cu)	0,231	Timah (Sn)	0,0014		
Krom (Cr)	0,0489	Antimon (Sb)	< 0,00040		
Titanium (Ti)	0,0250	Sr	< 0,00010		

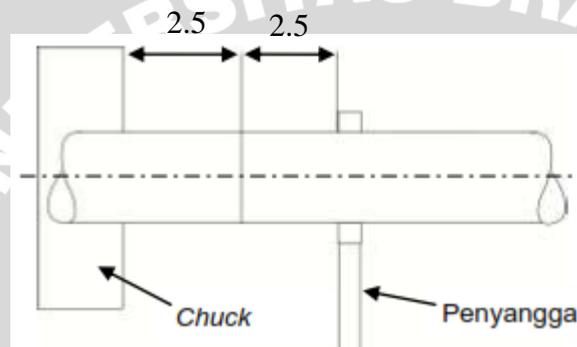
Sumber : PT.H.P.Metals Indonesia

Pada gambar 3.2 bisa dilihat gambar dan dimensi dari spesimen las yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 3.2 Bentuk Dimensi Benda Kerja

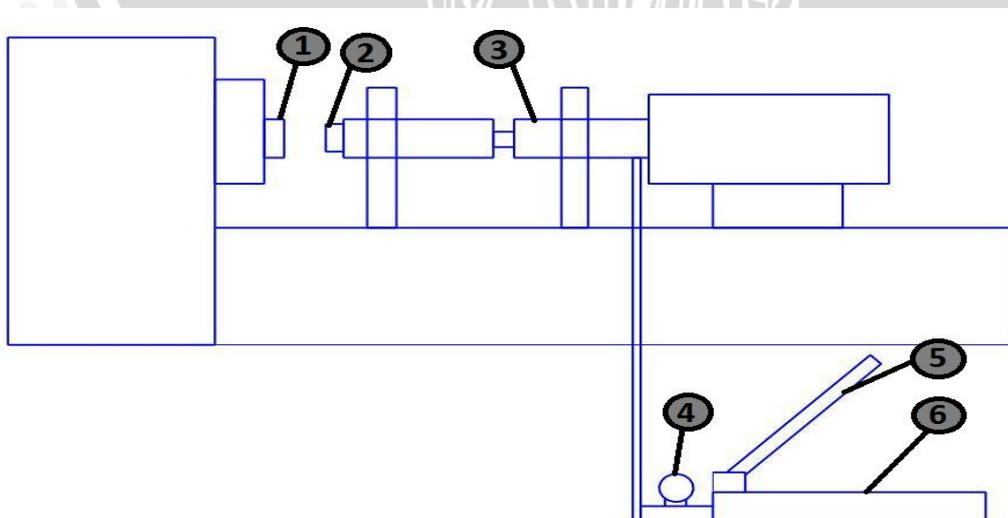
Pada gambar 3.3 bisa dilihat jarak untuk pemasangan spesiemen las pada alat pengelasan gesek.



Gambar 3.3 Skema Pengaturan Jarak Benda pada Mesin Bubut

### 3.4 Skema Instalasi Alat Penelitian

Pada gambar 3.4 dapat dilihat skema instalasi dari alat penelitian yang digunakan.



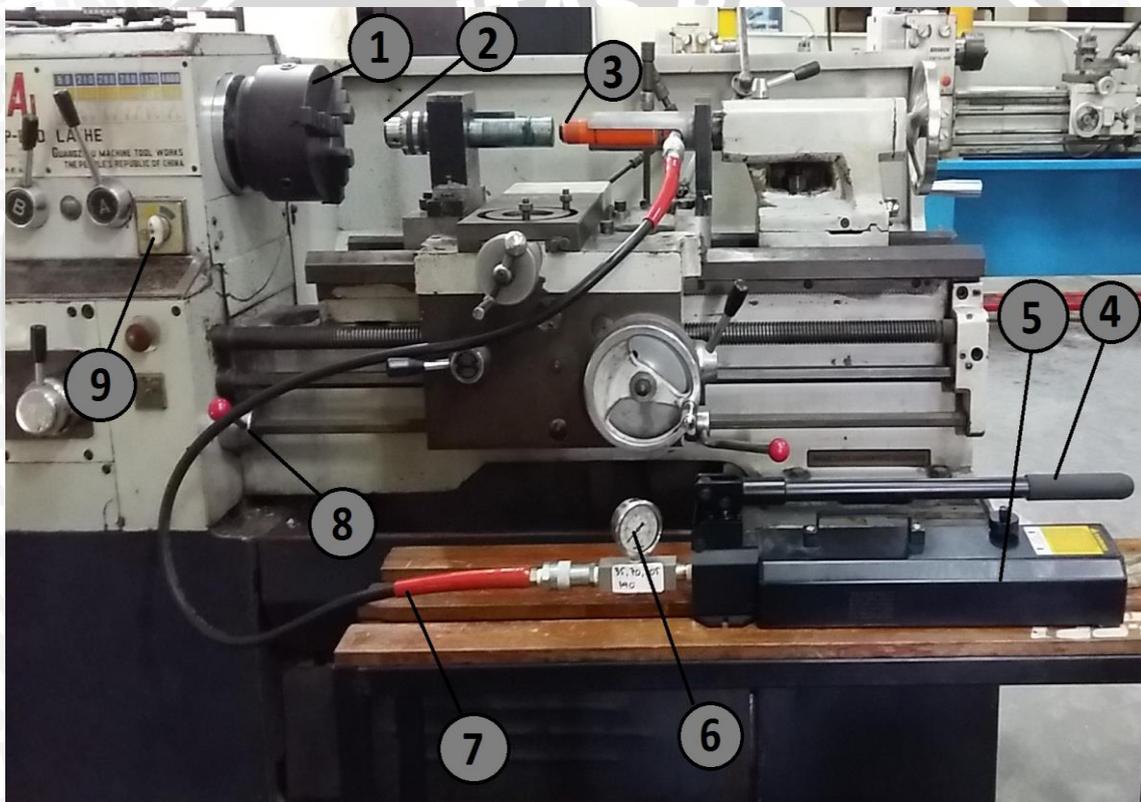
Gambar 3.4 Skema Instalasi Alat Penelitian

Keterangan :

1. *Chuck* mesin bubut
2. *Chuck* spesimen las
3. Silinder penekan
4. *Pressure Gauge*
5. Tuas penekan dongkrak hidrolik
6. Dongkrak hidrolik

### 3.5 Foto Alat Penelitian

Pada gambar 3.5 dapat dilihat foto dari alat penelitian yang digunakan.



Gambar 3.5 Skema Mesin Pengelasan Gesek

Keterangan :

1. *Chuck* mesin bubut
2. *Chuck* spesimen las
3. Silinder penekan
4. Tuas dongkrak hidrolik
5. Dongkrak Hidrolik
6. *Pressure Gauge*

7. Selang
8. Tuas On/Off
9. Pengatur rpm

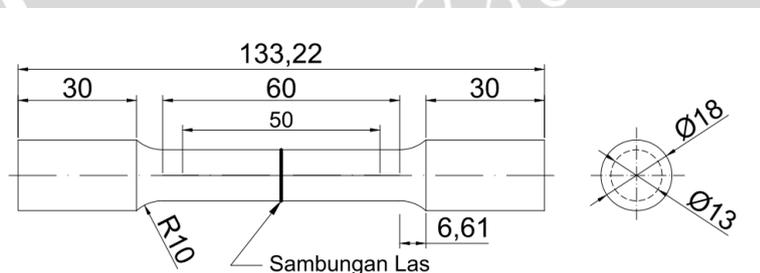
### 3.5 Prosedur Penelitian

#### 3.5.1 Pengelasan Gesek

- 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 dihidupkan pada rpm 800 selama 15 detik agar stabil, kemudian baru di naikkan ke rpm 1600.
- f. Lalu memberikan tekanan awal 2,5 kN selama *friction time* yang di perlukan.
- g. Mesin dimatikan setelah mencapai *friction time*.
- h. Kemudian holding selama 110 detik dan memberikan gaya tekan akhir 10 kN.
- i. Pelepasan spesimen dilakukan ketika suhu spesimen sudah turun sampai 40°C
- j. Pengecekan hasil lasan

#### 3.5.2 Pengujian Uji Puntir

Sebelum melakukan uji puntir specimen dibentuk menjadi spesimen uji puntir yang sesuai dengan standar internasional. Spesimen uji puntir yang digunakan merupakan hasil pengelasan poros dengan diameter 13 mm yang akan dibentuk sesuai standar AWS sesuai dengan gambar 3.6 di bawah ini.



Gambar 3.6 Dimensi Benda Kerja Uji Puntir  
Sumber : American Welding Society (2007)

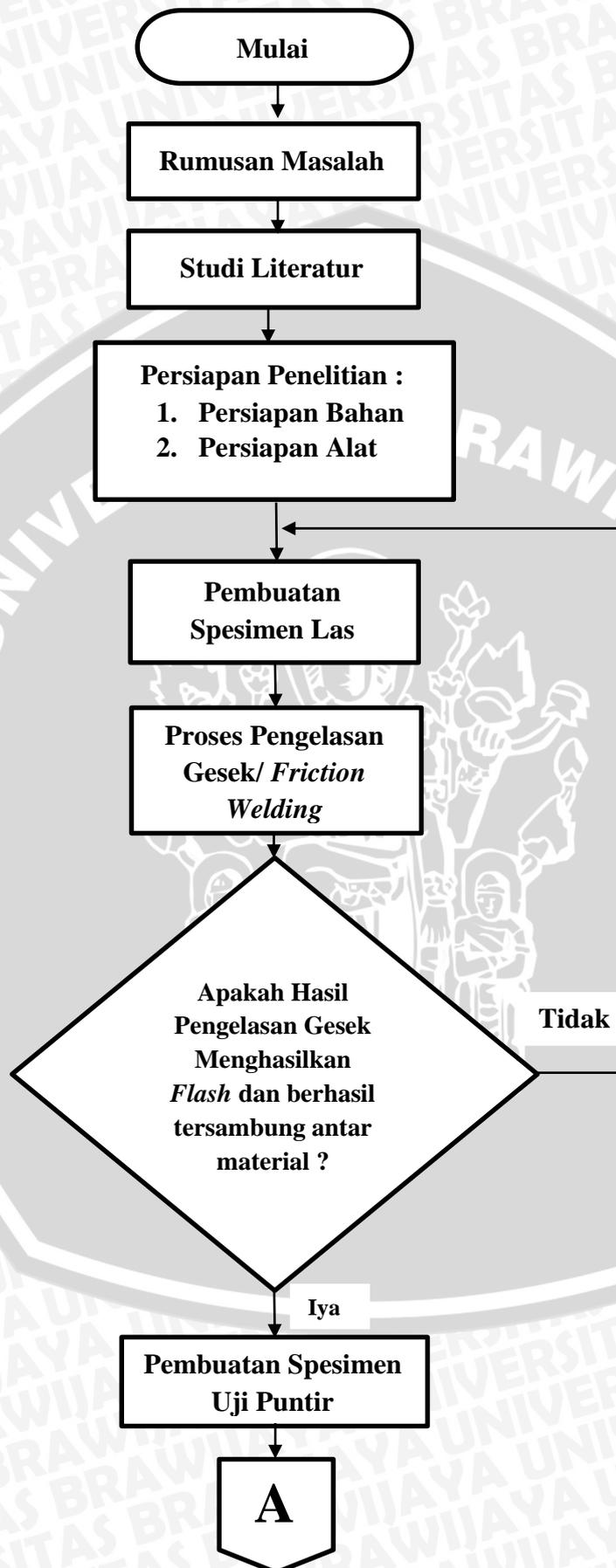
Prosedur cara Pengujian Puntir seperti dibawah ini :

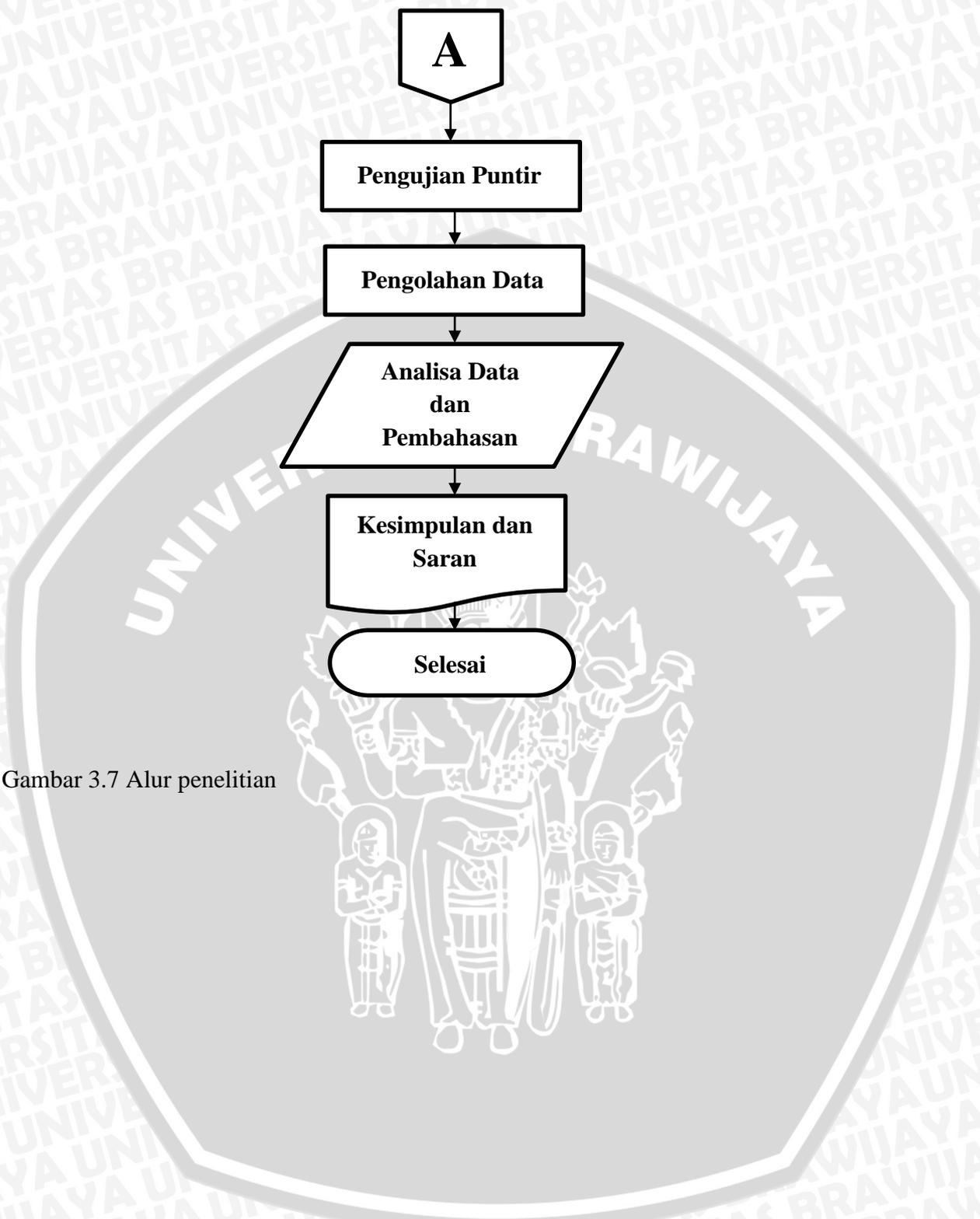
- a. Mempersiapkan Spesimen, lalu memasang spesimen pada *chuck*.
- b. Menyalakan *Stopwatch* dan mempersiapkan alat tulis untuk mencatat data pembebanan
- c. Melakukan Putaran tiap 2 detik dengan pertambahannya putarannya tiap 2 derajat.
- d. Lakukan sampai spesimen putus.
- e. Cabut spesimen pada *chuck*.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## 3.6 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.7 Alur penelitian

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Data Hasil Pengujian Puntir Spesimen Pengelasan

Dalam penelitian yang dilakukan ini, diambil data pengujian puntir hasil dari pengelasan. Pengambilan data kekuatan puntir menggunakan alat Polinema *Torsion Test*.

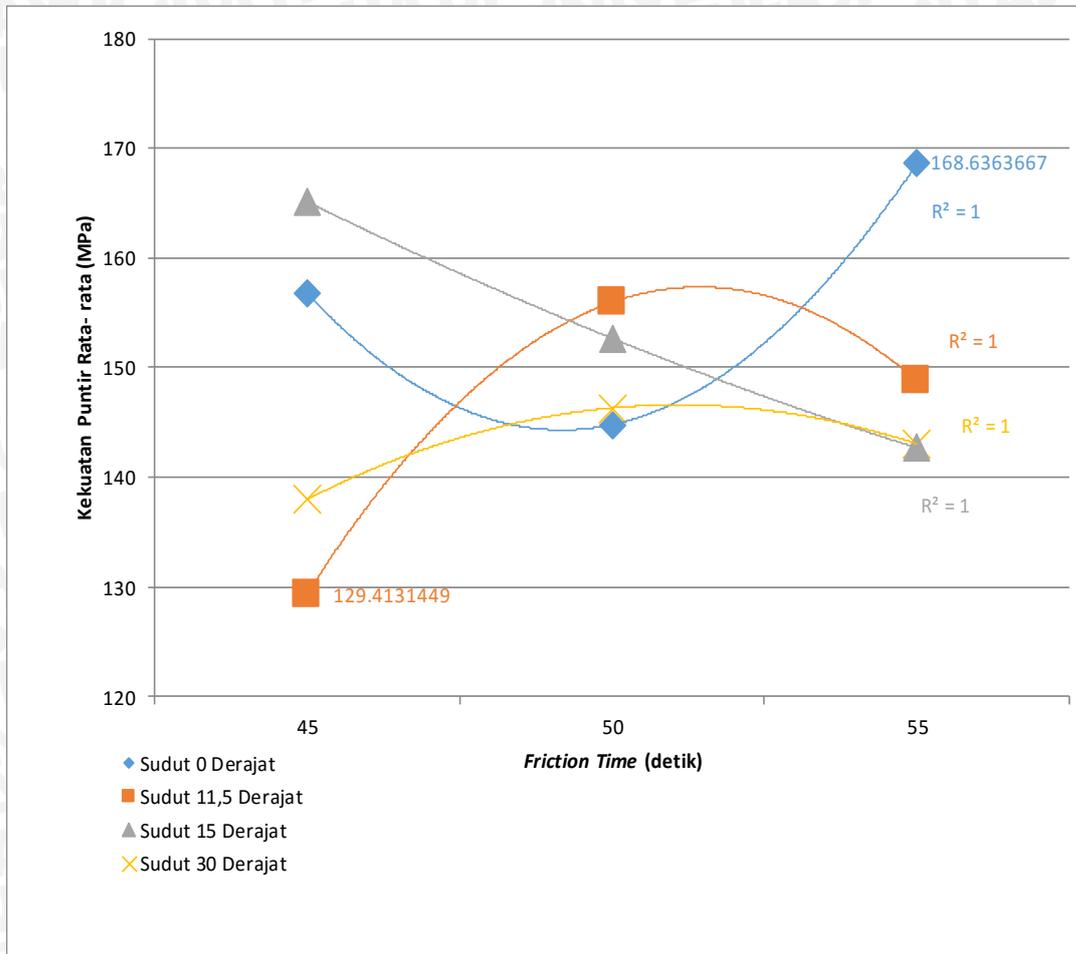
Untuk nilai hasil pengujian puntir dapat dilihat pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Data Nilai Momen Puntir Rata-rata (MPa)

No	Friction Time (s)	Chamfer (°)	Pengulangan	Momen Puntir (MPa)	Momen Puntir Rata- Rata (MPa)		
1	45'	0°	1	156,42	156,77		
			2	157,83			
			3	156,07			
		11.5°	1	130,00	129,41		
			2	128,94			
			3	129,29			
		15°	1	164,53	165,11		
			2	165,58			
			3	165,23			
		30°	1	138,46	137,99		
			2	137,75			
			3	137,75			
		2	50'	0°	1	145,15	144,80
					2	144,44	
					3	144,80	
11.5°	1			156,42	155,95		
	2			155,37			
	3			156,07			
15°	1			152,90	152,66		
	2			152,19			
	3			152,90			
30°	1	146,91	146,32				
	2	145,85					
	3	146,2					
3	55'	0°	1	168,75	168,63		
			2	168,05			
			3	169,11			
		11.5°	1	148,67	148,79		
			2	149,38			
			3	148,32			
		15°	1	144,80	142,68		
			2	137,40			
			3	145,85			
30°	1	143,04	143,07				
	2	142,68					
	3	143,39					

## 4.2 Pembahasan

### 4.2.1 Grafik Hubungan Antara Kekuatan Puntir Rata- rata Dengan *Friction Time*, Semua Sudut *Chamfer*

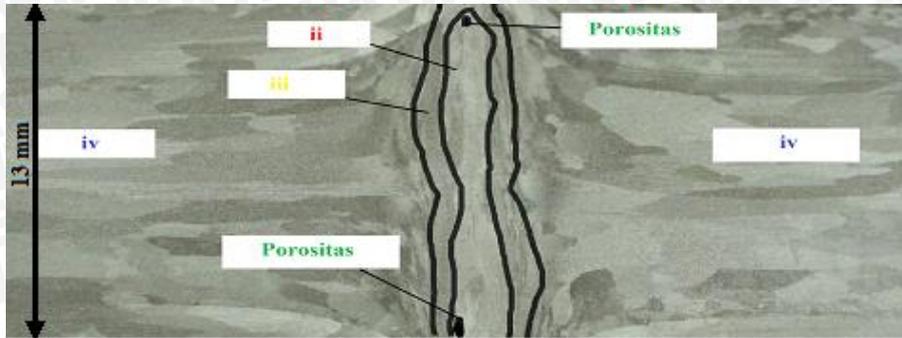


Gambar 4.1 Grafik Hubungan Antara Kekuatan Puntir Rata- rata Dengan *Friction Time* semua sudut *chamfer*.

Pada gambar 4.1 diatas menunjukkan grafik hubungan antara kekuatan puntir rata- rata dengan *friction Time* yang berbeda pada semua sudut *chamfer*.

Pada grafik ini pengelasan gesek dengan sudut *chamfer* 0° dengan *friction time* 45 detik didapatkan nilai kekuatan puntir rata- rata sebesar 156,77 MPa, kemudian sudut *chamfer* 0° dengan *friction time* 50 detik didapatkan nilai kekuatan puntir rata- rata sebesar 144,80 MPa, sedangkan pengelasan gesek dengan sudut 0° dengan *friction time* 55 detik didapatkan kekuatan puntir rata- rata sebesar 168,63 MPa. Dari grafik diatas dapat dilihat ternyata nilai kekuatan puntir rata- rata dengan

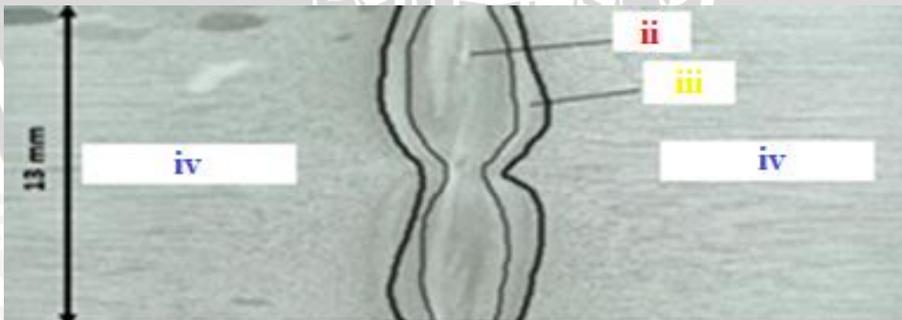
sudut *chamfer*  $0^\circ$  yang paling kecil terdapat pada *friction time* 50 detik kemudian nilai terbesar kekuatan puntir rata- rata dengan sudut *chamfer*  $0^\circ$  terdapat pada *friction time* 55 detik. Pada gambar 4.2 sampai 4.4 dapat dilihat foto makrostrukturnya.



Gambar 4.2 Foto Makrostruktur Sudut *Chamfer*  $0^\circ$ , *Friction Time* 45 detik



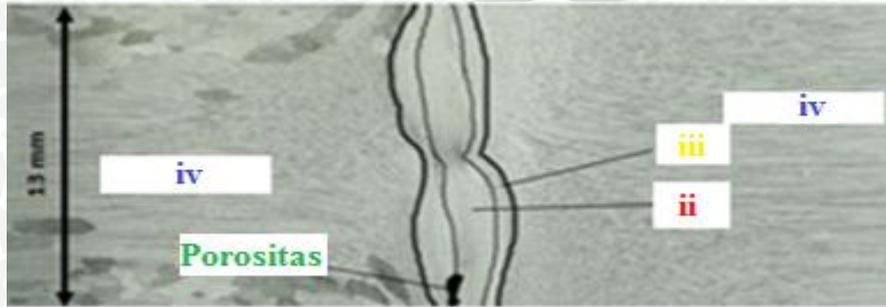
Gambar 4.3 Foto Makrostruktur Sudut *Chamfer*  $0^\circ$ , *Friction Time* 50 detik



Gambar 4.4 Foto Makrostruktur Sudut *Chamfer*  $0^\circ$ , *Friction Time* 55 detik

Pada grafik ini pengelasan gesek dengan sudut *chamfer*  $11,5^\circ$  dengan *friction time* 45 detik didapatkan nilai kekuatan puntir rata- rata sebesar 129,41 MPa, kemudian sudut *chamfer*  $11,5^\circ$  dengan *friction time* 50 detik didapatkan nilai kekuatan puntir rata- rata sebesar 155,95 MPa, sedangkan pengelasan gesek dengan sudut  $11,5^\circ$  dengan *friction time* 55 detik didapatkan kekuatan puntir rata- rata

sebesar 148,79 MPa. Dari grafik diatas dapat dilihat ternyata nilai kekuatan puntir rata- rata dengan sudut *chamfer* 11,5° yang paling besar terdapat pada *friction time* 50 detik kemudian nilai terkecil kekuatan puntir rata- rata dengan sudut *chamfer* 11,5° terdapat pada *friction time* 45 detik. Pada gambar 4.5 sampai 4.7 dapat dilihat foto makrostrukturnya.



Gambar 4.5 Foto Makrostruktur Sudut *Chamfer* 11.5°, *Friction Time* 45 detik



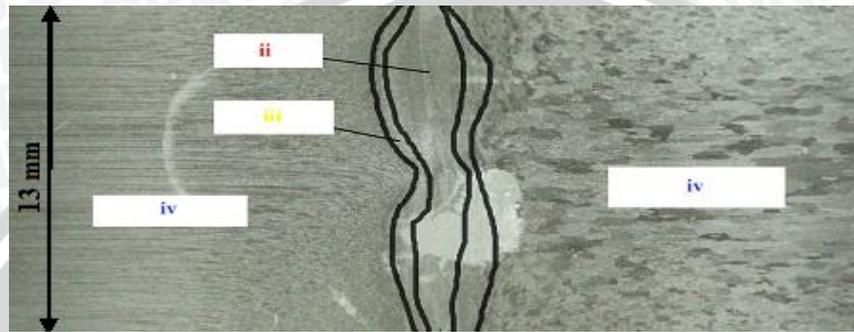
Gambar 4.6 Foto Makrostruktur Sudut *Chamfer* 11.5°, *Friction Time* 50 detik



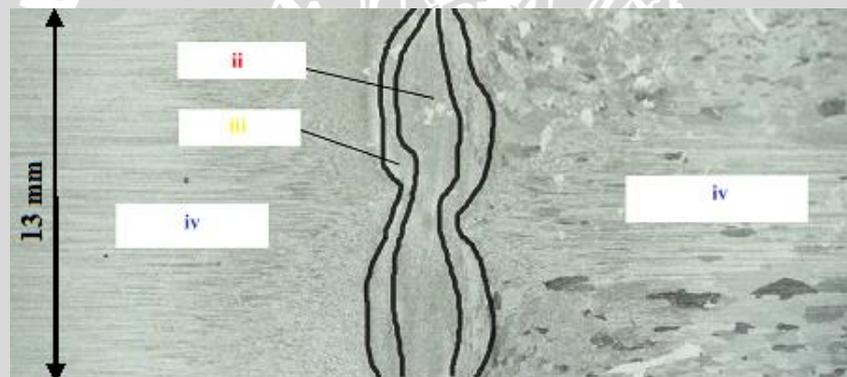
Gambar 4.7 Foto Makrostruktur Sudut *Chamfer* 11.5°, *Friction Time* 55 detik

Pada grafik ini pengelasan gesek dengan sudut *chamfer* 15° dengan *friction time* 45 detik didapatkan nilai kekuatan puntir rata- rata sebesar 165,11 MPa, kemudian sudut *chamfer* 15° dengan *friction time* 50 detik didapatkan nilai kekuatan puntir rata- rata sebesar 152,66 MPa, sedangkan pengelasan gesek dengan sudut 15° dengan *friction time* 55 detik didapatkan kekuatan puntir rata- rata sebesar 142.68

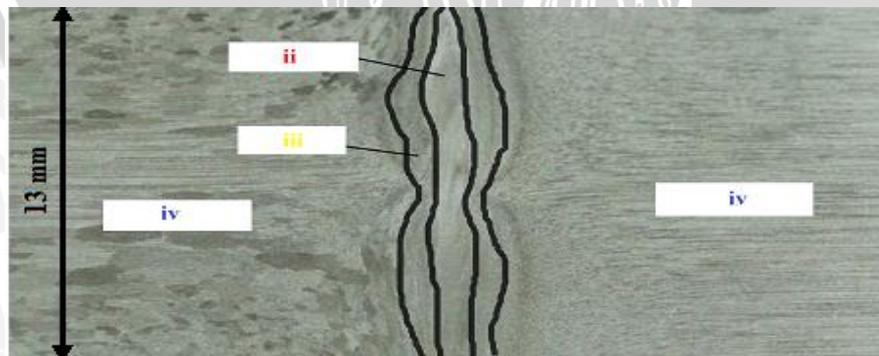
MPa. Kecenderungan dari grafik diatas yaitu semakin lama *friction time* maka nilai kekuatan puntir rata- ratanya akan semakin menurun. Dari grafik diatas dapat dilihat ternyata nilai kekuatan puntir rata- rata dengan sudut *chamfer*  $15^\circ$  yang paling besar terdapat pada *friction time* 45 detik kemudian nilai terkecil kekuatan puntir rata- rata dengan sudut *chamfer*  $15^\circ$  terdapat pada *friction time* 55 detik. Pada gambar 4.8 sampai 4.10 dapat dilihat foto makrostrukturnya.



Gambar 4.8 Foto Makrostruktur Sudut *Chamfer*  $15^\circ$ , *Friction Time* 45 detik



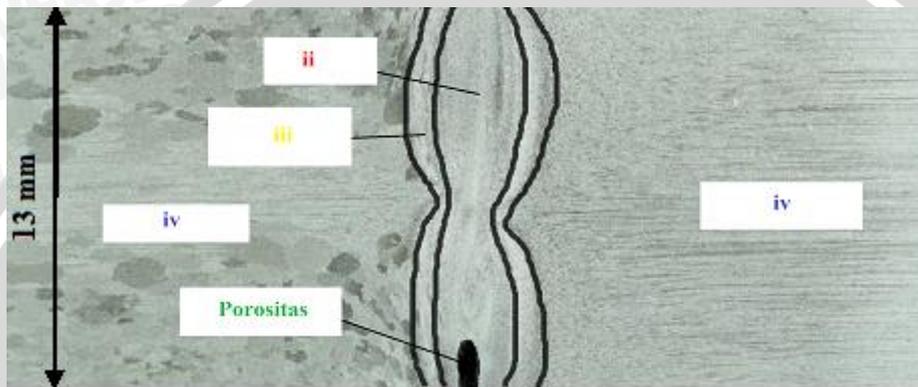
Gambar 4.9 Foto Makrostruktur Sudut *Chamfer*  $15^\circ$ , *Friction Time* 50 detik



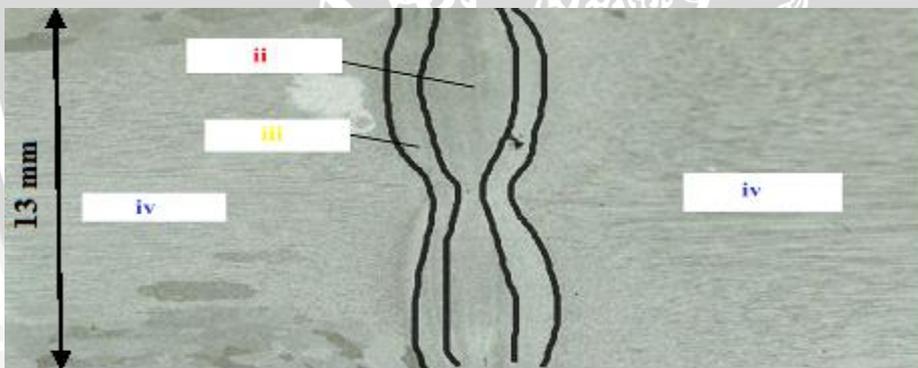
Gambar 4.10 Foto Makrostruktur Sudut *Chamfer*  $15^\circ$ , *Friction Time* 55 detik

Pada grafik ini pengelasan gesek dengan sudut *chamfer*  $30^\circ$  dengan *friction time* 45 detik didapatkan nilai kekuatan puntir rata- rata sebesar 137,99 MPa,

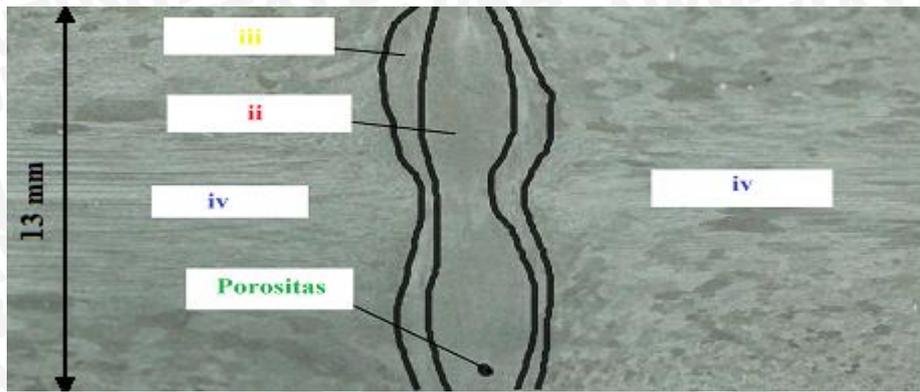
kemudian sudut *chamfer* 30° dengan *friction time* 50 detik didapatkan nilai kekuatan puntir rata- rata sebesar 146,32 MPa, sedangkan pengelasan gesek dengan sudut 30° dengan *friction time* 55 detik didapatkan kekuatan puntir rata- rata sebesar 143,03 MPa. Dari grafik diatas dapat dilihat ternyata nilai kekuatan puntir rata- rata dengan sudut *chamfer* 30° yang paling kecil terdapat pada *friction time* 45 detik kemudian nilai terbesar kekuatan puntir rata- rata dengan sudut *chamfer* 30° terdapat pada *friction time* 50 detik. . Pada gambar 4.11 sampai 4.13 dapat dilihat foto makrostrukturnya.



Gambar 4.11 Foto Makrostruktur Sudut *Chamfer* 30°, *Friction Time* 45 detik



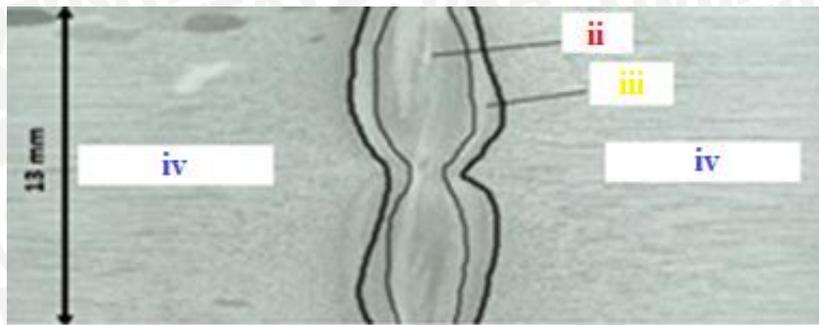
Gambar 4.12 Foto Makrostruktur Sudut *Chamfer* 30°, *Friction Time* 50 detik



Gambar 4.13 Foto Makrostruktur Sudut *Chamfer* 30°, *Friction Time* 55 detik

Dalam grafik ini nilai tertinggi kekuatan puntir rata-rata semua sudut *chamfer* terdapat pada sudut *chamfer* 0° dengan *friction time* 55 detik yaitu sebesar 168,63 MPa. Sedangkan untuk nilai kekuatan puntir rata-rata terdapat pada sudut *chamfer* 11,5° dengan *friction time* 45 detik yaitu sebesar 129,41 MPa. Dugaan awal seharusnya sudut *chamfer* 11.5° memiliki kekuatan puntir tertinggi tapi ternyata sudut *chamfer* 0° dengan *friction time* 55 detik yang memiliki kekuatan puntir rata-rata tertinggi sedangkan 11.5° dengan *friction time* 45 detik paling rendah untuk kekuatan puntir rata-rata. Ini dikarenakan tekanan akhir yang diberikan kepada setiap spesimen sebesar 10 kN efeknya lebih dominan sehingga deformasi plastis yang terjadi cukup besar sedangkan pengaruhnya dari pada variasi *friction time* dan sudut *chamfer* tidak terlalu berpengaruh sehingga membuat sudut *chamfer* 0° dengan *friction time* 55 detik lebih tinggi untuk nilai kekuatan puntir rata-ratanya.

Dari hasil foto makrostruktur pada permukaan bagian hasil dari pengelasan yang dilakukan pembelahan secara melintang untuk dapat melihat daerah-daerah dari hasil pengelasan yaitu *region* ii ialah daerah yang bergesekan saat pengelasan dan terjadi persambungan dan mengalami perubahan bentuk hingga fase plastis, *region* iii ialah daerah yang hanya sebagian yang terkena dampak panas saat pengelasan dan perubahan bentuk sebagian, dan *region* iv ialah daerah yang tidak terpengaruh saat terjadi pengelasan. Dengan pembagian tersebut dapat dilakukan pengukuran luasan tiap daerah yang di ukur menggunakan *software Image J*. dapat dilihat hasil foto makrostruktur pada gambar 4.14 Dan gambar 4.15 seperti di bawah ini.



Gambar 4.14 Foto Makrostruktur Sudut *Chamfer* 0°, *Friction Time* 55 detik



Gambar 4.15 Foto Makrostruktur Sudut *Chamfer* 11,5°, *Friction Time* 45 detik

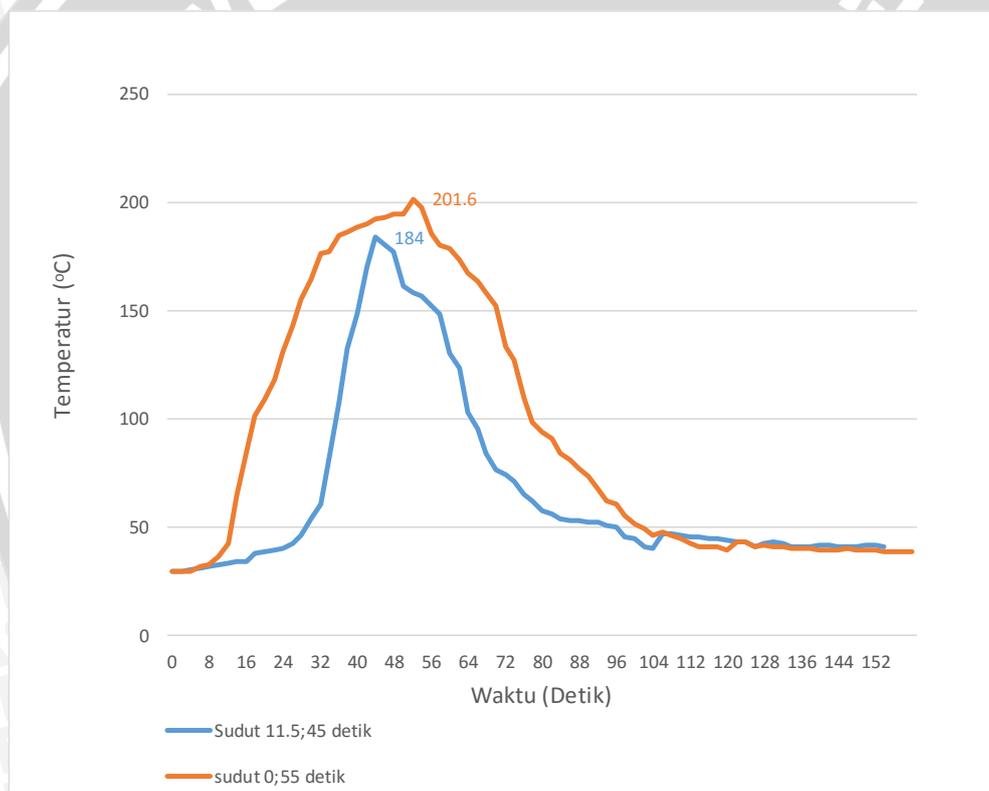
Hasil analisa penghitungan luasan pada setiap daerah dapat dilihat pada tabel 4.2 dibawah ini.

Tabel 4.2 Luasan *region ii*, *region iii*, dan Porositas

<i>Chamfer</i> (derajat)	<i>Friction Time</i> (detik)	<i>Region ii</i> (mm <sup>2</sup> )	<i>Region iii</i> (mm <sup>2</sup> )	Porositas (mm <sup>2</sup> )
0	45	22.221	13.176	0.131
	50	18.174	15.763	-
	55	34.338	15.084	-
11.5	45	17.696	18.435	0.279
	50	28.209	16.982	-
	55	26.670	12.867	0.245
15	45	25.860	12.663	-
	50	25.698	16.121	-
	55	20.335	16.664	-
30	45	21.090	16.218	0.297
	50	21.830	16.623	-
	55	21.354	15.117	0,031

Dari data pada tabel 4.2 dapat diketahui bahwa pada kekuatan puntir rata-rata tertinggi pada sudut *chamfer* 0° dengan *friction time* 55 detik tidak ditemukan daerah porositas, untuk luasan daerah *region iii* nya 15.084 mm<sup>2</sup>. Untuk luasan *region ii* *chamfer*

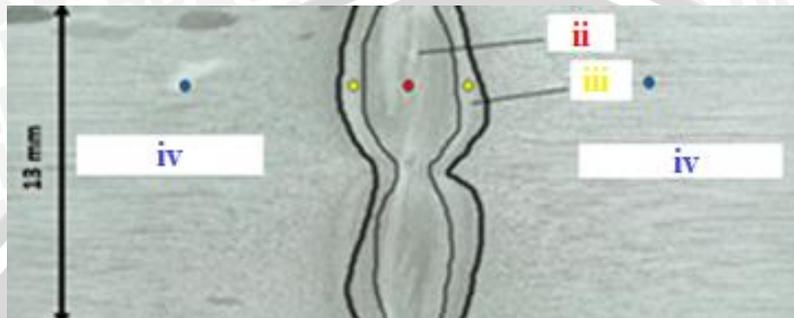
0° dengan *friction time* 55 detik memiliki luasan 34.338 mm<sup>2</sup>. Untuk kekuatan puntir terendah pada sudut *chamfer* 11.55° dengan *friction time* 45 luasan daerah *region* iii nya yaitu 18.435 mm<sup>2</sup>, sedangkan untuk luasan *region* ii nya sebesar 17.696 mm<sup>2</sup>. Terdapat daerah porositas pada *chamfer* 11.5° dengan *friction time* 45 detik yang memiliki luasan 0,279 mm<sup>2</sup>. Dapat dilihat ternyata dengan adanya perbedaan sudut *chamfer* dan *friction time* dapat mempengaruhi luasan tiap daerah dari hasil las. Hal ini dikarenakan semakin lama waktu *friction time* maka panas yang diterima oleh spesimen semakin besar. Luas bidang kontak spesimen juga mempengaruhi pemusatan panas yang terjadi di spesimen. Untuk suhu optimal untuk spesimen dengan *chamfer* 11.5° yaitu 184.4°C sedangkan untuk spesimen 0° dengan *friction time* 55 detik memiliki suhu optimal 201.6°C. dapat dilihat pada gambar 4.16 untuk pertambahan suhu saat pengelasan seperti dibawah ini.



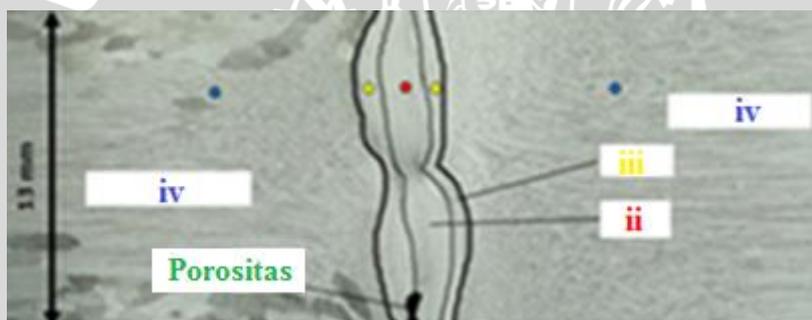
Gambar 4.16 Grafik Suhu Pengelasan

Suhu pada saat pengelasan juga berpengaruh karena suhu tersebut berguna untuk melunakkan spesimen A6061 dan dapat berpengaruh kepada ikatan dan distribusi antar butir-butir. Pada saat diberikan tekanan butir-butir tersebut dapat bergerak mengisi celah-celah kosong sehingga memperkuat ikatan antar butir tersebut. Dalam spesimen *chamfer* 11.5° *friction time* 45 detik juga terdapat porositas yang dapat mempengaruhi kekuatan puntir dari spesimen tersebut. Terdapatnya porositas di spesimen dengan *chamfer* 11.5

*friction time* 45 detik dikarenakan terdapat udara yang terjebak saat melakukan pengelasan. Sedangkan kalau dari faktor kekerasan dugaan awal yaitu semakin tinggi kekuatan puntir maka semakin tinggi kekerasannya. Dapat dilihat pada gambar 4.17 dan 4.18 titik yang diambil untuk setiap daerah hasil las dan setiap titik tersebut dilakukan pengambilan data kekerasan sebanyak 3 kali setiap titik dan jarak antar titik pengulangan dibuat sama. Untuk nilai kekerasan pada tiap titik bisa dilihat pada tabel 4.3 dibawah ini.



Gambar 4.17 Pengambilan Titik Uji Kekerasan *Chamfer* 11.5°



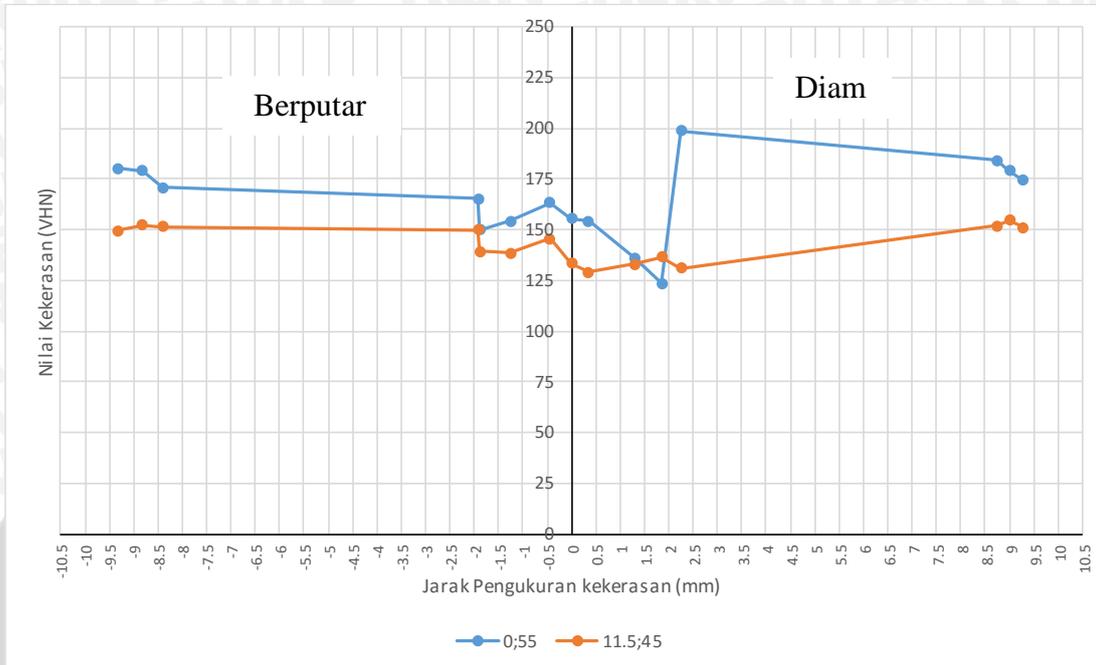
Gambar 4.18 Pengambilan Titik Uji Kekerasan *Chamfer* 0°

Tabel 4.3 Kekerasan Spesimen Kekuatan Puntir Tetinggi dan Terendah

<i>Chamfer</i>	<i>Friction Time</i>	Daerah	Kekerasan Rata- rata (VHN)
11.5	45	HAZ ( <i>region ii &amp; region iii</i> )	282.14
		<i>Region iv</i>	151.8
0	55	HAZ ( <i>region ii &amp; region iii</i> )	312.2
		<i>Region iv</i>	177.87

Data yang terdapat di tabel 4.3 hanya variasi yang memiliki nilai kekuatan puntir rata- rata tertinggi dan terendah. Dugaan awal seharusnya semakin tinggi kekuatan puntir rata- rata spesimen akan berbanding lurus dengan kekerasan yang dimiliki oleh spesimen tersebut. Ternyata setelah dilakukan pengujian hasilnya berbanding lurus jadi semakin

tinggi kekuatan puntir rata- rata kekerasannya semakin tinggi. Untuk kekuatan puntir rata- rata tertinggi memiliki nilai kekerasan sebesar 312.2 *VHN*. Untuk jarak antar titik pengambilan nilai kekerasan bisa dilihat pada gambar 4.19.



Gambar 4.19 Grafik jarak antar titik uji kekerasan

Dalam gambar 4.19 bisa dilihat jarak antar uji titik kekerasan yang dilakukan. Terdapat 3 titik yang dilakukan pengujian dan setiap titik dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali. Dari titik 0 pada sumbu x ke arah kiri memiliki maksud sisi spesimen yang berputar sedangkan dari titik 0 sumbu x ke arah kanan ialah sisi spesimen yang diam saat dilakukan pengelasan. Untuk nilai modulus geser bisa dilihat dalam tabel 4.4

Tabel 4.4 Modulus Geser

Spesimen	Modulus Geser (Gpa)
0°;55 Detik	6.5
11.5°;45 Detik	2.9
Al- Mg- Si	16.09

Dalam tabel 4.4 bisa dilihat untuk nilai modulus geser pada spesimen *raw material*, spesimen kekuatan puntir rata- rata tertinggi, dan kekuatan puntir rata- rata terendah

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat di ambil dari penelitian ini adalah :

Dengan adanya variasi sudut *chamfer* dan *friction time* dapat mempengaruhi hasil dari kekuatan puntir pada setiap variasi spesimen. Dari hasil penelitian *friction welding* ini dapat dilihat kekuatan puntir tertinggi terdapat pada sudut *chamfer* 0° dengan *friction time* 55 detik dengan kekuatan puntir rata- ratanya sebesar 168,63 MPa. Sedangkan untuk kekuatan puntir paling kecil didapatkan pada sudut *chamfer* 11.5° dengan *friction time* 45 detik dengan kekuatan puntir rata- rata sebesar 129,41 MPa. Dari hasil data pengujian kekerasan ternyata spesimen yang memiliki kekuatan puntir rata- rata tertinggi memiliki nilai kekerasan tertinggi jadi berbanding lurus.

#### 5.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya di sarankan menggunakan mesin yang lebih baik yang lebih canggih untuk mengurangi kesalahan dan dapat menghasilkan produk las gesek yang lebih baik.
2. Dibutuhkan penelitian selanjutnya untuk mencoba dengan material yang tidak sejenis
3. Lebih ditingkatkan lagi dalam hal variasi seperti variasi *chamfer*, variasi *friction time* dan juga gaya tekan awal dan akhir lebih di perbesar lagi agar menghasilkan produk las gesek yang lebih baik lagi.



## DAFTAR PUSTAKA

- Amirullah, Muhamad dkk. 2014. *Pengaruh Sudut Chamfer Satu Sisi Dan Friction Time Terhadap Kekuatan Puntir Pada Sambungan Las Gesek Al- Mg- Si*. Malang.
- Ardianto, Alfian Ferry dkk. 2015. *Kekuatan Puntir Sambungan Las Gesek Al-Mg-Si Dengan Variasi Sudut Chamfer Dua Sisi Dan Kekasaran*. Malang.
- Can, Ahmet dkk. 2010. *Modelling Of Friction Welding*. Gabrovo. International Scientific Conference.
- Dieter, George (1988) "*Mechanical Metallurgy*". McGraw-Hill Company. United Kingdom.
- EL- Bedawy, Mohammed EL- Sayed Mohammad. 2010. *Effect of Aging on the Corrosion of Aluminum Alloy 6061*. Cairo.
- Husodo, Nur dan Sanyoto, Budi Luwar. 2013. *Peningkatan Peran Teknologi Friction Welding Dalam Memproduksi As Sepeda Motor Produk Industri Kecil*. Surabaya.
- Irawan, Yudi Surya dkk. 2012. *Tensile Strength of Weld Joint Produced by Spinning Friction Welding of Round Aluminum A6061 with Various Chamfer Angles*. Malang: *Advance Material Research* Vol.576. pp 761-765 Switzerland: Trans Tech.
- Jatmiko, Sukanto dan Jokosisworo, Sarjito. 2012. *Analisa Kekuatan Puntir Dan Kekuatan Lentur Putar Poros Baja ST 60 Sebagai Aplikasi Perancangan Bahan Poros Baling- Baling Kapal*. Semarang.
- Kalpakistan, Serope. 2001. *Manufacturing Processes for Engineering Materials, Fourth edition*. Pearson Prentice Hall International.
- Khourshid, A M and Sabry, I. 2013. *Analysis And Design Of Friction Stir Welding*. India: Vol. 2, No 3.
- Kissell, J Randolph & Ferry, Robert L. 2002. *ALUMINUM STRUCTURES*. New York.
- Lienert, Thomas J. 2011. *ASM Handbook: Volume 06A Welding Fundamentals and Process*. Ohio: ASM International
- Lien, C. B. dkk. 1999. *The Effect of Joint Design and Volume Fraction on Friction Welding Properties of A360/SiC (p) Composites*. Taiwan.
- Maalekian, M. 2007. *Friction Welding- Critical Assessment of Literature*. London: Maney

Santoso, Eko Budi dkk. 2012. *Pengaruh Sudut Chamfer Dan Gaya Tekan Akhir Terhadap Kekuatan Tarik Dan Porositas*. Malang

Sationo, Aries dan Sisminto. 2010. *Autodesk Inventor Professional 2009*. Yogyakarta: Penerbit Andi.

Sidhu, Mandeep Singh and Chatha, Sukhpal Singh. 2012. *Friction Stir Welding- Process And Its Variables: A Review*. India

Spindler. 1994. *What Industry Needs to know about Friction Welding*. Welding Journal, march, p. 37 – 42.

Surdia, Tata dan Saito, Shinroku. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: Pradnya Paramita.

Tyagita, Dicky Adi dkk. 2014. *Kekuatan Puntir dan Porositas Hasil Sambungan Las Gesek ALMg-Si dengan Variasi Chamfer dan Gaya Tekan Akhir*. Malang: Jurnal Rekayasa Mesin Vol.5, No.1 Tahun 2014: 69-74

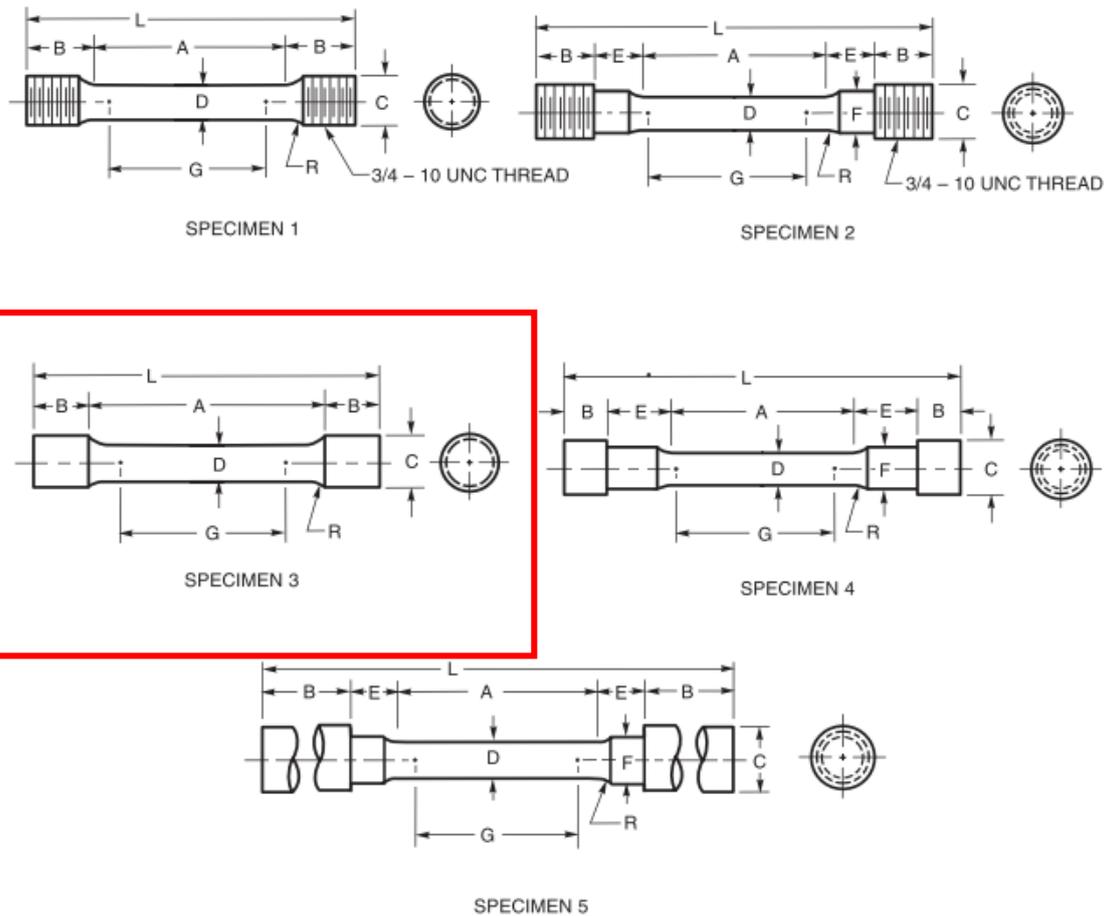


UNIVERSITAS BRAWIJAYA

# LAMPIRAN



## Lampiran 1



	Dimensions				
	Specimen 1 in (mm)	Specimen 2 in (mm)	Specimen 3 in (mm)	Specimen 4 in (mm)	Specimen 5 in (mm)
G — gage length	$2.000 \pm 0.005$ (50 ± 0.127)				
D — diameter (Note 1)	$0.500 \pm 0.010$ (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 (56) min.	2-1/4 (56) min.	4 (101) approx.	2-1/4 (56) min.	2-1/4 (56) 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)	19/32 (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 : 410 /PL2.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 : Auliya Rizeky January  
Nim : 115060207111022  
Jurusan : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Universitas Brawijaya

Benar benar telah melaksanakan penelitian Pengujian Puntir Material Aluminum 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



Pondi Udianto, S.SI., M.T  
19690813 199512 1 001



Lampiran 4



PT.H.P.METALS INDONESIA

122804

Method: AI-SS-6063

9/18/2015 6:16:05 AM

Comment: AI-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	0.796	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	0.00082	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	0.00056	97.8			
2	0.00006	0.00067	< 0.00030	0.00063	97.8			
3	0.00006	0.00048	< 0.00030	0.00066	97.8			





PT.H.P.METALS INDONESIA

122804

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

	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)	0.00006	0.00059	< 0.00030	0.00062	97.8			

- 1 -

18/09 2015  
 LABORAT  
 Jeffrey  
 (M. Jeffrey)



### Lampiran 5

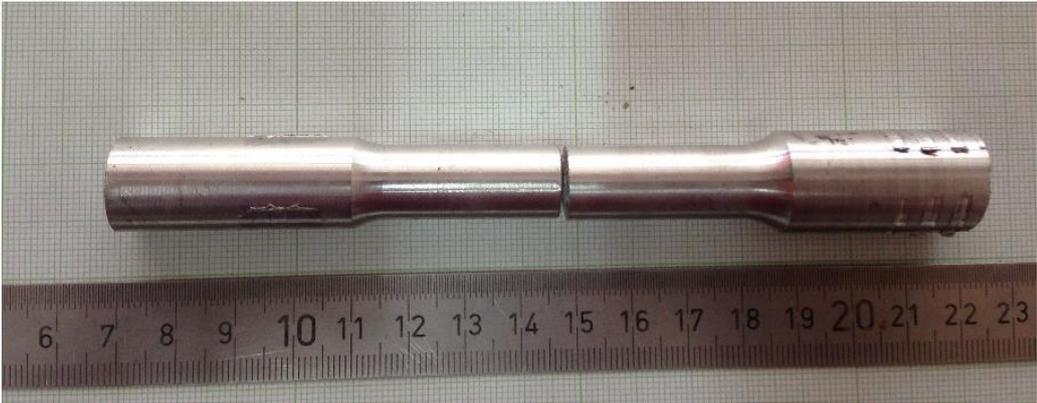
- Tertinggi (sudut *chamfer*  $0^\circ$ , *friction time* 55 detik)





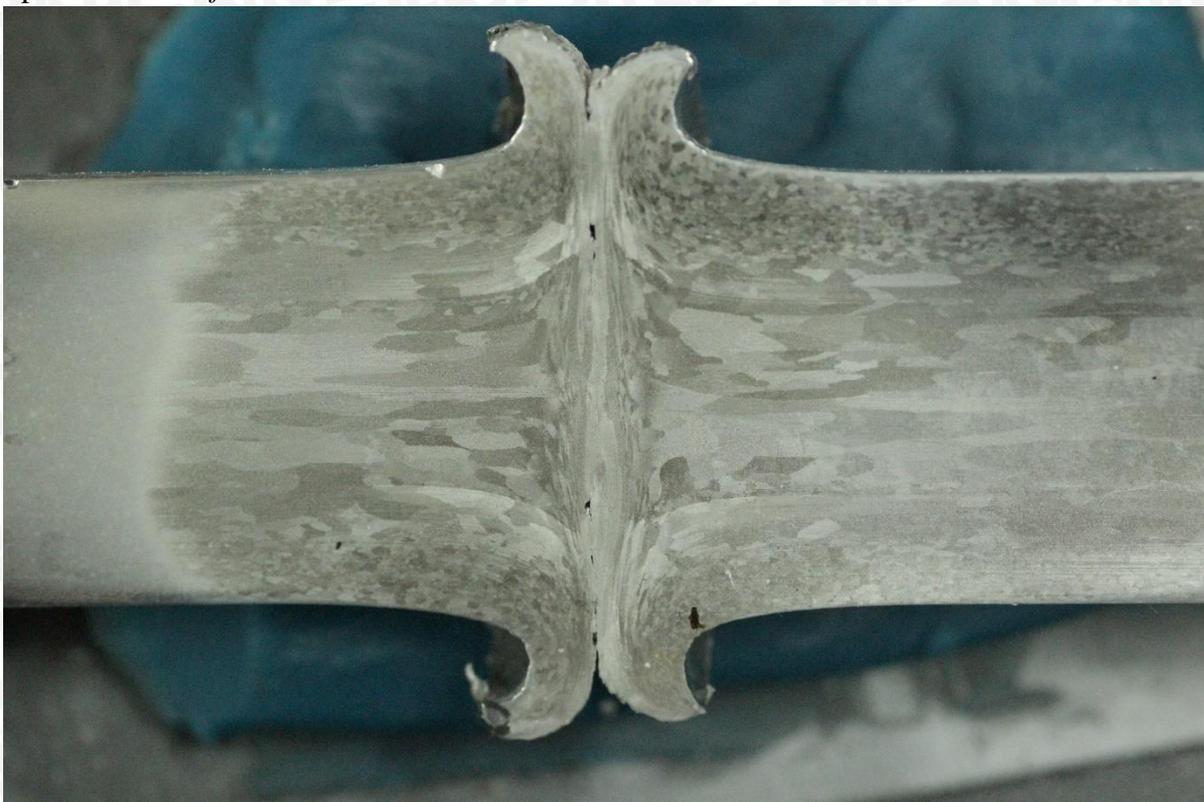
- Terendah (sudut *chamfer*  $11.5^\circ$ , *friction time* 45 detik)





### Lampiran 6

- Spesimen *Chamfer 0° Friction Time 45 Detik*



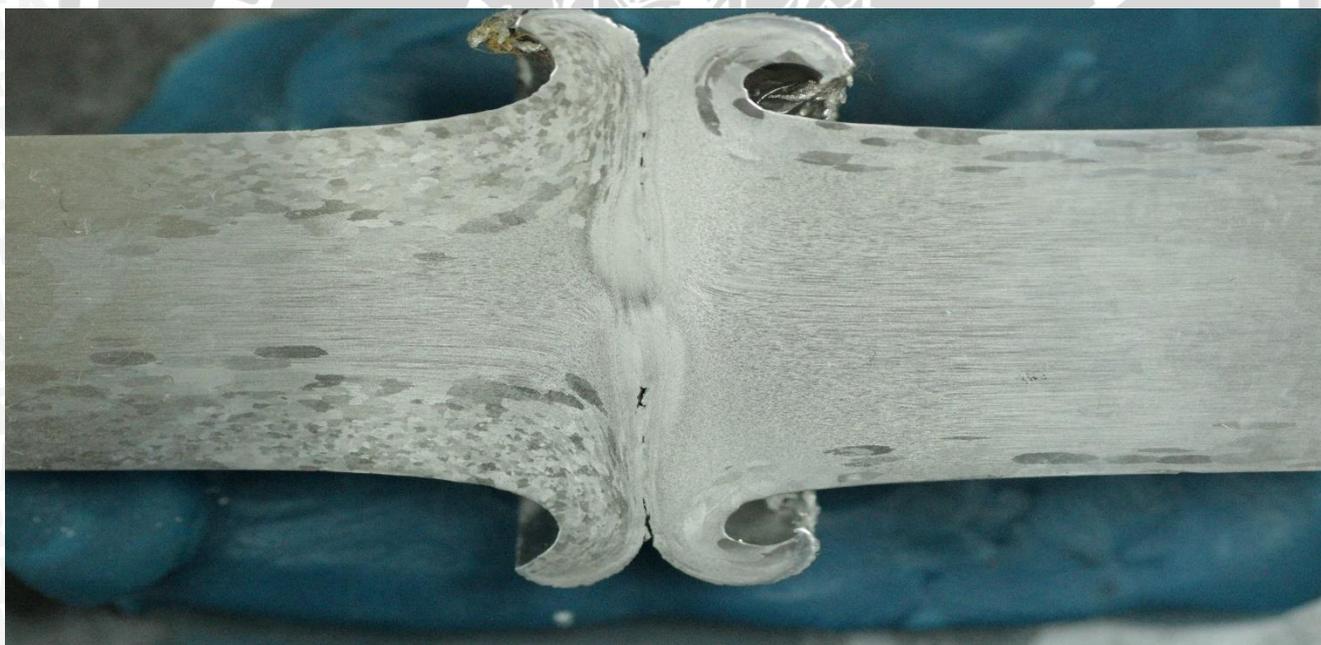
- Spesimen *Chamfer 0° Friction Time 50 Detik*



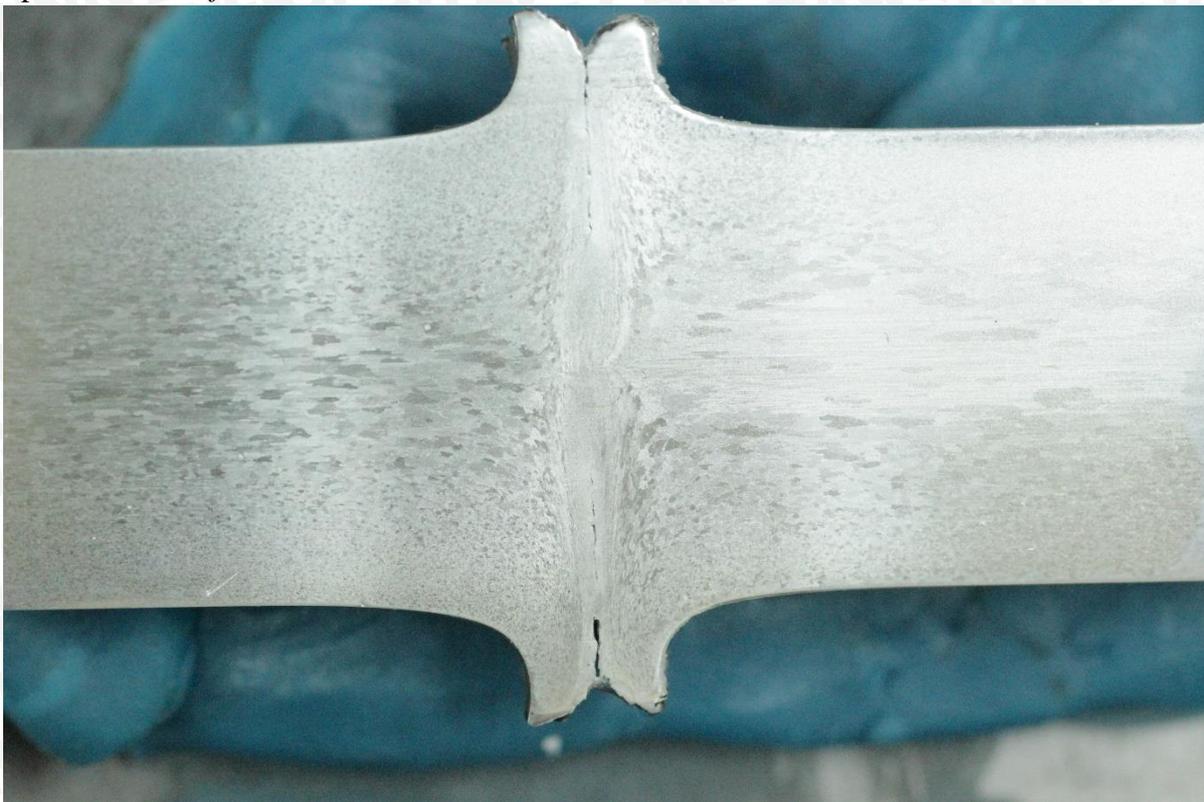
- Spesimen Chamfer 0° Friction Time 55 Detik



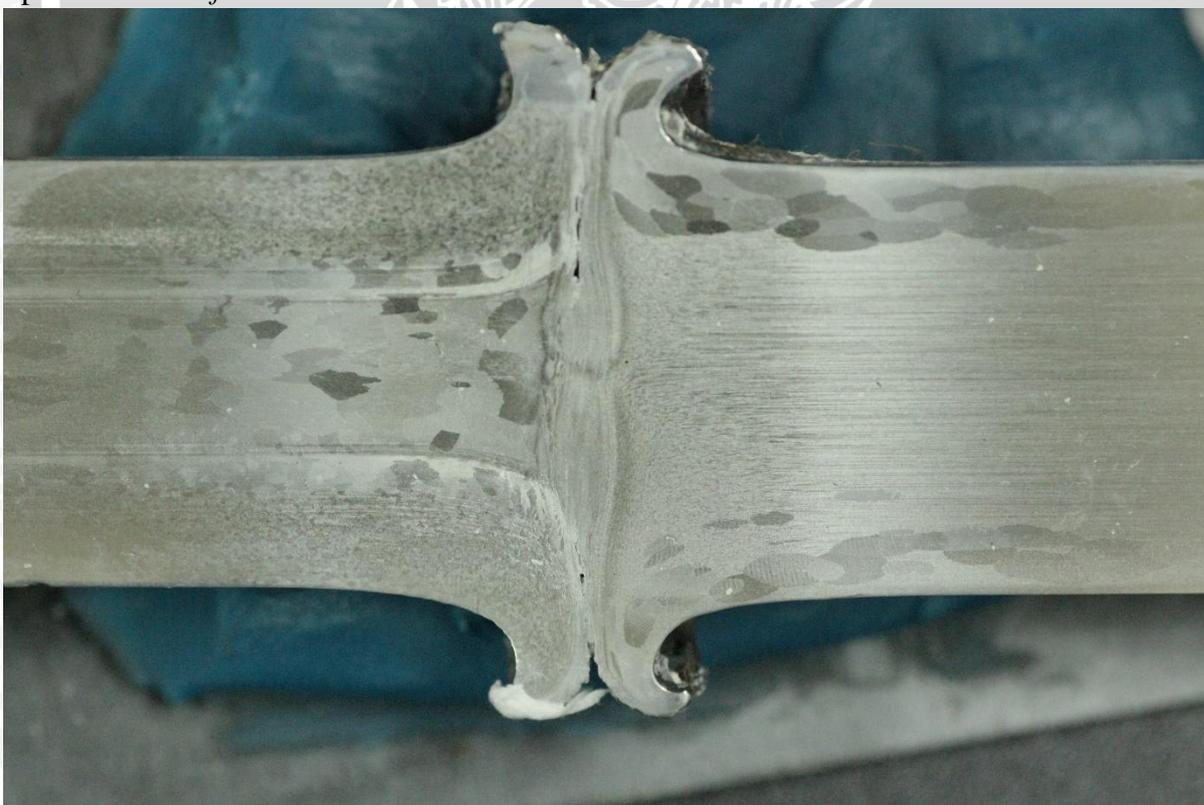
- Spesimen Chamfer 11.5° Friction Time 45 Detik



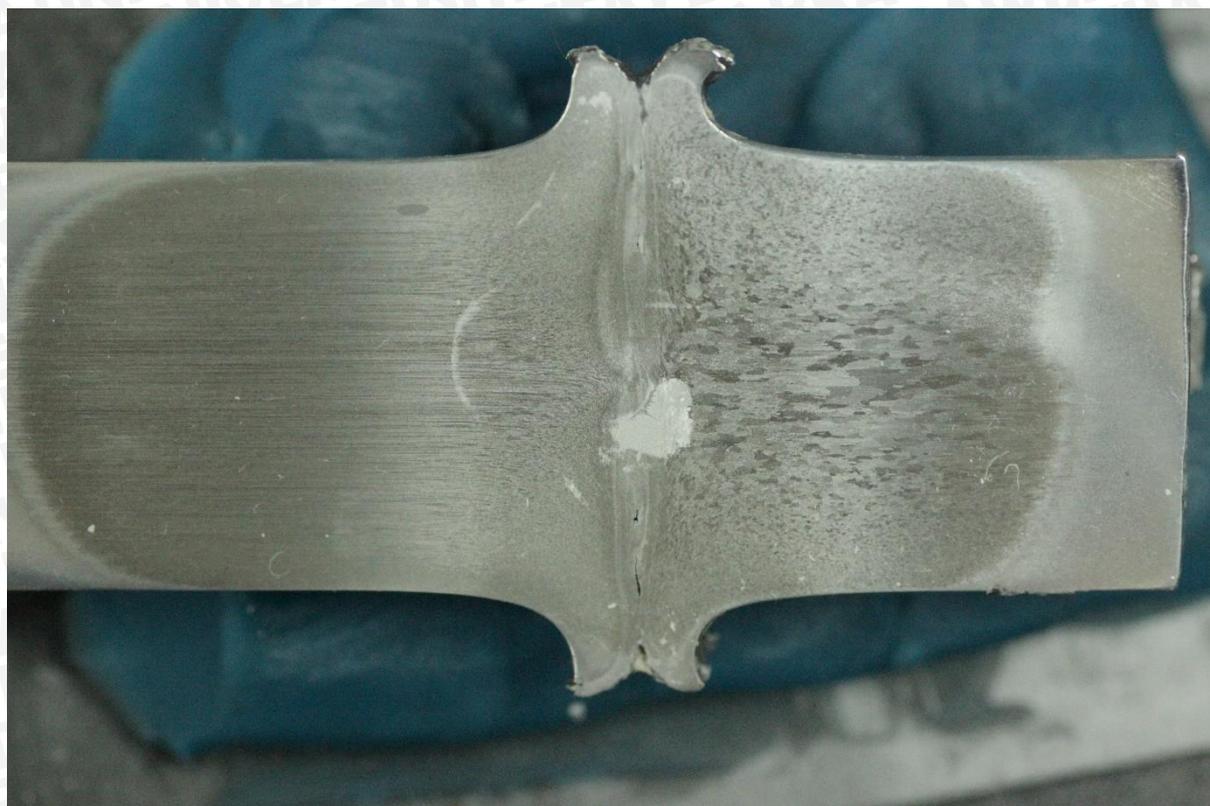
- Spesimen Chamfer 11.5° Friction Time 50 Detik



- Spesimen Chamfer 11.5° Friction Time 55 Detik



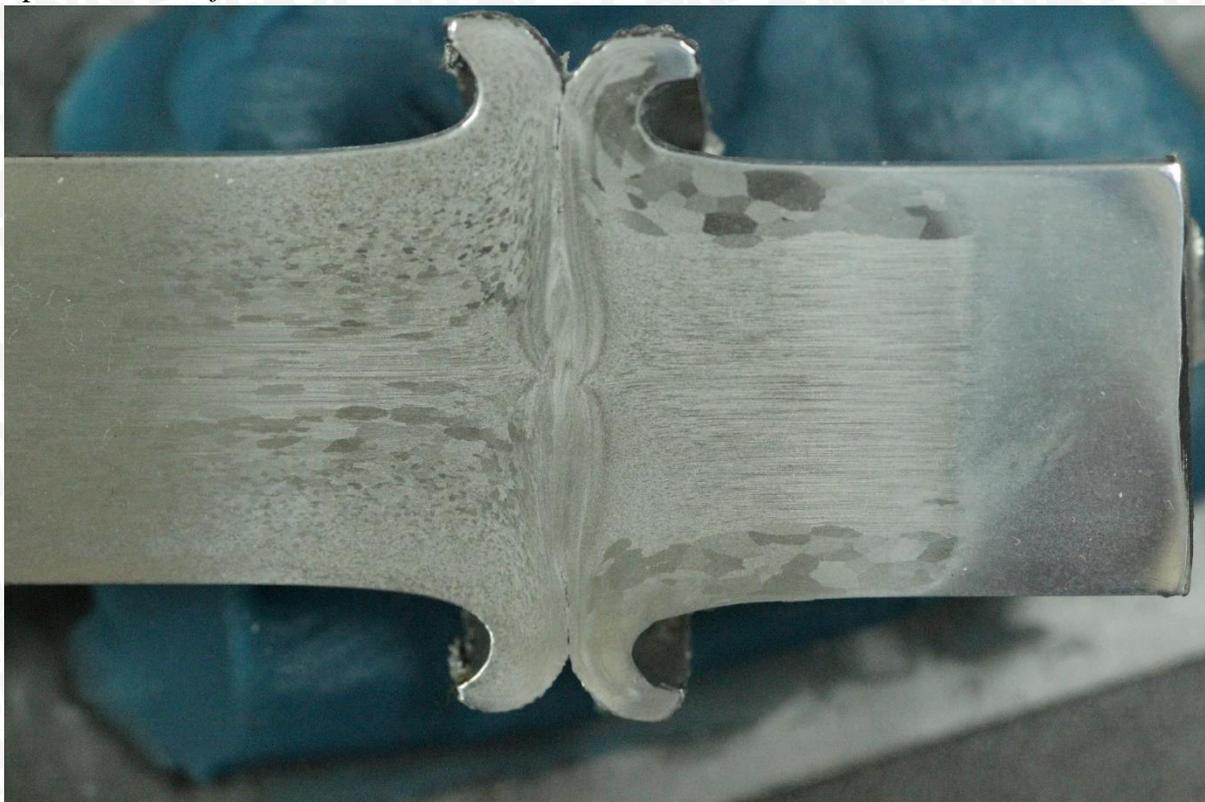
- Spesimen Chamfer 15° Friction Time 45 Detik



- Spesimen Chamfer 15° Friction Time 50 Detik



- Spesimen Chamfer 15° Friction Time 55 Detik



- Spesimen Chamfer 30° Friction Time 45 Detik



- Spesimen Chamfer 30° Friction Time 50 Detik



- Spesimen Chamfer 30° Friction Time 55 Detik



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 : 005/PT.13.FT.6.M/I/2016

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

Nama : Aulia Rizcky January  
Nim. : 115060207111022-62  
Jurusan : S-1 Teknik Mesin  
Univ./Instansi : Universitas Brawijaya Malang

Benar-benar telah melaksanakan penelitian / pengambilan data Pengujian Kekerasan Mikrovikers dan Foto Makro pada pengelasan gesek Al-Mg-Si di Laboratorium Pengujian Bahan Fakultas Teknik Jurusan Mesin Universitas Brawijaya Malang pada tanggal 15 Desember 2015 dengan judul skripsi :

” Pengaruh Variasi Sudut Chamfer Satu Sisi dan Waktu Pengelasan Gesek Al-Mg-Si terhadap Kekuatan Puntir Maksimum dengan Gaya Tekan Akhir 1000 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

Ir. Erwin Sulisty, 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 Mikrovikers  
Satuan : HV  
Beban : 0.98 N  
Bahan : Al-Mg-Si  
Penguji : Aulia Riziky January  
Nim. : 115060207111022-62  
Jurusan : S-1 Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang  
Tanggal Pengujian : 15 Desember 2015

Spesimen dengan gaya tekan akhir 1000 kgf

Tertinggi 0; 55 detik	Mutar	184	136	163,4
		179	123,5	155,3
		174,3	198,6	154,2
	Diam	180,2	165,3	
		179,1	149,8	
		170,6	154,2	
Terendah 11,5; 45 detik	Mutar	152	132,8	145,6
		154,7	136,4	133,2
		150,9	131	128,9
	Diam	149,5	149,8	
		152,1	139,2	
		151,6	138,3	



Malang, 05 Januari 2016

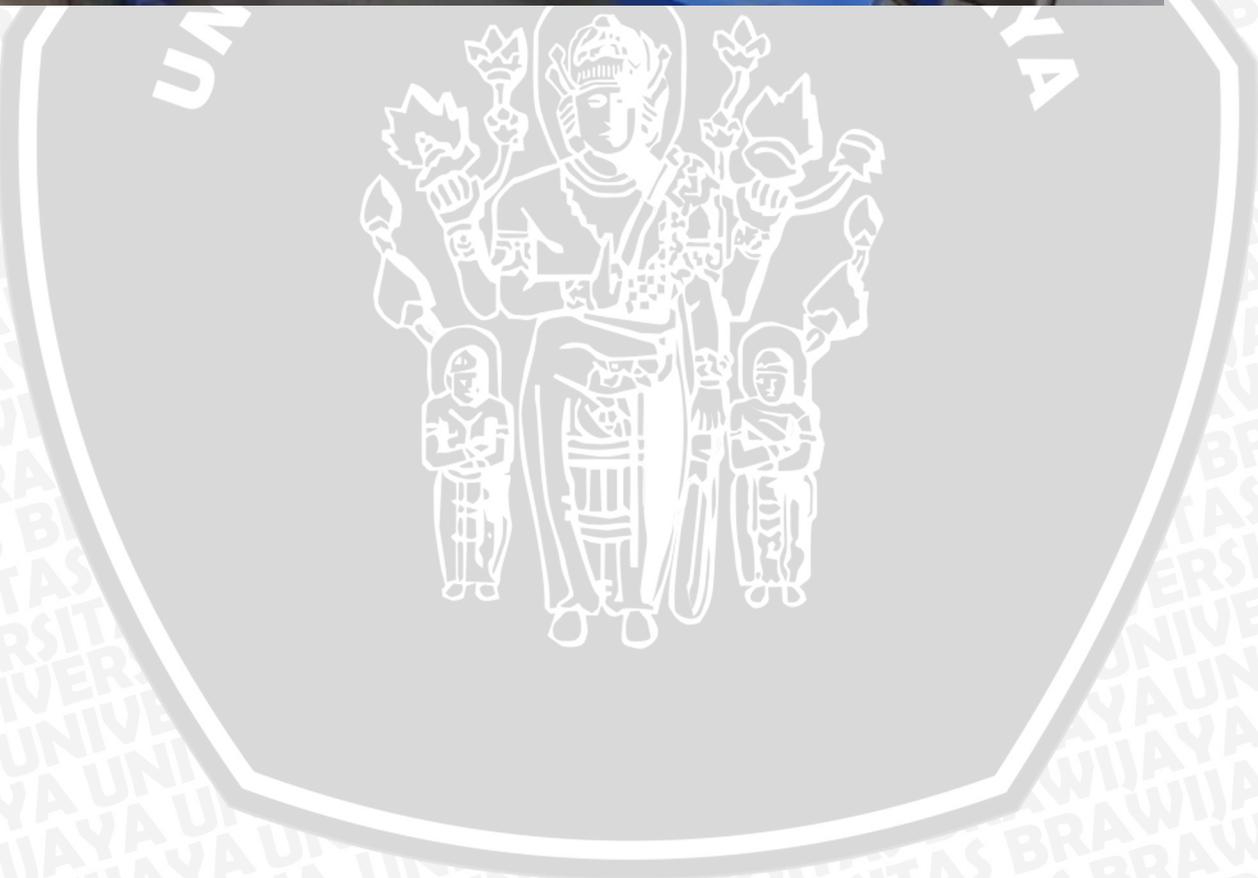
Ka. Lab. Pengujian Bahan

Ir. Erwin Sulistyono, MT.

NIP. 19661215 199802 1 007

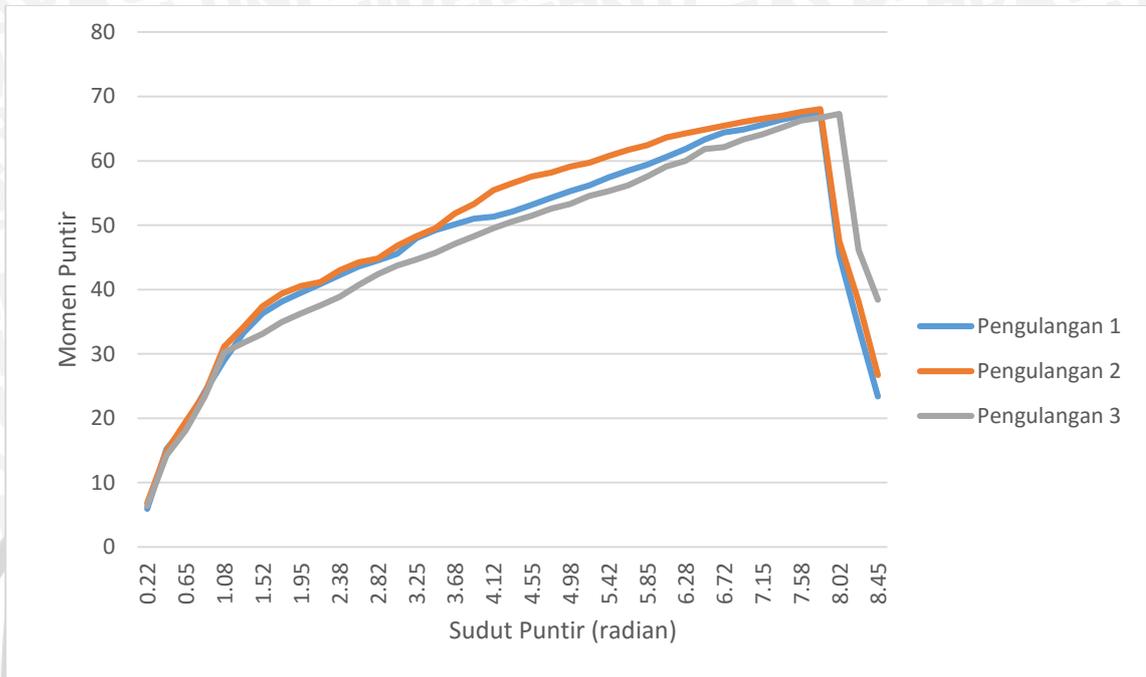


Lampiran 9

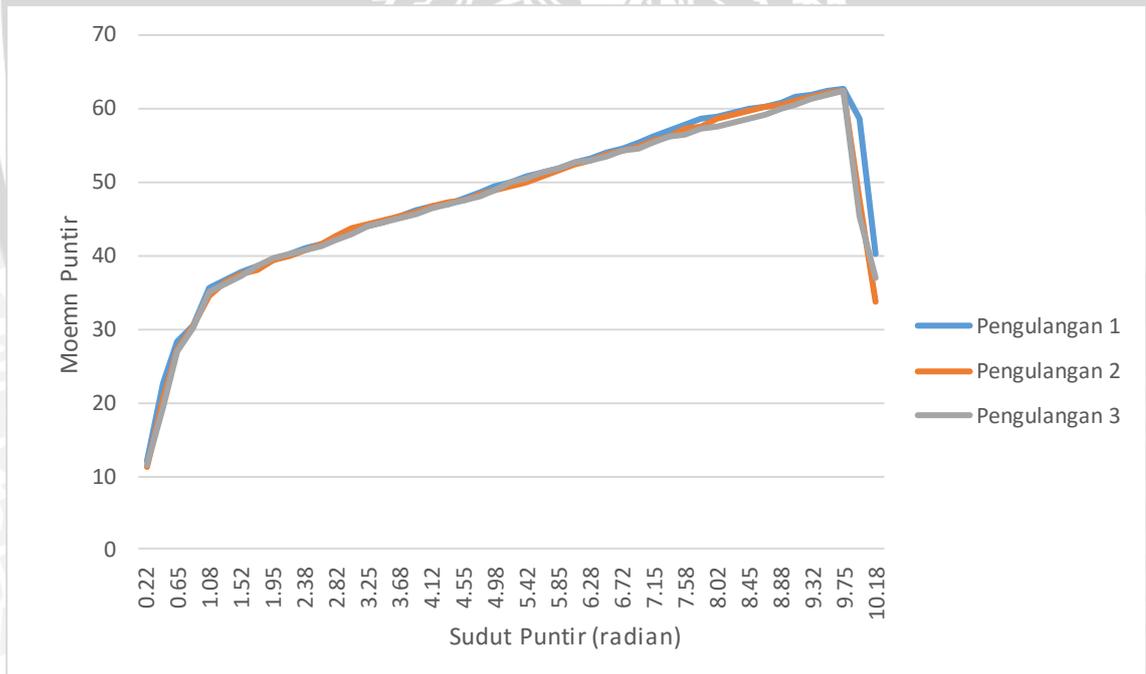


Lampiran 10

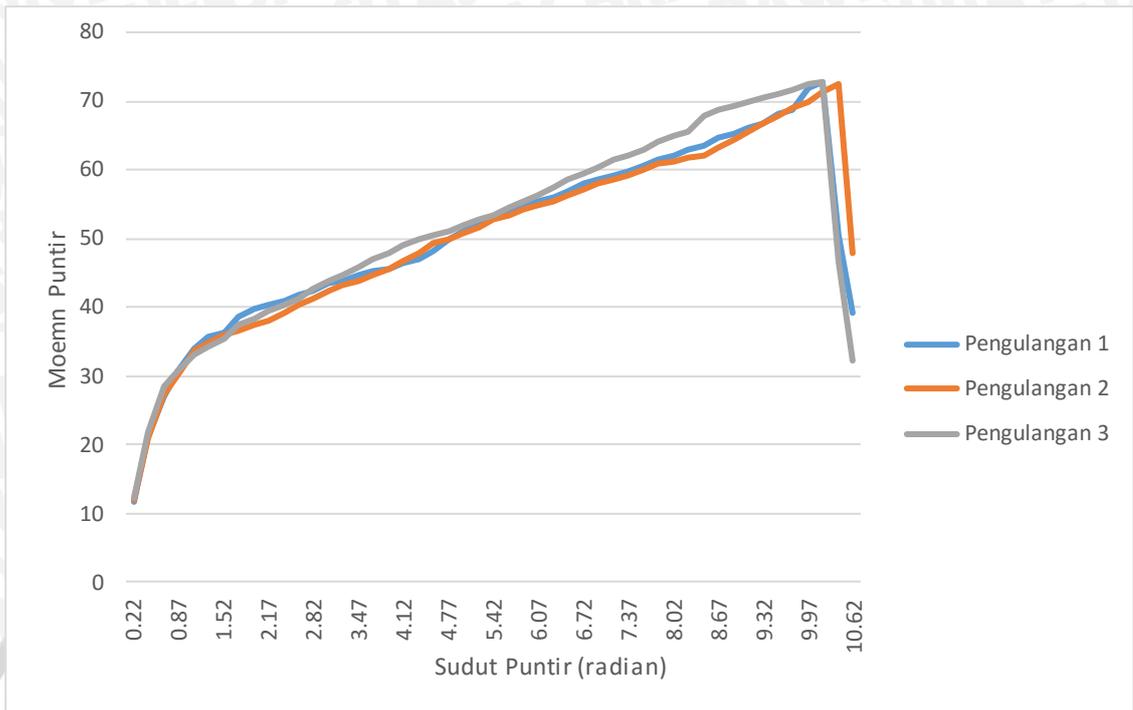
- Momen Puntir Chamfer 0°
- Waktu 45 Detik



- Waktu 50 Detik

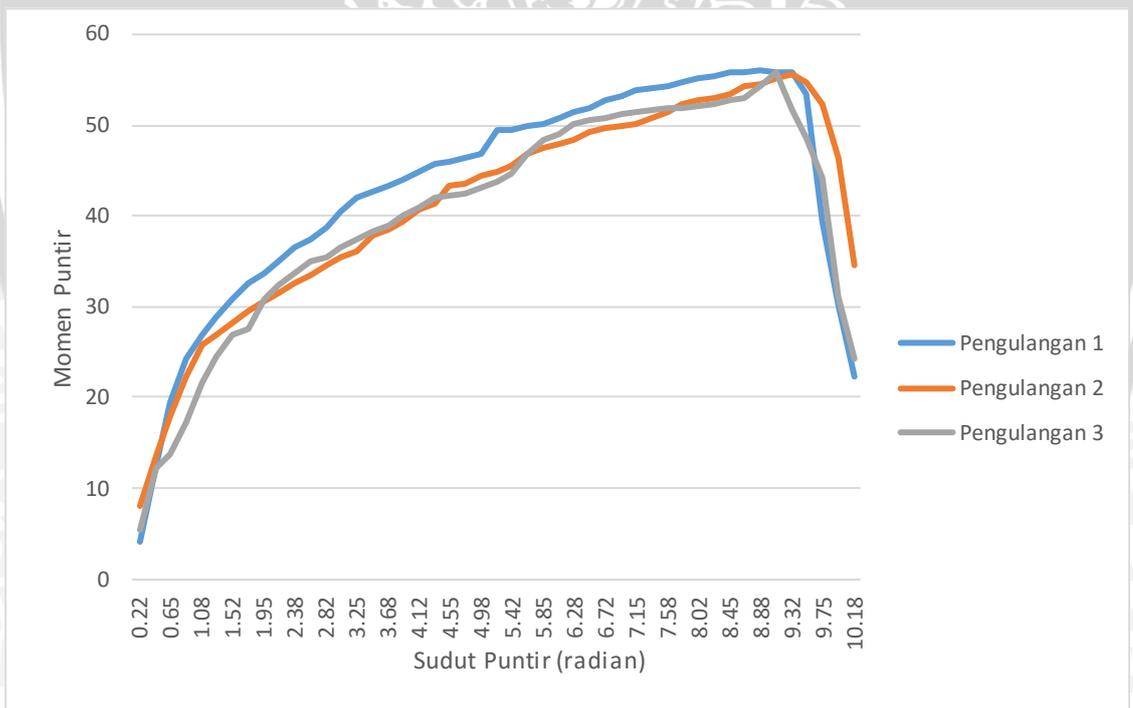


- Waktu 55 Detik

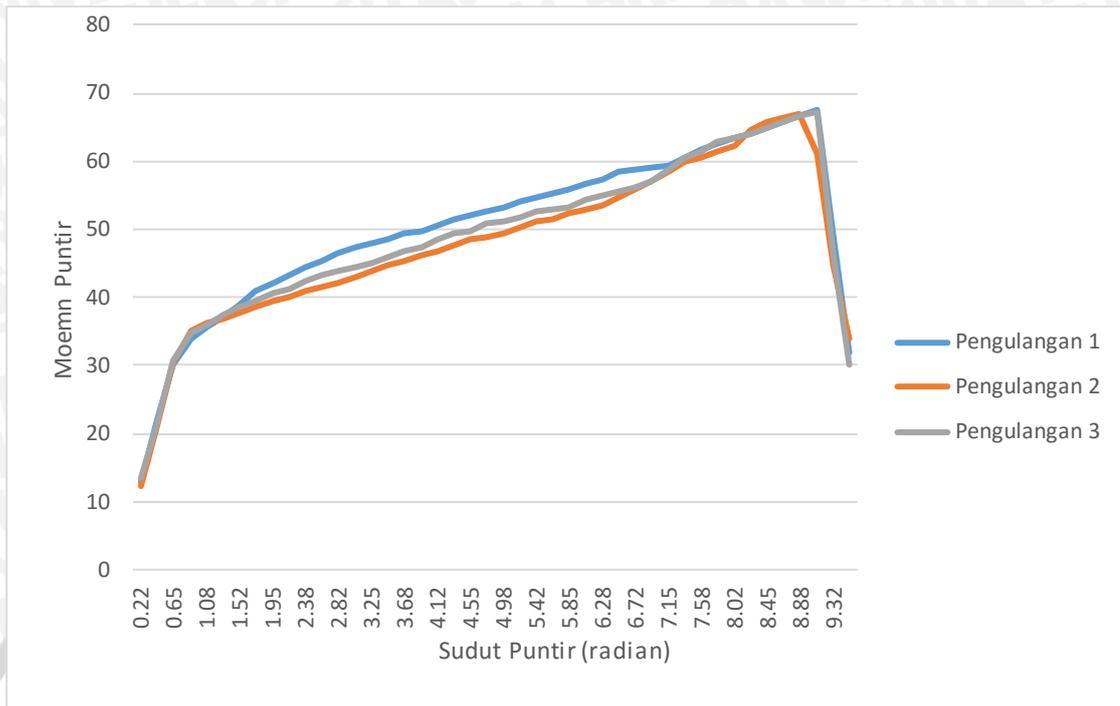


- Momen Puntir Chamfer 11.5°

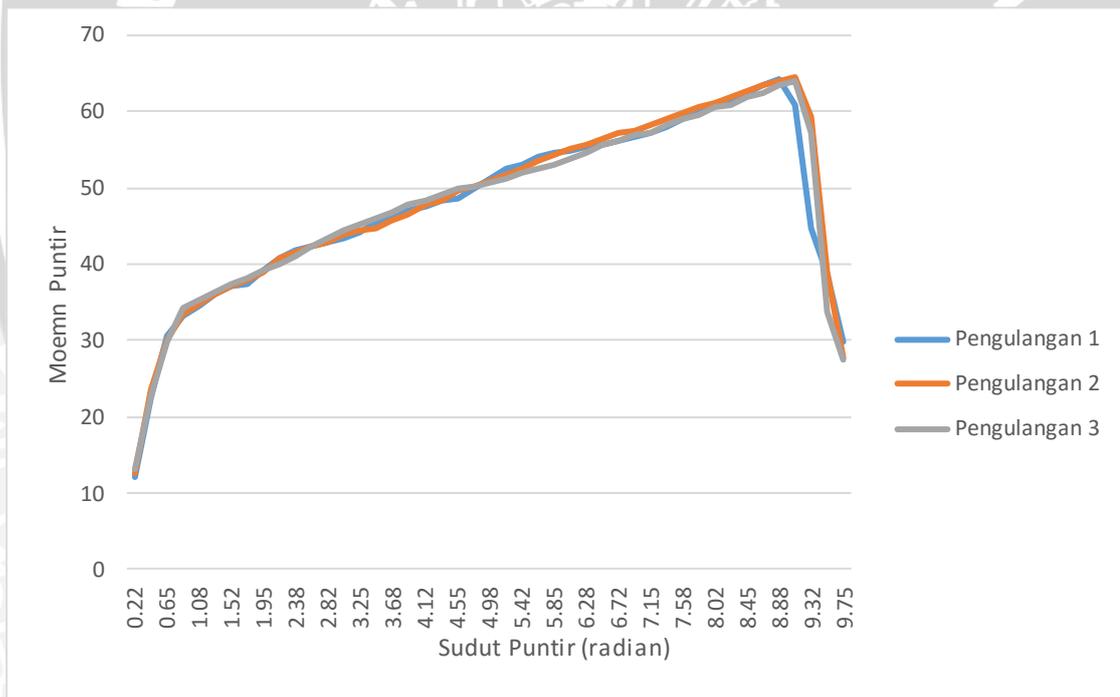
- Waktu 45 Detik



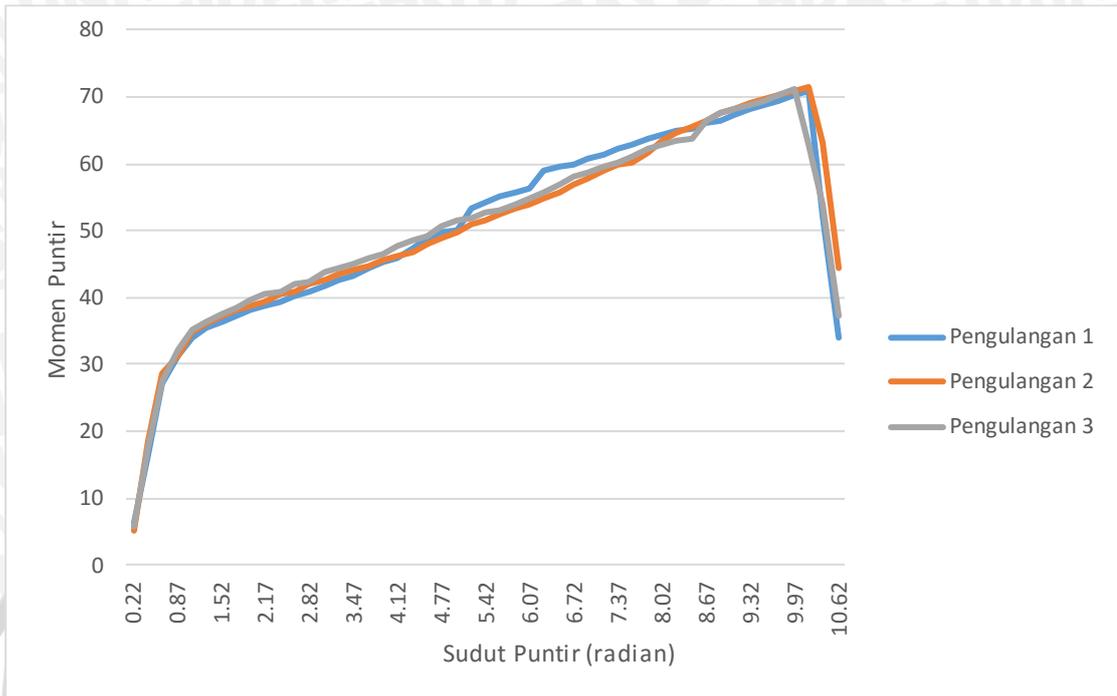
• Waktu 50 Detik



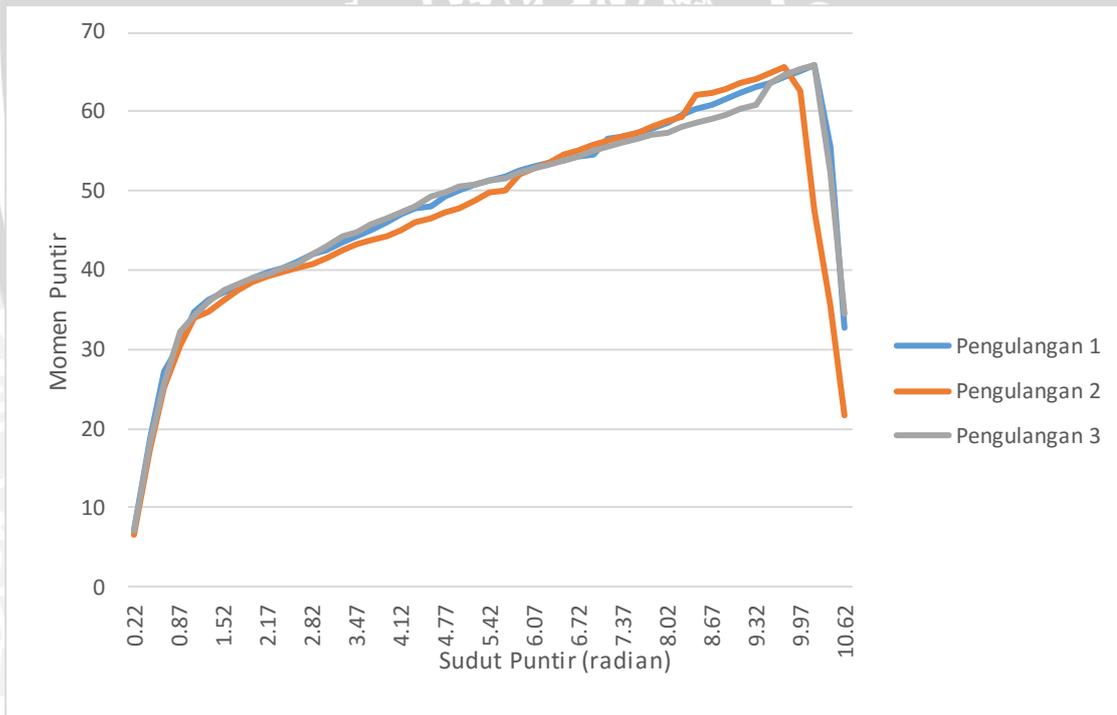
• Waktu 55 Detik



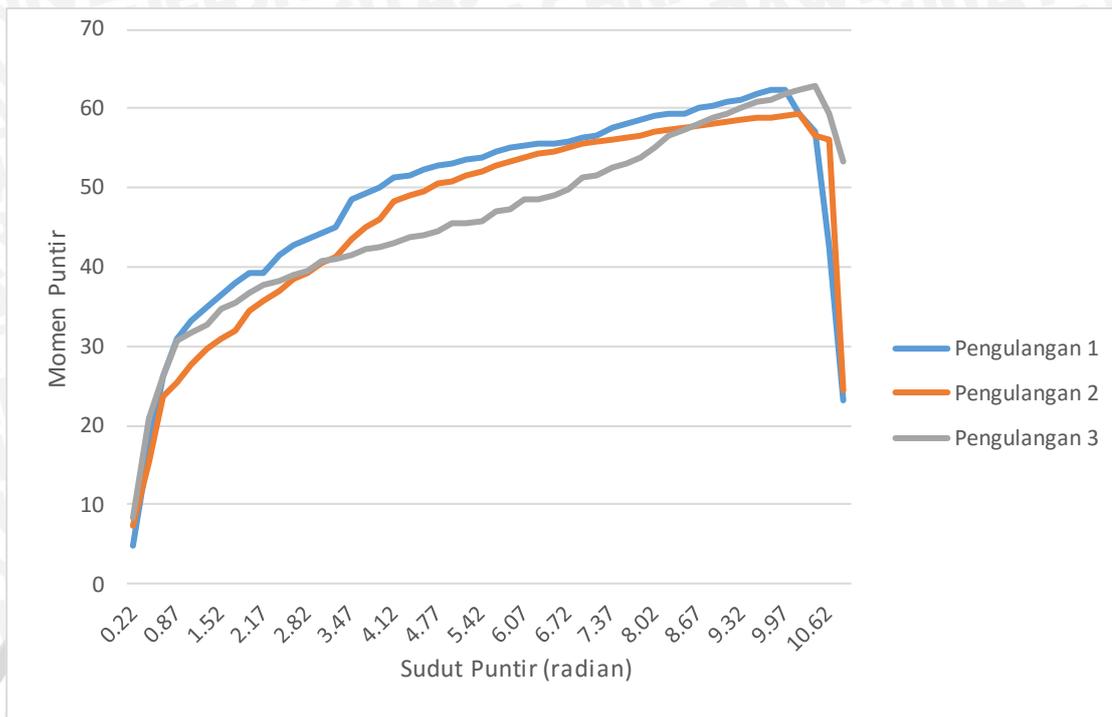
- Momen Puntir Chamfer 15°
- Waktu 45 Detik



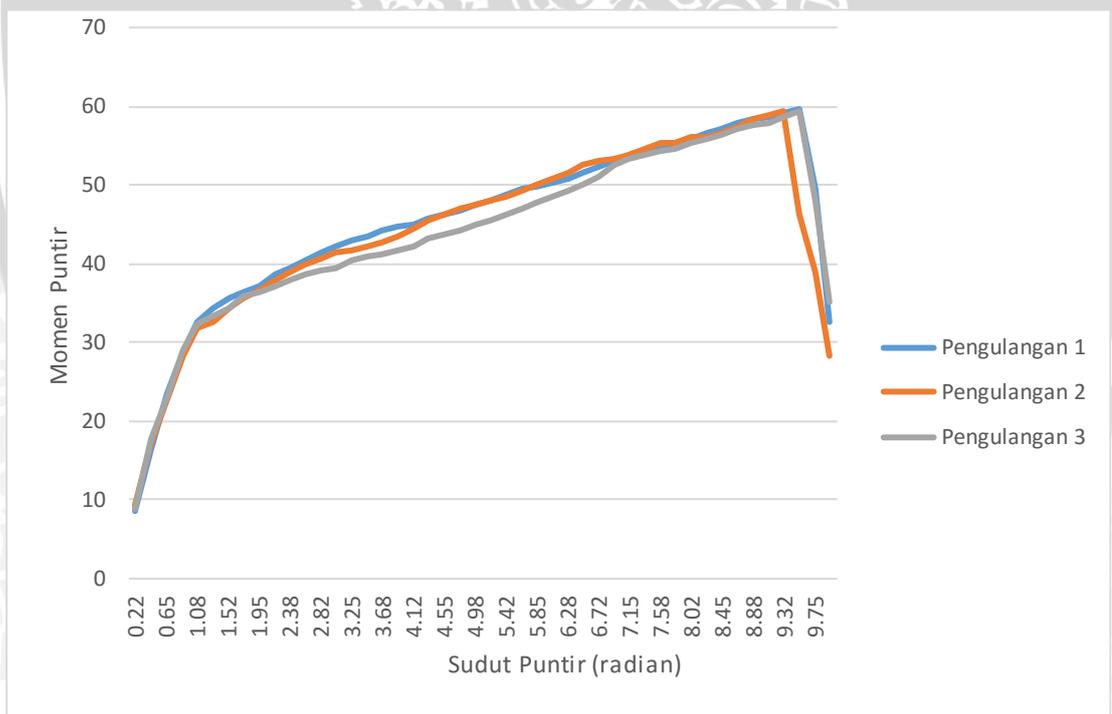
- Waktu 50 Detik



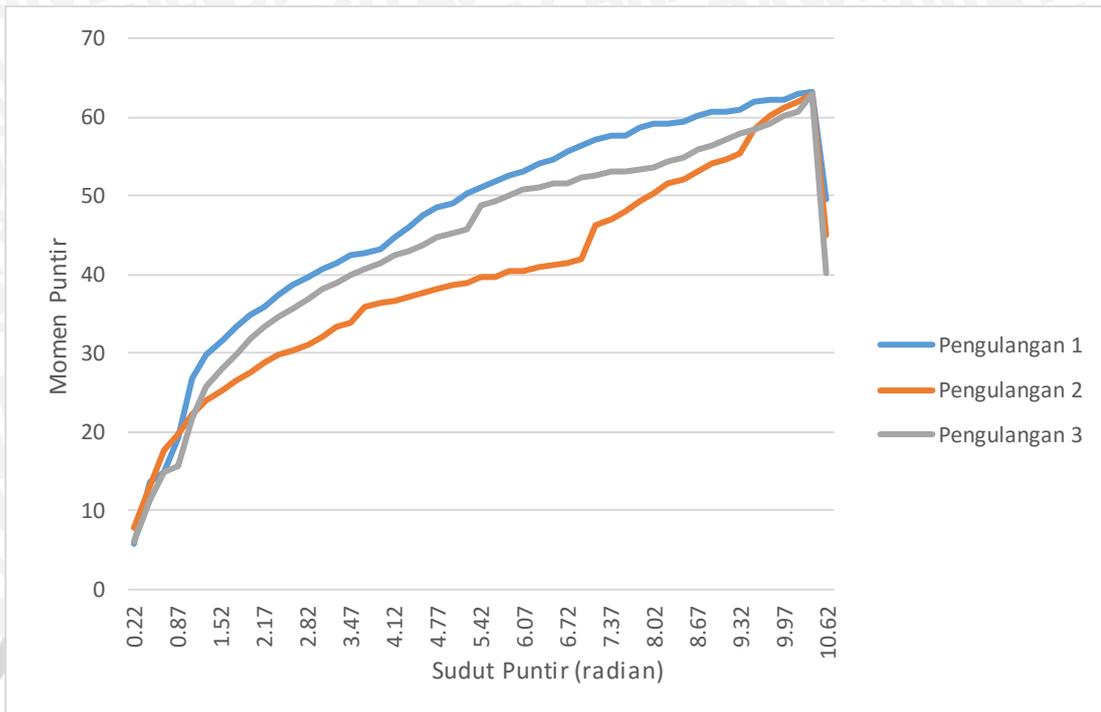
- Waktu 55 Detik



- Momen Chamfer 30°
- Waktu 45 Detik



• Waktu 50 Detik



• Waktu 55 Detik

