

**PENGARUH VARIASI WAKTU GESEKAN DAN SUDUT *CHAMFER*  
TERHADAP NILAI KEKUATAN TARIK SAMBUNGAN LAS GESEK  
Al – Mg – Si DENGAN *UPSET FORCE* 500 kgf**

**SKRIPSI  
TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK MATERIAL**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



**ADIB AFRIANSYAH  
NIM. 115060201111012**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2016**

## LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH VARIASI WAKTU GESEKAN DAN SUDUT *CHAMFER*  
TERHADAP NILAI KEKUATAN TARIK SAMBUNGAN LAS GESEK  
Al – Mg – Si DENGAN *UPSET FORCE* 500 kgf**

### SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK MATERIAL

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**ADIB AFRIANSYAH  
NIM. 115060201111012**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
pada tanggal 28 Januari 2016

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

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

**Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng., Ph.D**  
NIK. 201411 841123 1 001

Mengetahui  
Ketua Program Studi

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

## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar- benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan, dan makalah 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, 26 Januari 2016

Mahasiswa,

Adib Afriansyah

NIM. 115060201111012



**JUDUL SKRIPSI :**

Pengaruh Variasi Waktu Gesekan dan Sudut *Chamfer* terhadap Nilai Kekuatan Tarik Sambungan Las Gesek Al – Mg – Si dengan *Upset Force* 500 kgf

Nama Mahasiswa : Adib Afriansyah

NIM : 115060201111012

Program Studi : Teknik Mesin

Minat : Teknik Material

**KOMISI PEMBIMBING :**

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

Pembimbing 2 : Teguh Dwi Widodo, ST., M. Eng., Ph.D

**TIM DOSEN PENGUJI :**

Dosen Penguji 1 : Dr. Slamet Wahyudi ST., MT

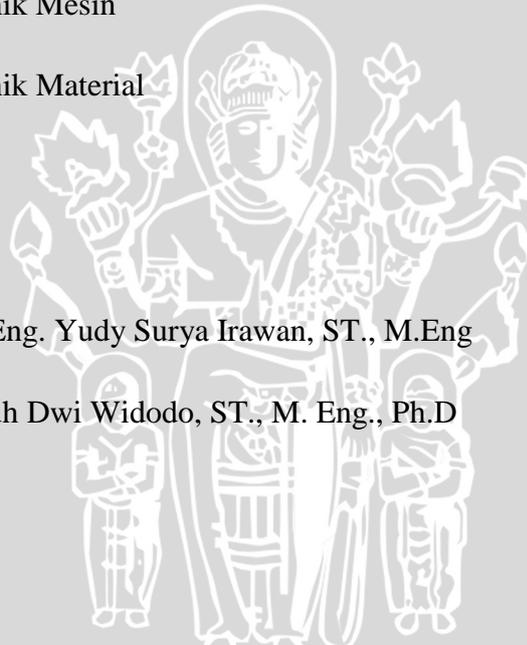
Dosen Penguji 2 : Dr.Eng. Denny Widhiyanuriawan, ST., MT.,

Dosen Penguji 3 : Rudianto Raharjo ST., MT

Tanggal Ujian : 12 Januari 2016

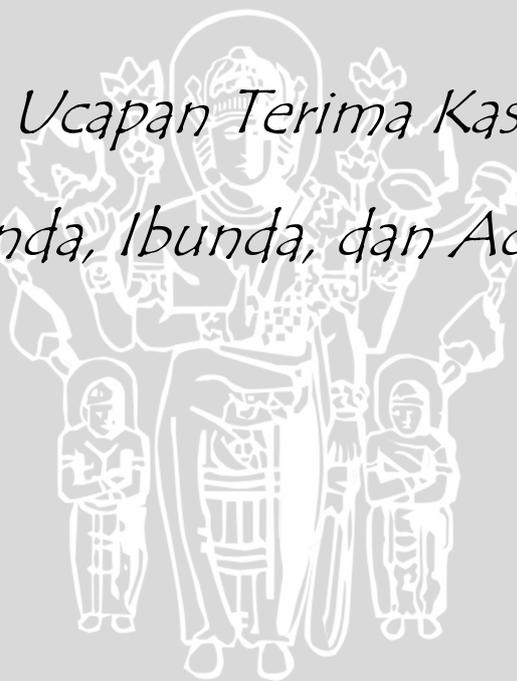
SK Penguji : 64/UN10.6/SK/2016

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

*Teriring Ucapan Terima Kasih Kepada :  
Ayahanda, Ibunda, dan Adik Tercinta*



## KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim, Alhamdulillah segala puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT, karena atas limpahan rahmat, berkah, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul **“Pengaruh Variasi Waktu Gesekan dan Sudut Chamfer terhadap Nilai Kekuatan Tarik Sambungan Las Gesek Al – Mg – Si dengan Upset Force 500 kgf”**.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik berkat bantuan, serta bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu saya sebagai penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ayah dan Ibu penulis, Bapak Hermansyah dan Ibu Feni Setyowati karena telah memberikan dukungan berupa materi, nasihat, semangat, kasih sayang kepada penulis serta doa sehingga skripsi dan perkuliahan ini dapat terselesaikan dengan baik.
2. Bunga Shafira Syahrani, adik saya yang sangat saya sayangi,.
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. Ibu Dr.Eng. Widya Wijayanti, ST., MT. selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
6. Bapak Dr.Eng. Denny Widhiyanuriyawan, ST., MT., selaku dosen penasehat akademik yang telah membimbing selama masa perkuliahan
7. 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.
8. Bapak Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng., Ph.D sebagai Dosen Pembimbing Skripsi II yang telah banyak memberikan segala bimbingan, nasihat, pengarahan, motivasi, doa, dan masukan yang telah diberikan.
9. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang telah banyak memberikan ilmu yang bermanfaat selama perkuliahan.
10. Seluruh pegawai dan karyawan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang telah membantu segala administrasi saat perkuliahan maupun saat skripsi.

11. Pak Andreas, Mas Rofiq, dan Siswa Magang di poltek yang telah banyak membantu menyelesaikan alat yang digunakan untuk proses skripsi ini.
12. Rekan, teman, sekaligus partner skripsi penulis, Baskara, Yudi, Aulia, Ipin dan Ojan yang banyak membantu skripsi penulis.
13. Teman – teman Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya khususnya angkatan 2011 yang telah membantu dalam proses pengerjaan skripsi ini.
14. Serta semua teman-teman penulis dan pihak yang telah ikut membantu terselesaikannya skripsi ini, yang tidak mungkin penulis menyebutkan satu persatu.

Semoga Allah SWT membalas segala amal kebaikan dari pihak-pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan skripsi ini. 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 bagi penulis, penelitian selanjutnya, dan juga bagi pembaca pada umumnya. Wassalamualaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh.



Malang, Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

**KATA PENGANTAR** ..... i  
**DAFTAR ISI** ..... iii  
**DAFTAR TABEL** ..... v  
**DAFTAR GAMBAR** ..... vii  
**DAFTAR LAMPIRAN** ..... ix  
**RINGKASAN** ..... xi  
**SUMMARY** ..... xiii

**BAB I PENDAHULUAN**

1.1 Latar Belakang ..... 1  
1.2 Rumusan Masalah ..... 3  
1.3 Batasan Masalah ..... 3  
1.4 Tujuan Penelitian ..... 4  
1.5 Manfaat Penelitian ..... 4

**BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

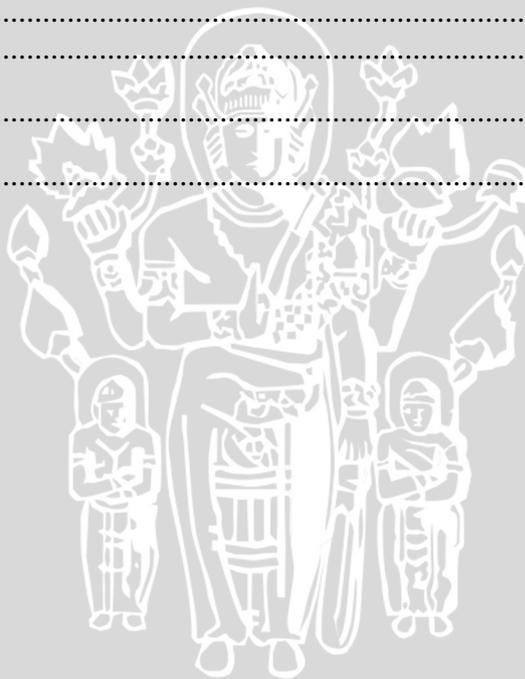
2.1 Penelitian Sebelumnya ..... 5  
2.2 Aluminium ..... 6  
    2.2.1 Penggolongan Aluminium Paduan ..... 8  
    2.2.2 Sifat Mampu Las Aluminium ..... 10  
2.3 Pengelasan ..... 11  
    2.3.1 Definisi Pengelasan ..... 11  
    2.3.2 Klasifikasi Pengelasan ..... 11  
2.4 Las Gesek (*Friction Welding*) ..... 11  
    2.4.1 Definisi Las Gesek (*Friction Welding*) ..... 11  
    2.4.2 Kelebihan *Friction Welding* ..... 13  
2.5 *Continuous Drive Friction Welding* ..... 13  
2.6 Pengujian Tarik ..... 16  
2.7 Pengujian Kekerasan ..... 17  
2.8 Energi Input ..... 19  
2.9 *Heat Affected Zone (HAZ)* ..... 21  
2.10 Aplikasi Pengelasan Gesek ..... 22  
2.9 Hipotesis ..... 22

**BAB III METODE PENELITIAN**

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian ..... 23  
3.2 Variabel Penelitian ..... 23  
    3.2.1 Variabel Bebas ..... 23  
    3.2.2 Variabel Terikat ..... 23  
    3.2.3 Variabel Terkontrol ..... 24  
3.3 Spesifikasi Alat dan Bahan ..... 24  
    3.3.1 Spesifikasi Alat ..... 24  
    3.3.2 Bahan ..... 27  
3.4 Instalasi Penelitian ..... 28  
3.5 Prosedur Penelitian ..... 28  
    3.5.1 Pengelasan Gesek ..... 28  
    3.5.2 Pengujian Kekuatan Tarik ..... 29



3.5.3	Pengujian Kekerasan .....	29
3.6	Diagram Alir Penelitian .....	31
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>		
4.1	Data Hasil Pengujian Kekuatan Tarik.....	33
4.2	Pembahasan.....	34
4.2.1	Hasil Kekuatan tarik maksimum dengan variasi <i>friction time</i> pada spesimen dengan variasi sudut <i>chamfer</i> 0° .....	34
4.2.2	Hasil Kekuatan tarik maksimum dengan variasi <i>friction time</i> pada spesimen dengan variasi sudut <i>chamfer</i> 11,5° .....	24
4.2.3	Hasil Kekuatan tarik maksimum dengan variasi <i>friction time</i> pada spesimen dengan variasi sudut <i>chamfer</i> 15° .....	35
4.2.4	Hasil Kekuatan tarik maksimum dengan variasi <i>friction time</i> pada spesimen dengan variasi sudut <i>chamfer</i> 30° .....	36
4.2.5	Hasil Kekuatan tarik maksimum rata-rata dengan variasi <i>friction time</i> dan variasi sudut <i>chamfer</i> .....	37
<b>BAB V PENUTUP</b>		
5.1	Kesimpulan .....	43
5.2	Saran .....	43
DAFTAR PUSTAKA.....		xvii
LAMPIRAN .....		xviii



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat Fisik <i>Aluminum Alloys</i> .....	7
Tabel 2.2 Komposisi Kimia Al – Mg – Si.....	8
Tabel 2.3 Sistem Penamaan Paduan Aluminium Tempa.....	9
Tabel 3.1 Kandungan Unsur paduan Al – Mg – Si.....	27
Tabel 3.2 Kandungan komposisi spesimen yang diuji.....	27
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Kekuatan Tarik Sambungan Las Gesek pada Berbagai Variasi sudut <i>Chamfer</i> dan Variasi <i>Friction Time</i> .....	33
Tabel 4.2 Perbandingan luas daerah spesimen kekuatan tarik tertinggi dan terendah.....	40
Tabel 4.3 Perbandingan nilai kekerasan spesimen pada <i>Zpl</i> dan <i>Zpd</i> .....	41



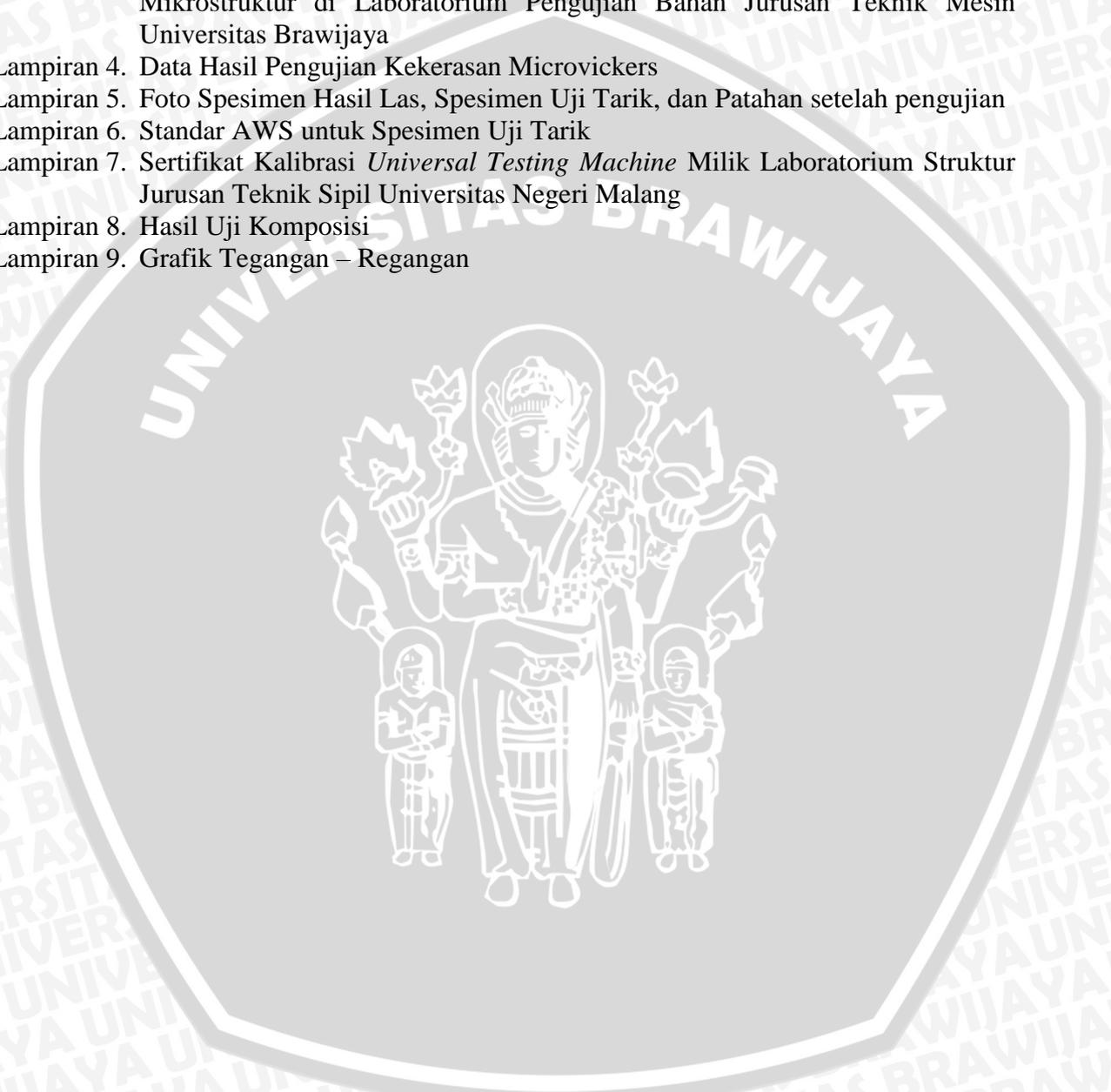


## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Permukaan Benda Kerja.....	5
Gambar 2.2	Diagram Fasa Al – Mg – Si.....	10
Gambar 2.3	Mekanisme Las Gesek .....	12
Gambar 2.4	<i>Friction stir welding</i> .....	13
Gambar 2.5	<i>Continuous Drive Friction Welding</i> .....	14
Gambar 2.6	Parameter <i>friction welding</i> .....	15
Gambar 2.7	Diagram Tegangan – Regangan .....	17
Gambar 2.8	Bekas Uji Brinell.....	17
Gambar 2.9	Vickers Test.....	18
Gambar 2.10	Skema Permukaan Spesimen yang Bergesekan .....	20
Gambar 2.11	<i>Zpl (i), Zpd (ii), Porositas (iii)</i> .....	21
Gambar 2.12	Aplikasi Las Gesek Paduan Al – Mg – Si .....	22
Gambar 3.1	Mesin Bubut.....	24
Gambar 3.2	Jangka Sorong.....	25
Gambar 3.3	Pompa Hidrolik .....	25
Gambar 3.4	Kamera Digital .....	26
Gambar 3.5	Mesin Uji Tarik (a) <i>Display controller</i> (b) <i>Specimen holder</i> .....	26
Gambar 3.6	Mesin Uji Kekerasan.....	26
Gambar 3.7	Dimensi (a) Spesimen yang berputar (b) spesimen yang diam.....	28
Gambar 3.8	Skema Alat Pengelasan Gesek.....	28
Gambar 3.9	Dimensi Spesimen Uji Tarik.....	29
Gambar 3.10	Titik Pengujian Kekerasan.....	30
Gambar 3.11	Alur penelitian .....	31
Gambar 4.1	Grafik Hubungan <i>Friction time</i> terhadap nilai kekuatan Tarik pada spesimen variasi sudut <i>chamfer</i> 0° .....	34
Gambar 4.2	Grafik Hubungan <i>Friction time</i> terhadap nilai kekuatan Tarik pada spesimen variasi sudut <i>chamfer</i> 11,5° .....	35
Gambar 4.3	Grafik Hubungan <i>Friction time</i> terhadap nilai Kekuatan Tarik pada Spesimen variasi sudut <i>chamfer</i> 15°.....	36
Gambar 4.4	Grafik Hubungan <i>Friction time</i> terhadap nilai Kekuatan Tarik pada Spesimen variasi sudut <i>chamfer</i> 30°.....	37
Gambar 4.5	Grafik Hubungan <i>Friction time</i> terhadap nilai Kekuatan Tarik pada tiap variasi sudut <i>chamfer</i> .....	38
Gambar 4.6	Grafik Tegangan - Regangan antara spesimen sudut <i>chamfer</i> 11,5° <i>friction time</i> 45 detik dengan spesimen sudut <i>chamfer</i> 30° <i>friction time</i> 55 detik.....	39
Gambar 4.7	Grafik perubahan temperatur permukaan spesimen saat pengelasan.....	39
Gambar 4.8	Foto Makro Spesimen (a)11,5° – 45 detik (b)30° – 45 detik.....	40
Gambar 4.9	Titik Pengambilan Sampel Pengujian Kekerasan .....	41
Gambar 4.10	Grafik Nilai Kekerasan Berdasarkan Jarak Titik Pengujian.....	42

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Surat Keterangan Pengujian Tarik di Laboratorium Struktur Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Malang
- Lampiran 2. Hasil Pengujian Kekuatan Tarik Sambungan Las Gesek pada Berbagai Variasi sudut *Chamfer* dan Variasi *Friction Time*
- Lampiran 3. Surat Keterangan Pengujian Kekerasan Microvickers, Foto Makro, dan Foto Mikrostruktur di Laboratorium Pengujian Bahan Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya
- Lampiran 4. Data Hasil Pengujian Kekerasan Microvickers
- Lampiran 5. Foto Spesimen Hasil Las, Spesimen Uji Tarik, dan Patahan setelah pengujian
- Lampiran 6. Standar AWS untuk Spesimen Uji Tarik
- Lampiran 7. Sertifikat Kalibrasi *Universal Testing Machine* Milik Laboratorium Struktur Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Malang
- Lampiran 8. Hasil Uji Komposisi
- Lampiran 9. Grafik Tegangan – Regangan





## RINGKASAN

**Adib Afriansyah**, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Januari 2016, *Pengaruh Variasi Waktu Gesekan dan Sudut Chamfer terhadap Nilai Kekuatan Tarik Sambungan Las Gesek Al – Mg – Si dengan Upset Force 500 kgf*, Dosen Pembimbing : Yudy Surya Irawan dan Teguh Dwi Widodo.

Pengelasan gesek (*friction welding*) adalah metode untuk menyambungkan aluminum. Metode ini memanfaatkan perubahan langsung dari energi gerak menjadi energi panas untuk penyambungan. Mula-mula material dikondisikan berotasi pada kecepatan tertentu sedangkan material lainnya dalam kondisi statis namun diberikan gaya aksial menuju material yang berputar sehingga terjadi melting. Hasil dari *friction welding* ini dapat diaplikasikan pada piston maupun poros pada komponen permesinan.

Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh variasi waktu gesekan (*friction time*) dan variasi sudut *chamfer* dengan gaya penekanan akhir sebesar 500 kgf terhadap nilai kekuatan tarik sambungan las gesek Al – Mg – Si. Variasi *friction time* yang diamati yaitu 45 detik, 50 detik, dan 55 detik sedangkan variasi sudut *chamfer* yaitu sebesar 0°; 11,5°; 15°; dan 30°, kecepatan putaran *spindle* yang digunakan sebesar 1600 rpm, gaya tekan awal sebesar 250 kgf dan *upset force* sebesar 500 kgf selama 110 detik. Kemudian dilakukan pengujian tarik pada spesimen dengan dimensi spesimen yang mengacu pada standar AWS (*American Welding Society*).

Hasil penelitian ini diperoleh nilai kekuatan tarik rata-rata tertinggi sebesar 182,80 N/mm<sup>2</sup> pada spesimen dengan variasi sudut *chamfer* 11,5° dan variasi *friction time* 45 detik. Nilai kekuatan tarik rata-rata terendah yaitu 95,94 N/mm<sup>2</sup> pada spesimen dengan variasi sudut *chamfer* 30° dan variasi *friction time* 55 detik. Penurunan nilai kekuatan tarik disebabkan karena luas daerah *HAZ* yang semakin besar sehingga menurunkan nilai kekuatan tarik sambungan lasnya.

**Kata Kunci :** *Friction welding*, *HAZ*, Kekuatan Tarik, Sudut *Chamfer*, *Upset Pressure*, Waktu Gesekan.



## SUMMARY

**Adib Afriansyah,** *Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, in January 2016, The Effect of Friction Time and Chamfer Angle on Tensile Strength Welded Joint of Al – Mg – Si Friction Weld with 500 kgf Upset Force.*  
Supervisor : Yudy Surya Irawan and Teguh Dwi Widodo.

*Friction welding is a method for connecting aluminum. This method used a relative movement to be heat energy for connecting the material. First, one side of specimen rotated in chuck turning machine and another specimen in the static position but give force to the axial direction to first specimen until the material melted. The result of friction welding can be applied to piston or shaft at machine component.*

*This research aims to determine an Effect of Friction Time and Chamfer Angle on Tensile Strength Welded Joint of Al – Mg – Si Friction Weld with 500 kgf Upset Force. Friction time variations at this research is 45 sec, 50 sec, 55 sec while chamfer angle variations is 0°; 11,5°; 15°; and 30°, 1600 rpm for spindle rotation, 250 kgf force at friction and used a 500 kgf upset force for 110 sec. Then, the specimen prepared to tensile testing with standart dimension from AWS (American Welding Society).*

*The result from this research showed highest average tensile strength values is 182,80 N/mm<sup>2</sup> at specimen with 11.5° chamfer angle and 45 sec friction time variations. Then, the lowest average tensile strength values is 95,94 N/mm<sup>2</sup> at specimen with 30° chamfer angle and 55 sec friction time variations. The decrease of tensile strength values caused by area of HAZ is too large so that can be decreasing the tensile strength values at the weld joint.*

**Keywords :** *Friction welding, Chamfer Angle, Friction Time, HAZ, Tensile Strength, Upset Pressure.*

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.6 Latar Belakang

Perkembangan industri saat ini mulai banyak mempertimbangkan penggunaan material yang kuat namun ringan serta tahan terhadap korosi sehingga dapat digunakan dalam waktu yang cukup lama. Salah satu material yang memiliki sifat fisik tersebut adalah aluminium. Aluminium digunakan dalam proses produksi sebagai bahan utama dikarenakan sifat dari aluminium yang merupakan logam ringan, memiliki kekuatan yang baik, ketahanan terhadap korosi, dapat menjadi penghantar panas yang baik, dan mudah dalam pembentukannya (Wirjosumarto, 2000:113). Penggunaan aluminium dalam industri banyak digunakan pada industri pesawat terbang, perkapalan, peralatan rumah tangga, peralatan listrik dan lain-lain.

Aluminium ditingkatkan daya gunanya melalui bermacam-macam proses dan salah satunya adalah proses penyambungan aluminium dengan cara pengelasan. Proses penyambungan dengan cara melelehkan logam menggunakan arus listrik sulit dilakukan untuk penyambungan aluminium karena titik leleh aluminium yang rendah. Untuk mengatasi hal tersebut proses penyambungan pada aluminium dengan pengelasan yaitu dengan cara pengelasan gesek (*friction welding*).

Pengelasan gesek (*friction welding*) adalah proses pemanfaatan panas untuk penyambungan yang dihasilkan oleh gerak relatif dari dua permukaan yang akan disambungkan. Metode ini memanfaatkan perubahan langsung dari energi gerak menjadi energi panas untuk penyambungan tanpa ada sumber panas dari luar. Pada kondisi normal tidak terjadi *melting* di permukaan material hingga terjadi gesekan pada permukaan kedua material tersebut. Mula-mula material dikondisikan berotasi pada kecepatan tertentu sedangkan material lainnya dalam kondisi statis namun diberikan gaya aksial menuju material yang berputar sehingga terjadi *melting* akibat panas yang timbul dari gesekan pada kedua permukaan material tersebut sehingga terjadi proses penyambungan. (Elmer, ASM Handbook Vol. 06, 1993)

Las gesek memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan proses pengelasan lain, diantaranya seperti tidak memerlukan *filler metal*, fluks/selaput las, dan *shelding gas* saat proses pengelasannya, las gesek tidak memberikan dampak bahaya bagi kesehatan

karena tidak ada radiasi yang ditimbulkan dan tidak menggunakan listrik bertegangan tinggi. Selain itu keuntungan lainnya dari pengelasan gesek adalah biaya operasional yang terjangkau dan energi saat melakukan pengelasan yang kecil. (Tsang, ASM Handbook Vol. 06, 1993) Parameter penting dalam pengelasan gesek (*friction welding*) yaitu, waktu gesekan, luas permukaan spesimen yang bergesekan, kecepatan putar, tekanan saat tempa, *upset time*, dan *upset force*. Parameter – parameter tersebut akan berpengaruh terhadap sifat mekanik hasil sambungan las gesek (*friction welding*).

Sifat mekanik yang penting pada hasil sambungan las gesek adalah kekuatan tarik. Kekuatan tarik perlu diketahui sebagai gambaran bagaimana kondisi material ketika mendapatkan tegangan tarik sehingga saat melakukan perancangan sebuah mesin dapat diketahui sejauh mana material yang digunakan dapat menerima beban tarik agar dapat memperkirakan waktu pengecekan maupun penggantian dari tiap-tiap komponen mesin tersebut.

Lin dkk (1999), pada penelitiannya yang berjudul *The Effect Of Joint Design and Volume Fraction On Friction Welding Properties Of A360/Sic (P) Composites* membandingkan hasil antara sambungan las gesek yang menggunakan material aluminium dan material komposit dengan menggunakan dua macam desain sambungan. Desain pertama diberi sudut *chamfer (bevelled bars)*  $30^{\circ}$  pada salah satu sisi benda kerja, sedangkan desain sambungan yang kedua tanpa sudut *chamfer*. Hasilnya menunjukkan bahwa nilai kekuatan tarik sambungan las gesek dengan desain sambungan menggunakan sudut *chamfer* lebih tinggi dibandingkan dengan nilai kekuatan tarik sambungan las gesek dengan desain permukaan kontak tanpa sudut *chamfer*.

Pada penelitian yang dilakukan Sahin (2007) menjelaskan bahwa pengaruh *friction time* terhadap nilai kekuatan tarik las gesek pada dua material yang berbeda, yaitu aluminium dan *stainless steel*. Penelitian tersebut memberikan hasil bahwa kekuatan tarik meningkat seiring dengan bertambahnya *friction time* saat pengelasan. Sedangkan untuk pengaruh variasi sudut *chamfer* dan *upset time* terhadap nilai kekuatan tarik pada paduan Al-Mg-Si belum diteliti.

Sementara itu penelitian yang dilakukan Irawan dkk (2012) dengan judul *"Tensile Strength of Weld Joint Produced by Spinning Friction Welding of Round Aluminum A6061 with Various Chamfer Angles"* mendapatkan hasil bahwa sudut *chamfer* mempengaruhi kekuatan tarik pada sambungan las gesek Al – Mg – Si. Kekuatan tarik tertinggi terdapat pada sudut *chamfer*  $15^{\circ}$ . Ini disebabkan karena pada sudut ini area yang terkena panas dan

porositas sangat kecil sehingga dapat meningkatkan kekuatan tarik pada daerah sambungan tersebut.

Iswar dkk (2012) meneliti pengelasan gesek pada baja karbon rendah, mendapatkan hasil bahwa semakin tinggi putaran maka kekuatan tarik dan kekuatan puntir yang dihasilkan akan semakin besar. Santoso dkk (2012) juga meneliti hal tersebut pada paduan Al-Mg-Si dengan judul “Pengaruh Sudut *Chamfer* dan Gaya Tekan Akhir Terhadap Kekuatan Tarik Dan Porositas Sambungan Las Gesek Pada Paduan Al – Mg – Si” memiliki hasil bahwa kekuatan tarik pada pengelasan gesek aluminium akan meningkat seiring dengan semakin kecilnya sudut *chamfer* dan semakin besarnya gaya tekan akhir.

Paduan Al – Mg – Si yang akan digunakan dalam penelitian ini memiliki beberapa karakteristik, yaitu memiliki kekuatan sambungan yang baik, dapat diaplikasikan dengan baik pada proses pelapisan, dan ketahanan korosi yang baik. Beberapa penggunaan material paduan Al – Mg – Si terutama untuk pembuatan komponen-komponen permesinan seperti poros, *connection rod*, maupun piston yang pada sambungannya memungkinkan untuk dilakukan proses pengelasan gesek. Pada penelitian ini akan dibandingkan Pengaruh Variasi Waktu Gesekan dan Sudut *Chamfer* terhadap Nilai Kekuatan Tarik Sambungan Las Gesek Al – Mg – Si dengan *Upset Force* 500 kgf.

### 1.7 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, dapat dirumuskan permasalahan yang akan diteliti yaitu : Pengaruh Variasi Waktu Gesekan dan Sudut *Chamfer* terhadap Nilai Kekuatan Tarik Sambungan Las Gesek Al – Mg – Si dengan *Upset Force* 500 kgf.

### 1.8 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Material yang digunakan yaitu Al – Mg – Si merupakan hasil ekstruksi berbentuk silinder pejal.
2. Material yang digunakan untuk pengelasan gesek dianggap tidak memiliki porositas.
3. Temperatur ruangan saat dilakukan pengelasan gesek yaitu 27° C.
4. Sudut *chamfer* yang digunakan yaitu *chamfer* satu sisi.

### 1.9 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui Pengaruh Variasi Waktu Gesekan dan Sudut *Chamfer* terhadap Nilai Kekuatan Tarik Sambungan Las Gesek Al – Mg – Si dengan *Upset Force* 500 kgf.

### 1.10 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Menghasilkan produk hasil las gesek yang memiliki kekuatan tarik yang tinggi
2. Menjadi perantara untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan las gesek.

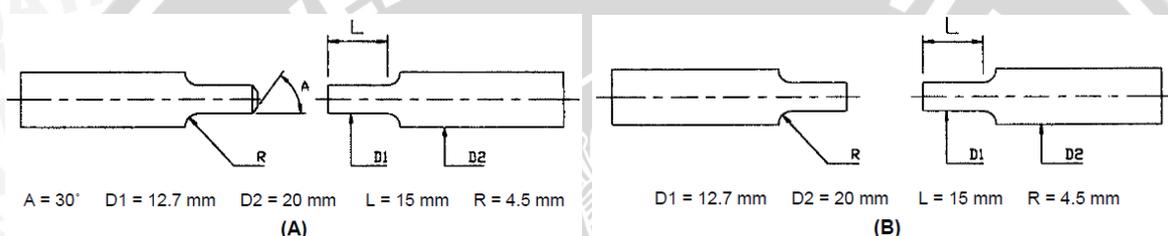


## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.11 Penelitian Sebelumnya

Lin dkk (1999) melakukan penelitian yang berjudul “*The effect of Joint Design and Volume Fraction on Friction Welding Properties of A360/SiC Composites*” dengan memberikan variasi pada permukaan yang bergesekan. Variasi pertama, satu sisi permukaan spesimen tersebut diberi sudut *chamfer*, sedangkan variasi kedua, pada permukaan sisi spesimen tidak diberi sudut *chamfer*. Perbedaan sisi yang bergesekan ini dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Permukaan Benda Kerja (A) *chamfer* 30° dan (B) Tanpa *Chamfer*

Sumber : Lin (1999)

Gambar 2.1 (A) menunjukkan desain spesimen yang dibuat dengan variasi *chamfer* sebesar 30° dan gambar 2.1 (B) menunjukkan desain spesimen yang dibuat dengan variasi tanpa sudut *chamfer*. Sementara untuk diameter spesimen yang bergesekan (D1) baik pada variasi sudut *chamfer* maupun spesimen tanpa sudut *chamfer* sebesar 12,7 mm dan diameter spesimen yang dicekam (D2) sebesar 20 mm. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa spesimen pengelasan gesek yang diberi sudut *chamfer* memiliki nilai kekuatan tarik yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang tidak menggunakan sudut *chamfer*. Penelitian tersebut menjelaskan bahwa sudut *chamfer* memiliki pengaruh terhadap pengelasan gesek.

Pada penelitian yang dilakukan Sahin (2007) yang berjudul “*Mechanical and Metalurgical Properties of Friction Welded Aluminium Joints*” menjelaskan bahwa pengaruh *friction time* terhadap nilai kekuatan tarik las gesek pada dua material yang berbeda, yaitu aluminium dan *stainless steel*. Penelitian tersebut memberikan hasil bahwa kekuatan tarik meningkat seiring dengan bertambahnya *friction time* saat pengelasan.

Sathiya dkk (2007) pada penelitiannya yang berjudul “*Effect of Friction Welding Parameters on Mechanical and Metallurgical Properties of Ferritic Stainless Steel*”

melakukan pengelasan gesek pada material *ferritic stainless steel* dengan komposisi dan dimensi yang sama akan tetapi pada penelitiannya tidak memberi variasi sudut *chamfer*. Metodenya memberi variasi yakni *friction pressure*, *friction time*, *upsetting pressure* dan *upsetting time*. Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini yaitu kekuatan impak hasil pengelasan meningkat dengan semakin besar gaya tekan penempaan dan semakin besarnya gaya tekan akhir gesekan yang diberikan pada saat pengelasan. Pada penelitiannya juga dapat diketahui bahwa hasil sambungan las mempunyai tiga zona yaitu *undeformed zone* (UZ) yang mana nilai kekerasannya hampir sama dengan logam induk, *plasticized zone* (PZ), dan *partly deforming zone* (PDZ). Nilai kekerasan tertinggi ada pada *plasticized zone* (PZ) dibandingkan pada *partly deforming zone* (PDZ) dan *undeformed zone* (UZ). Nilai kekerasan pada *plasticized zone* (PZ) meningkat disebabkan oleh ukuran butir yang halus pada zona tersebut.

Penelitian yang dilakukan Irawan dkk (2012) yang berjudul "*Tensile Strength of Weld Joint Produced by Spinning Friction Welding of Round Aluminum A6061 with Various Chamfer Angles*" mendapatkan hasil bahwa sudut *chamfer* mempengaruhi kekuatan tarik pada sambungan las gesek Al – Mg – Si. Sudut *chamfer* yang diteliti pada penelitian ini adalah 0°,15°,30°,45°,60°,75°. Kekuatan tarik tertinggi terdapat pada sudut *chamfer* 15°. Hal ini disebabkan karena pada variasi sudut *chamfer* ini, area yang terkena panas akibat proses pengelasan dan porositas yang timbul sangat kecil sehingga dapat meningkatkan nilai kekuatan tarik pada daerah sambungan tersebut.

Sementara itu Iswar dkk (2012) juga meneliti masalah ini dengan judul "Pengaruh Variasi Parameter Pengelasan (Putaran dan Temperatur) Terhadap Kekuatan Sambungan Las Hasil *Friction Welding* Pada Baja Karbon Rendah" mendapatkan hasil bahwa semakin tinggi putaran maka kekuatan tarik dan kekuatan puntir yang dihasilkan akan semakin besar. Kekuatan tarik tertinggi pada putaran 1800 rpm yakni sebesar 403.80 N/mm<sup>2</sup>.

Santoso dkk (2012) pada penelitiannya yang berjudul "Pengaruh Sudut *Chamfer* dan Gaya Tekan Akhir terhadap Kekuatan Tarik dan Porositas Sambungan Las Gesek Al-Mg-Si" menyimpulkan bahwa kekuatan tarik pada pengelasan gesek aluminium paduan Al-Mg-Si akan meningkat seiring dengan semakin kecilnya sudut *chamfer* dan semakin besarnya gaya tekan akhir.

## 2.12 Aluminium

Aluminium merupakan unsur logam yang paling banyak terkandung di bumi. Aluminium ditemukan pada tahun 1827 oleh Friedrich Wöhler, seorang ahli kimia asal

Jerman. Aluminium terdapat pada permukaan bumi dalam bentuk senyawa kimia yang disebut bauksit yang merupakan bijih aluminium dengan komposisi yang terdiri atas tanah tawas, aluminium oksida, besi oksida dan asam silikat.

Bauksit dapat ditemukan cukup merata di berbagai negara di Eropa seperti Prancis, Italia dan negara-negara Balkan. Selain itu Rusia, Hongaria, Afrika, Amerika, Asia dan Australia juga dapat ditemukan bauksit. Indonesia sendiri memiliki potensi eksplorasi bauksit di beberapa wilayah diantaranya daerah Riau, Kalimantan Barat, dan Kalimantan selatan. Akan tetapi, dalam hal pengolahan bauksit tersebut masih belum maksimal karena Indonesia belum memiliki *smelter* untuk pengolahan bauksit.

Pada umumnya aluminium dapat diperoleh dalam keadaan murni hingga memiliki kandungan 99,9 % atau kandungan terendah 99 %, memiliki nilai kekuatan tarik  $60 \text{ N/mm}^2$  dan nilai kekuatan tarik ini dapat ditingkatkan melalui proses pengerjaan dingin hingga  $140 \text{ N/mm}^2$  serta akan meningkat lagi tergantung panjangnya proses pengerjaan tersebut. Sifat korosi *atmospheric* terjadi pada aluminium yang disebabkan oleh proses persenyawaan aluminium dengan udara yang mengakibatkan terbentuknya lapisan film setebal kurang lebih  $13 \times 10^{-6} \text{ mm}$  yang bersifat *adhesive* pada permukaannya sehingga melindunginya dari pengaruh udara berikutnya.

Aluminium mempunyai beberapa keunggulan jika dibandingkan dengan logam lain. Aluminium termasuk logam ringan yang mempunyai kekuatan tinggi, tahan korosi, dan merupakan konduktor listrik yang baik (Wirjosumarto, 2000:113). Aluminium merupakan logam yang paling banyak digunakan setelah baja. 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. Dari sifat-sifat tersebut maka aluminium banyak digunakan secara luas di perindustrian. Data sifat fisik aluminium paduan dapat dilihat pada tabel 2.1

Tabel 2.1 Sifat Fisik *Aluminum Alloys*

<i>Aluminum Alloys</i>	<i>Density</i>		<i>Heat Capacity</i>		<i>Thermal Conductivity</i>		<i>Thermal Diffusivity</i>	
	$\text{g/cm}^3$	$\text{lb/in}^3$	$\text{j/kg K}$	$\text{cal}_{\text{ir}}/\text{g} \cdot ^\circ\text{C}$	$\text{W/m.K}$	$\text{cal}_{\text{ir}}/\text{cm.s} \cdot ^\circ\text{C}$	$\text{mm}^2/\text{s}$	$\text{cm}^2/\text{s}$
<b>1100</b>	2,71	0,098	963	0,23	222	0,53	85	0,85
<b>2014</b>	2,80	0,101	963	0,23	193	0,46	71	0,71
<b>5052</b>	2,68	0,097	963	0,23	138	0,33	54	0,54
<b>6061</b>	2,70	0,098	963	0,23	172	0,41	66	0,66
<b>7075</b>	2,80	0,101	963	0,23	121	0,29	45	0,45

Sumber : Eagar, ASM Handbook Vol. 06 (1993)

Pada Tabel 2.1 dapat dilihat perbandingan sifat fisik antara berbagai paduan aluminium paduan seperti massa jenis terkecil dimiliki oleh aluminium paduan 5052 dengan  $2,68 \text{ g/cm}^3$  sementara massa jenis terbesar dimiliki oleh aluminium paduan 7075 dan aluminium paduan 2014 sebesar  $2,80 \text{ g/cm}^3$ . Selain itu, konduktivitas termal yang menunjukkan seberapa besar bahan tersebut dapat menghantarkan panas tertinggi dimiliki oleh aluminium paduan 1100 sebesar  $222 \text{ W/m.K}$  dan yang terendah dimiliki oleh aluminium paduan 7075 sebesar  $121 \text{ W/m.K}$ . Sementara untuk difusivitas termal atau kemampuan sebuah bahan dalam menyerap panas tertinggi dimiliki oleh aluminium paduan 1100 sebesar  $85 \text{ mm}^2/\text{s}$  dan yang terendah dimiliki oleh aluminium paduan 7075 sebesar  $85 \text{ mm}^2/\text{s}$

Sementara itu, standar komposisi kimia yang terdapat pada aluminium paduan Al – Mg – Si 6061 dapat dilihat pada tabel 2.2

Tabel 2.2 Komposisi Kimia Al – Mg – Si

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

Sumber : ASM Aerospace Specification Metals Inc. (2015)

Pada tabel 2.2 dapat dilihat bahwa kandungan yang paling dominan selain kandungan unsur aluminium itu sendiri dalam aluminium 6061 adalah unsur magnesium dan unsur silikon. Adanya kandungan Magnesium dan Silikon untuk meningkatkan daya tahan karat aluminium. Unsur Mg juga meningkatkan sifat mampu mesin dan mampu bentuk dari aluminium tanpa mengurangi sifat ductile serta membuat aluminium paduan tersebut mampu dilas dengan baik.

### 2.12.1 Penggolongan Aluminium Paduan

Sistem empat digit yang digunakan untuk mengidentifikasi aluminium dan paduan aluminium. Penetapan standarisasi logam aluminium menurut *American Standart Testing Materials* (ASTM) mempergunakan angka dalam menetapkan penggolongan aluminium paduan. Cara penggolongan aluminium berdasarkan paduannya ditunjukkan pada tabel 2.3

Tabel 2.3 Sistem Penamaan Paduan Aluminium Tempa

Unsur Paduan Utama	No. Seri
Aluminium, 99% dan lebih besar	1xxx
Copper	2xxx
Manganese	3xxx
Silicon	4xxx
Magnesium	5xxx
Magnesium dan Silicon	6xxx
Zinc	7xxx
Unsur Lain	8xxx

Sumber: Avner, 1997 : 484

Cara pembacaan penggolongan aluminium berdasarkan tabel 2.3 :

xxxx : Angka pertama merupakan jenis unsur paduan utama yang terdapat pada aluminium.

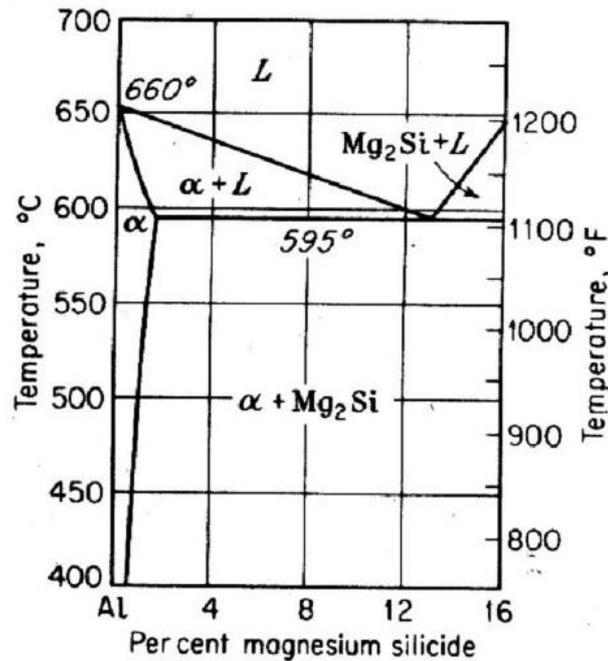
Angka 1 merupakan kandungan unsur aluminium murni antara 99 – 99,9 %. Angka 2 memiliki tembaga sebagai unsur paduan utamanya. Angka 3 memiliki mangan sebagai unsur paduan utamanya. Angka 4 memiliki silikon sebagai unsur paduan utamanya. Angka 5 memiliki magnesium sebagai unsur paduan utamanya. Angka 6 memiliki magnesium-silikon sebagai unsur paduan utamanya. Angka 7 memiliki Zinc sebagai unsur paduan utamanya.

xx : Angka kedua menunjukkan paduan aluminium tersebut merupakan hasil olahan keberapa. Misalkan angka 0 merupakan hasil asli (belum diolah), angka 1 menunjukkan hasil olahan pertama dan seterusnya.

xx : angka ketiga dan keempat menunjukkan kandungan minimum aluminium yang ada pada material. Misalkan 61 memiliki arti kandungan aluminium minimum yang ada pada material tersebut sebesar 61 %.

Contoh : Aluminium 6061 memiliki arti bahwa aluminium tersebut mengandung unsur magnesium dan silikon sebagai unsur paduan utamanya, merupakan hasil asli (belum diolah), dan kandungan unsur aluminium minimal sebesar 61 %.

Paduan Al – Mg – Si termasuk dalam jenis yang dapat diperlaku-panaskan dan mempunyai sifat mampu potong yang baik, mampu las, dan daya tahan korosi yang baik. Apabila Magnesium dan Silikon dipadukan maka akan membentuk Magnesium Silikat (Mg<sub>2</sub>Si). Diagram fasa Al- Mg – Si ditunjukkan pada gambar 2.2



Gambar 2.2 Diagram Fasa Al – Mg – Si

Sumber : Heine (1976:320)

Pada gambar 2.2 menunjukkan tentang diagram fasa Al – Mg – Si, diagram fasa ini bertujuan untuk mengetahui perubahan fasa yang terjadi pada material akibat perubahan temperatur maupun perubahan kandungan unsur paduan magnesium-silikon. Al – Mg – Si memiliki titik lebur 595°C hingga memasuki fasa austenit yang merupakan daerah transisi antara fasa padat menjadi cair. Titik cair Al – Mg – Si sendiri berada pada suhu 660°. Pada pengelasan gesek, material tidak perlu mencair untuk dilakukan penyambungan. Material tersebut hanya perlu mencapai suhu rekristalisasi sehingga bisa menyatu. Suhu rekristalisasi dapat diketahui dengan persamaan :

$$T_r = 15\% \times T_c \text{ (}^\circ\text{C)} \tag{2-1}$$

Dengan :

$T_r$  = Temperatur rekristalisasi (°C)

$T_c$  = Temperatur cair Al – Mg – Si (°C)

### 2.12.2 Sifat Mampu Las Aluminium

Dalam hal pengelasan, paduan aluminium mempunyai sifat yang kurang baik bila dibandingkan dengan baja. Sifat – sifat yang kurang baik atau merugikan tersebut sebagai berikut :

1. Panas jenis dan daya hantar panasnya tinggi maka sukar sekali untuk memanaskan dan mencairkan sebagian kecil saja.
2. Mudah teroksidasi dan membentuk oksida aluminium  $Al_2O_3$  yang mempunyai titik cair yang tinggi. Karena sifat ini maka peleburan antara logam dasar dan logam las menjadi terhalang.
3. Paduan aluminium mempunyai berat jenis rendah, karena itu banyak zat – zat lain yang terbentuk selama pengelasan akan tenggelam. Keadaan ini memudahkan terganggunya zat – zat yang tidak dikehendaki ke dalamnya.
4. Karena titik cair dan viskositasnya rendah, maka daerah yang kena pemanasan mudah mencair dan jatuh menetes.

## **2.13 Pengelasan**

### **2.13.1 Definisi Pengelasan**

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

### **2.13.2 Klasifikasi Pengelasan**

Berdasarkan cara kerja pengelasan dapat diklasifikasikan menjadi tiga yaitu :

1. Pengelasan cair adalah pengelasan dimana sambungan yang akan dilas akan mencair sehingga dapat menyatu. Contohnya : las gas, las listrik, las busur plasma.
2. Pengelasan Tekan adalah pengelasan dimana sambungan dipanaskan lalu ditekan tanpa harus mencair hingga menyatu. Contohnya : las gesek, las titik, las tempa, las ultrasonic.
3. Pematrian adalah cara dimana sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah. dalam proses ini logam yang akan disambung tidak ikut mencair.

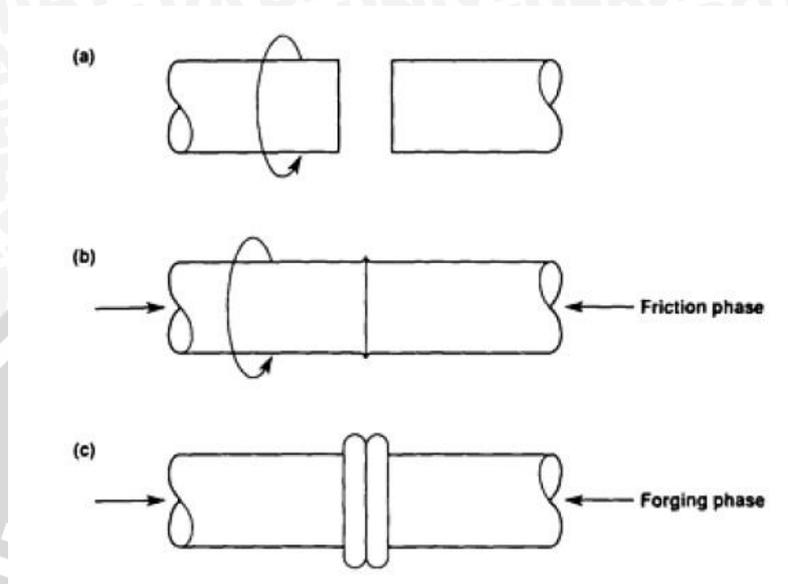
## **2.14 Las Gesek (*Friction Welding*)**

### **2.14.1 Definisi Las Gesek (*Friction Welding*)**

Pengelasan gesek (*friction welding*) adalah proses pemanfaatan panas untuk penyambungan yang dihasilkan oleh gerak relatif dari dua permukaan yang akan disambungkan. Metode ini memanfaatkan perubahan langsung dari energi gerak menjadi

energi panas untuk penyambungan tanpa ada sumber panas dari luar. Berdasarkan cara penggesekannya *friction welding* dibagi menjadi dua yaitu :

- a. Las gesek dengan sumber panas dari gesekan kedua permukaan benda kerja itu sendiri, contohnya *continuous drive friction welding* seperti pada gambar 2.3.

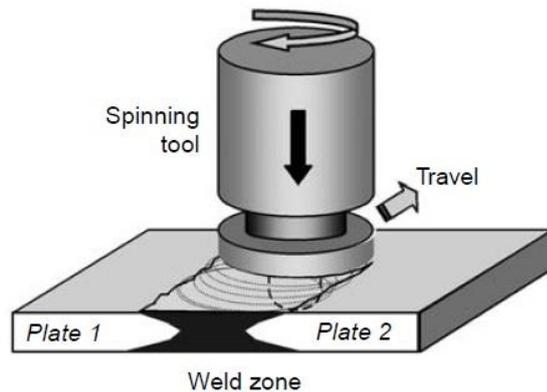


Gambar 2.3 Mekanisme Las Gesek

Sumber : Elmer, ASM Handbook Vol. 06 (1993)

Pada gambar 2.3 (a) dapat dilihat salah satu spesimen berputar kemudian spesimen lain dalam keadaan tidak berputar. Kemudian (b) menunjukkan saat spesimen berputar, spesimen lainnya menekan sehingga timbul gesekan dari kedua permukaan spesimen yang menempel. Pada (c) setelah gesekan, timbul panas yang akan membuat permukaan spesimen yang bergesekan menjadi lumer sehingga saat *forging phase* timbul *flash* akibat adanya penekanan.

- b. Las gesek dengan sumber panas dari gesekan kedua permukaan benda kerja yang akan dilas dengan pahat (*tool*), contohnya *friction stir welding*. pengelasan ini dapat dilakukan pada penyambungan dua logam yang berbeda jenisnya. Ini merupakan kelebihan dari pengelasan ini. Skema *friction stir welding* ditunjukkan pada gambar 2.4



Gambar 2.4 *Friction stir welding*

Sumber : Blau (2008:385)

Pada gambar 2.4 dapat dilihat skema *friction stir welding*, kedua plat dirapatkan pada bidang datar kemudian *tools* berputar dan menekan tegak lurus plat pada sisi yang dirapatkan. *Tools* tersebut bergerak searah sumbu horizontal hingga timbul panas akibat gesekan antara *tools* dan spesimen. Panas yang timbul ini akan membuat sisi spesimen menjadi lumer dan timbul sambungan antar plat tersebut.

#### 2.14.2 Kelebihan Friction Welding

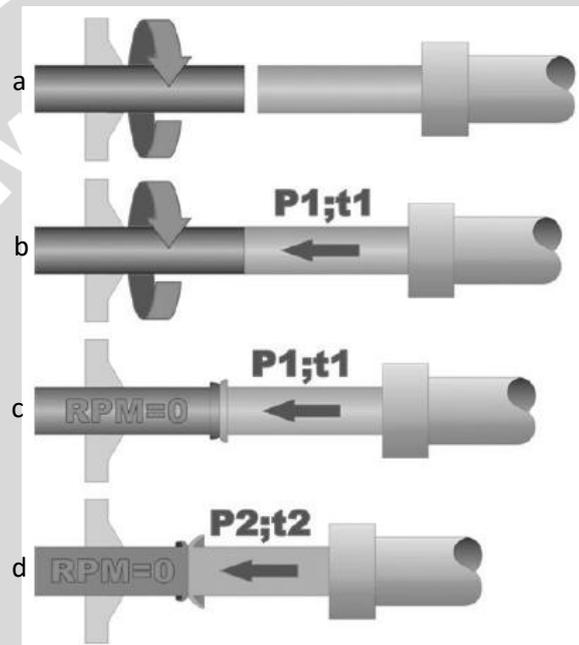
Ada beberapa hal yang harus menjadi pertimbangan dalam penyambungan logam. Sama halnya ketika *Friction welding* harus dilakukan untuk menyambung logam. Ada beberapa kelebihan dari pengelasan ini yakni :

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

#### 2.15 Continuous Drive Friction Welding

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

Mekanisme proses ini adalah ketika salah satu benda diputar dengan kecepatan tinggi dan salah satu benda yang lain menekan benda yang berputar tersebut. Akibat dari penekan tersebut timbul panas sehingga partikel dari dua logam dapat saling berikatan dan perputaran yang terjadi mengakibatkan partikel dari dua benda tersebut teraduk. Sedangkan penekanan menyebabkan partikel terdorong mengisi celah-celah kosong sekaligus mengeluarkan udara. Dari proses ini menghasilkan proses penyambungan logam tanpa pencairan atau yang dinamakan *solid state process*. Skema proses *Continuous Drive Friction Welding* dapat dilihat pada gambar 2.5

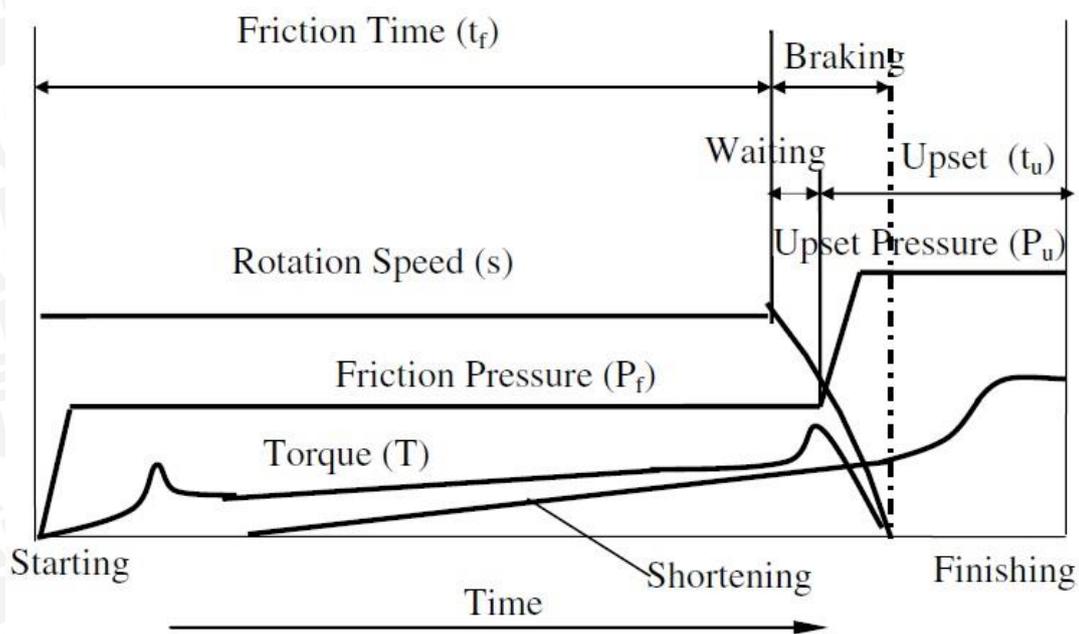


Gambar 2.5 *Continuous Drive Friction Welding*

Sumber : Alves dkk (2012)

Gambar 2.5 menunjukkan skema *Continuous Drive Friction Welding* dengan (a) satu spesimen berputar dengan kecepatan tertentu secara *continue* dan satu spesimen menekan searah sumbu aksial. Saat gesekan (b), gaya penekanan dilambangkan dengan  $P_1$  selama waktu tertentu dilambangkan  $t_1$ . Kemudian (c) setelah timbul *flash* akibat gesekan dan tekanan dari spesimen, putaran dihentikan. Pada (d) diberikan tekanan akhir dilambangkan dengan  $P_2$  selama beberapa waktu dilambangkan  $t_2$  agar sambungan menyatu dengan sempurna.

Pada pengelasan las gesek ini terdapat parameter-parameter yang harus diperhatikan ketika proses penyambungan, terutama parameter waktu dan gaya yang diberikan ketika proses pengelasan yang ditunjukkan pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Parameter *friction welding*

Sumber: Sahin (2008)

Pada gambar 2.6 menunjukkan parameter yang mempengaruhi proses *friction welding*. Parameter ini pada akhirnya juga akan mempengaruhi sifat mekanis pada hasil pengelasan gesek. Parameter tersebut diantaranya yaitu *rotation speed* yang dibuat stabil saat proses *friction welding* selama waktu tertentu, kemudian setelah gesekan selesai putarannya akan semakin menurun. *Friction Time* diberikan selama waktu tertentu yang akan menimbulkan panas akibat gesekan. *Torque* yang timbul saat gesekan akan meningkat seiring lamanya waktu dan akibat tempaan akan mengakibatkan perubahan *torque* diawal dan diakhir proses pengelasan. *Friction Pressure* merupakan tekanan yang diberikan saat proses gesekan. Saat awal gesekan, tekanan yang diberikan akan mencapai titik tertentu dalam waktu tertentu kemudian tekanan dijaga kestabilannya hingga waktu gesekan selesai dan pemberian tekanan tersebut dinaikkan dalam waktu tertentu saat pemberian tekanan akhir. Akibat dari pemberian tekanan saat gesekan maupun tekanan saat akhir pengelasan menyebabkan *shortening* yaitu perpendekan dari spesimen yang disambungkan. Perpendekan ini dapat dilihat dengan semakin besarnya *flash* yang timbul saat proses pengelasan.

## 2.16 Pengujian Tarik

Kekuatan tarik maksimum merupakan kemampuan bahan untuk menerima beban tarik tanpa mengalami kerusakan dan dinyatakan sebagai tegangan maksimal sebelum putus. Pada uji tarik, benda uji diberi beban gaya tarik searah sumbu spesimen. Tegangan tarik didefinisikan sebagai distribusi tegang tarik persatuan luas penampang bahan, yang dirumuskan :

$$\sigma = F/A \quad (2-2)$$

dengan :

$\sigma$  = Tegangan tarik (N/mm<sup>2</sup>)

F = Beban tarik (N)

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

Sedangkan regangan dirumuskan dengan :

$$\varepsilon = \Delta L / L_0 \quad (2-3)$$

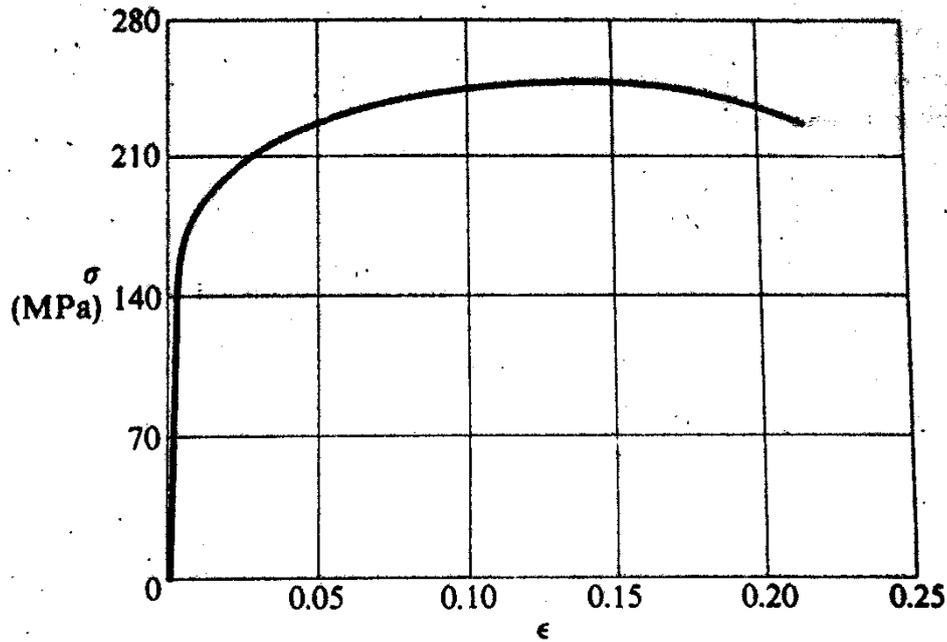
dengan :

$\varepsilon$  = regangan

$\Delta L$  = Pertambahan panjang (mm)

$L_0$  = Panjang awal (mm)

Perbedaan kurva tidaklah terlalu besar pada regangan yang kecil, tetapi menjadi signifikan pada rentang terjadinya pengerasan regangan (*strain hardening*) yaitu setelah titik luluh terlampaui. Dan secara khusus perbedaan menjadi demikian besar dalam daerah *necking*. Diagram tegangan-regangan akan menunjukkan besarnya regangan dari spesimen saat diberikan tegangan tertentu. Semakin besar tegangan dan semakin kecil regangan maka spesimen tersebut memiliki kekuatan tarik yang baik karena spesimen tersebut tidak mengalami deformasi plastis akibat adanya beban yang diberikan. Diagram tegangan-regangan aluminium dapat dilihat pada gambar 2.7



Gambar 2.7 Diagram Tegangan – Regangan

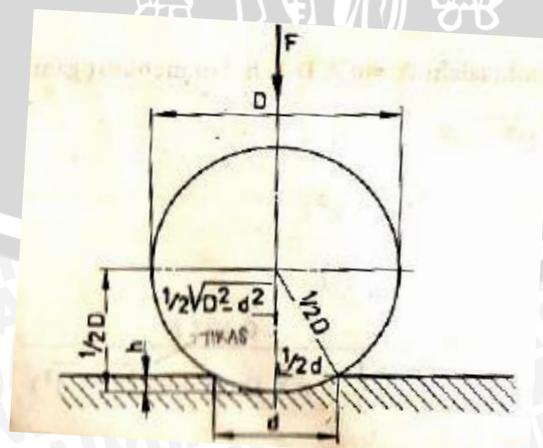
Sumber : Timoshenko & Gere (1991:15)

### 2.17 Pengujian Kekerasan

Kekerasan adalah kemampuan suatu bahan untuk menahan tusukan (penetrasi) dan gesekan benda yang lebih keras dari luar. Dapat juga dikatakan kemampuan untuk menahan deformasi plastis. Cara pengujian kekerasan yaitu :

#### 1. Cara brinell

Pengukuran ini dilakukan dengan cara menekan secara tegak lurus menggunakan bola baja (indenter) yang sudah diketahui diameter pada permukaan benda uji. Skema pengujian brinell dapat dilihat pada gambar 2.8



Gambar 2.8 Bekas Uji Brinell

Sumber : Groenendijk (1984:104)

Bekas yang ditimbulkan diukur dan kekerasannya dihitung dengan rumus :

$$BHN = \frac{2P}{\pi \times D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (2-4)$$

dengan :

BHN : Angka kekerasan Brinell (kg/mm<sup>2</sup>)

P : beban yang dikenakan (kg)

D : diameter bola baja (mm)

d : diameter bekas tusukan (mm)

Pengujian kekerasan dengan cara brinell biasanya menggunakan electrical brinell hardness tester (mesin uji kekerasan brinell). Pengujian ini harus dilakukan pada permukaan yang halus dan datar, kerak dan kotoran pada permukaan benda uji dapat mengakibatkan pengujian gagal.

Kelebihan menggunakan metode Brinell

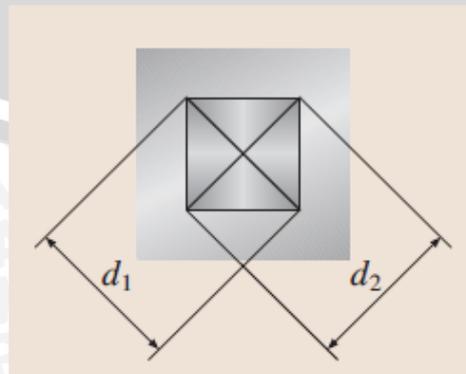
- Mudah dilakukan
- Biaya relatif murah
- Menghasilkan jejak yang relatif kecil

Kekurangan menggunakan metode Brinell

- Tidak dapat menggunakan metode Brinell dengan ukuran permukaan tipis
- Tidak dapat dilakukan pada logam dengan tingkat kekerasan tinggi

## 2. Cara Vickers

Prinsipnya sama dengan pengujian brinell, hanya saja menggunakan indenter yang berbentuk piramid berlas bujur sangkar dengan sudut puncak antara 2 sisi berhadapan 136°. Skema pengujian kekerasan Vickers dapat dilihat pada gambar 2.9



Gambar 2.9 Vickers Test

Sumber : Czichos (2006:317)

Tapak tekan berbentuk bujur sangkar. Beban yang diberikan antara lain 5,10,20,30,50,100 atau 120 kg. Angka kekerasan dinyatakan :

$$VHN = \frac{1,8544 P}{d^2} \quad (2-5)$$

dengan :

P : Beban yang diberikan (kg)

d : Panjang diagonal jejak (mm)

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

Kelebihan cara Vickers :

- Tingkat ketelitian tinggi
- Spesimen yang digunakan tidak mengalami kerusakan
- Memberikan hasil berupa skala yang kontinu untuk suatu bahan tertentu.

Kekurangan cara Vickers :

- Waktu operasi relatif lama
- Proses pengerjaan relatif rumit
- Tidak dapat digunakan untuk pengujian fisik, karena pengujian permukaan lambat memerlukan persiapan benda uji yang sangat hati-hati.
- Alat yang digunakan harganya mahal

## 2.18 Energi Input

Jumlah energi panas yang dihasilkan dari gesekan dua benda untuk mencairkan logam ketikan pengelasan las gesek adalah fungsi dari putaran yang digunakan, tekanan dan koefisien gesek. Nilai dari energi yang masuk ( $d\dot{Q}$ ) didekati dengan persamaan akibat gaya gesek yang ditimbulkan sebagai berikut :

$$d\dot{Q} = \omega \cdot dM \quad (W) \quad (2-6)$$

Dengan  $\omega$  adalah kecepatan sudut dan  $dM$  adalah perbedaan momen torsi pada radius.  $dM$  dapat diperoleh dengan :

$$dM = r \cdot dF_{friction} \quad (Nm) \quad (2-7)$$

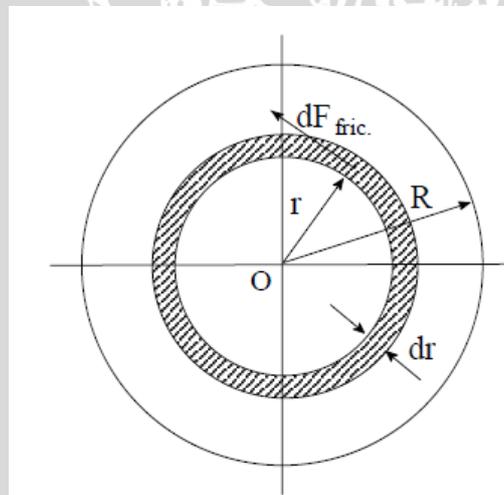
Dengan  $dF_{friction}$  merupakan gaya gesek antara spesimen pada permukaan  $dr$  dan  $r$  adalah radius spesimen. Dapat diteruskan bahwa gaya gesekan  $dF_{friction}$  sama dengan koefisien gesek dikalikan dengan gaya aksial dari tekanan  $P$  dari permukaan spesimen dengan radius  $dr$  dan dapat dirumuskan :

$$dF_{friction} = r \cdot (\mu \cdot P \cdot 2\pi r \cdot dr) \quad (2-8)$$

Dari persamaan 2-7 dan 2-8 dapat kita substitusikan ke persamaan 2-6 menjadi :

$$d\dot{Q} = 2\pi \cdot \mu \cdot \omega \cdot P \cdot r^2 \cdot dr \quad (W) \quad (2-9)$$

Diperoleh total energi dari permukaan yang bergesekan adalah panas yang timbul akibat permukaan spesimen  $r$  dan  $dr$  dari sumbu putar yang ditunjukkan seperti pada gambar 2.10



Gambar 2.10 Skema Permukaan Spesimen yang Bergesekan

Sumber : Can dkk (2010)

$$\int_0^R d\dot{Q} = 2\pi \cdot \mu \cdot \omega \cdot P \cdot r^2 \cdot dr \quad (2-10)$$

$$\dot{Q} = 2\pi \cdot \mu \cdot \omega \cdot P \cdot \frac{r^3}{3} \Big|_0^R \quad (2-11)$$

Sehingga untuk spesimen silinder pejal akan diperoleh persamaan :

$$\dot{Q} = \frac{2}{3}\pi \cdot \omega \cdot P \cdot R^3 \quad (W) \quad (2-12)$$

dengan :

$\dot{Q}$  = energi pengelasan per satuan waktu (W)

$\omega$  = kecepatan sudut (rad/sec)

$\mu$  = koefisien gesek aluminium

$P$  = tekanan (N/m<sup>2</sup>)

$R$  = radius spesimen (m)

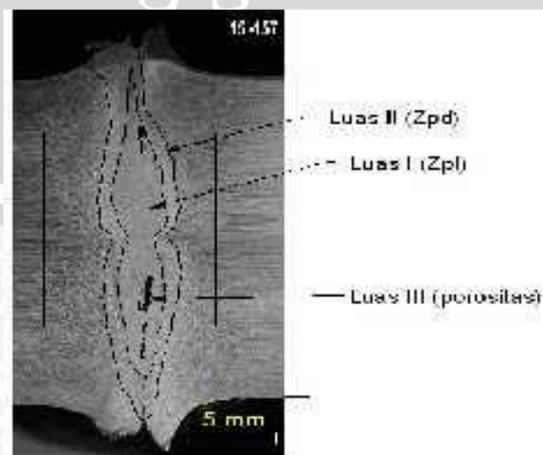
### 2.19 Heat Affected Zone (HAZ)

HAZ merupakan daerah yang terpengaruh panas saat proses pengelasan. Akibatnya, struktur mikro dan sifat-sifat mekanis dari spesimen yang dilas berubah dari keadaan semula. Semakin besar panas yang dihasilkan maka daerah HAZ yang terbentuk juga semakin besar. Ini akan menyebabkan kekuatan dari sambungan las tersebut akan semakin menurun.

Pada pengelasan gesek, beberapa bagian penting dibagi menjadi 3 yaitu :

1. *Fully plasticized region (Zpl)* adalah daerah sambungan yang mengalami deformasi plastis secara keseluruhan dan menyatu saat pengelasan.
2. *Partly deformed region (Zpd)* merupakan daerah yang mengalami panas serta deformasi sebagian yang diakibatkan proses pengelasan.
3. Porositas adalah daerah pada hasil ambungan las yang berupa rongga udara, sehingga akan mempengaruhi kekuatan sambungan las

Untuk mengetahui daerah *Zpl*, *Zpd* dan porositas maka dapat dilihat melalui foto makrostruktur dari spesimen. Daerah *Zpl*, *Zpd* dan porositas ditunjukkan pada gambar 2.11

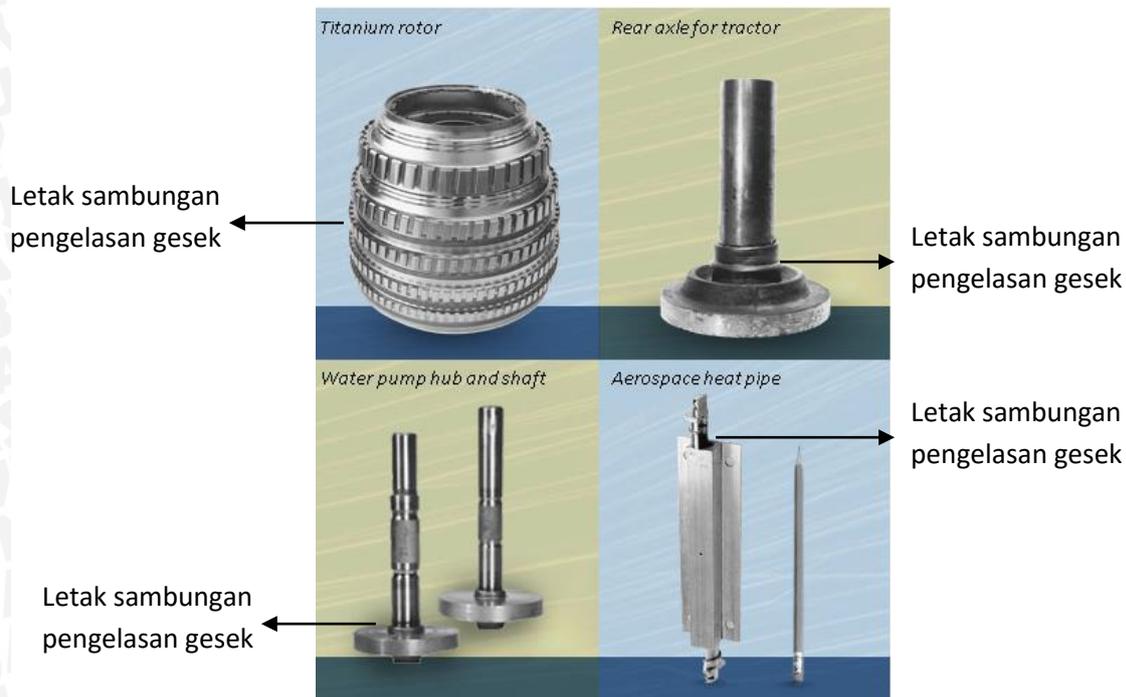


Gambar 2.11 *Zpl* (i), *Zpd* (ii), Porositas (iii)

Sumber : Santoso (2012)

### 2.20 Aplikasi Pengelasan Gesek

Hasil pengelasan gesek dapat diterapkan diberbagai macam bidang permesinan seperti industri pertanian, otomotif maupun militer. Pengelasan gesek tersebut dapat diterapkan pada bagian sambungan yang berbentuk silinder pejal maupun silinder berbentuk pipa. Beberapa contoh aplikasi las gesek ditunjukkan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Aplikasi Las Gesek dari Paduan Al – Mg – Si

Sumber : mtiwelding (2011)

### 2.10 Hipotesis

Berdasarkan dasar teori serta penelitian-penelitian yang dilakukan sebelumnya maka hipotesa yang diperoleh bahwa variasi sudut *chamfer* dan waktu gesekan akan mempengaruhi nilai kekuatan tarik dari sambungan las Al – Mg – Si.

### BAB III

#### METODE PENELITIAN

Metode Penelitian yang digunakan yaitu metode *true experimental*. Metode ini digunakan untuk mengetahui secara langsung Pengaruh Variasi Waktu Gesekan dan Sudut *Chamfer* terhadap Nilai Kekuatan Tarik Sambungan Las Gesek Al – Mg – Si dengan *Upset Force* 500 kgf.

#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada September – Nopember 2015. Tempat yang digunakan untuk penelitian ini adalah :

- Laboratorium Proses Produksi I, Teknik Mesin Universitas Brawijaya untuk melakukan pengelasan Gesek.
- Laboratorium Struktur, Teknik Sipil Universitas Negeri Malang untuk pengujian kekuatan tarik.
- Laboratorium Pengujian Bahan, Teknik Mesin Universitas Brawijaya untuk foto makrostruktur dan pengujian kekerasan.

#### 3.2 Variabel Penelitian

Terdapat tiga variabel pada penelitian ini yaitu variabel bebas, variabel terikat, dan variabel terkontrol.

##### 3.2.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang nilainya dapat diubah sehingga variabel ini mempengaruhi hasil penelitian. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah :

- Sudut *chamfer* : 0°, 11.5°, 15°, 30°
- *friction time* : 45 detik, 50 detik, 55 detik

##### 3.2.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya dipengaruhi oleh variabel bebas. Adapun variabel terikat dari penelitian ini adalah nilai kekuatan tarik maksimum rata-rata sambungan las gesek.

### 3.2.3 Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang besarnya harus dijaga konstan supaya tidak mempengaruhi hasil dari variabel terikat. Variabel konstan pada penelitian ini yakni :

1. Gaya tekan awal saat gesekan 250 kgf
2. Gaya tekan akhir 500 kgf.
3. Tinggi *Chamfer* 2 mm
4. Putaran *spindle* 1600 rpm.
5.  *Holding time* setelah gesekan selama 110 detik
6. Kekasaran permukaan sebesar  $\pm 0,54 \mu\text{m}$

### 3.3 Spesifikasi Alat dan Bahan

#### 3.3.1 Spesifikasi Alat

##### a. Mesin Bubut

Mesin bubut yang telah dimodifikasi dengan pompa hidrolik akan digunakan sebagai alat pengelasan gesek. Gambar 3.1 menunjukkan mesin bubut dan pompa hidrolik yang akan digunakan. Spesifikasi mesin bubut yang digunakan yaitu :

Merk/Type : Lathe Machine C6232A

Buatan : China

Tahun : 1978

Daya : 3.5 kW

Putaran Spindle Max : 1600 rpm



Gambar 3.1 Mesin Bubut

b. Jangka sorong

Jangka sorong atau *Vernier Caliper* digunakan untuk mengukur dimensi spesimen.

Gambar 3.2 menunjukkan *vernier caliper* yang akan digunakan untuk pengukuran.



Gambar 3.2 *Vernier Caliper*

c. Pompa Hidrolik

Pompa Hidrolik digunakan untuk memberikan gaya penekanan saat proses pengelasan. Gambar 3.3 menunjukkan pompa hidrolik yang akan digunakan untuk memberikan tekanan.

Merk : Eagle Pro

Tahun : 2015



Gambar 3.3 Pompa Hidrolik

d. Kamera digital

Kamera digital digunakan untuk mendokumentasikan kegiatan skripsi. Gambar 3.4 menunjukkan kamera yang akan digunakan ketika membuat dokumentasi skripsi.



Gambar 3.4 Kamera Digital

e. Mesin uji tarik

Mesin uji tarik digunakan untuk pengujian tarik setelah pengelasan. Gambar 3.5 menunjukkan mesin pengujian tarik yang digunakan untuk mengetahui nilai kekuatan tarik. Spesifikasi mesin pengujian tarik terdapat pada lampiran 7.



Gambar 3.5 Mesin Uji Tarik (a) *Display controller* (b) *Specimen holder*

f. Mesin Uji Kekerasan

Mesin Uji Kekerasan yang digunakan untuk pengujian kekerasan dapat dilihat pada gambar 3.6. Spesifikasi alat pengujian kekerasan yaitu :

Merk/Type : Microvickers Hardness Tester Machine

Beban indentasi : 0,98 N

Indentor : Intan



Gambar 3.6 Mesin Uji Kekerasan

### 3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan untuk pengelasan pada penelitian ini adalah Al-Mg-Si berbentuk silinder pejal dengan standar komposisi pada tabel 3.1 dan hasil pengujian komposisi material pada tabel 3.2 (lampiran 8)

Tabel 3.1 Kandungan Unsur paduan Al – Mg – Si

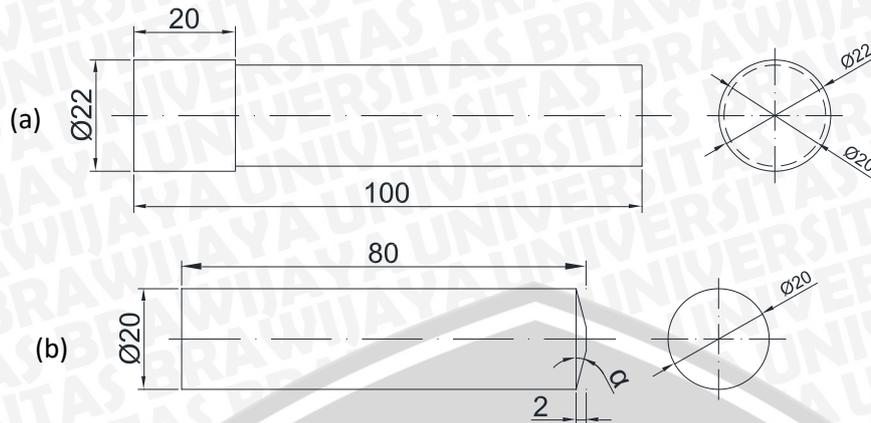
Paduan	Al (%)	Mg (%)	Si (%)	Fe (%)	Mn (%)	Zn (%)	Cu (%)	Cr (%)	Ti (%)	Kandungan lainnya (%)
6061	95,8-	0,80-	0,40-	Max	Max	Max	0,15-	0,040-	Max	Max 0,15
	98,6	1,2	0,80	0,70	0,15	0,25	0,40	0,35	0,15	

Sumber : ASM Aerospace Specification Metals Inc. (2015)

Tabel 3.2 Kandungan komposisi spesimen yang diuji

Paduan	Al (%)	Mg (%)	Si (%)	Fe (%)	Mn (%)	Zn (%)	Cu (%)	Cr (%)	Ti (%)	Kandungan lainnya (%)
6061	97,8	0,799	0,53	0,338	0,125	0,037	0,231	0,048	0,025	0,0658

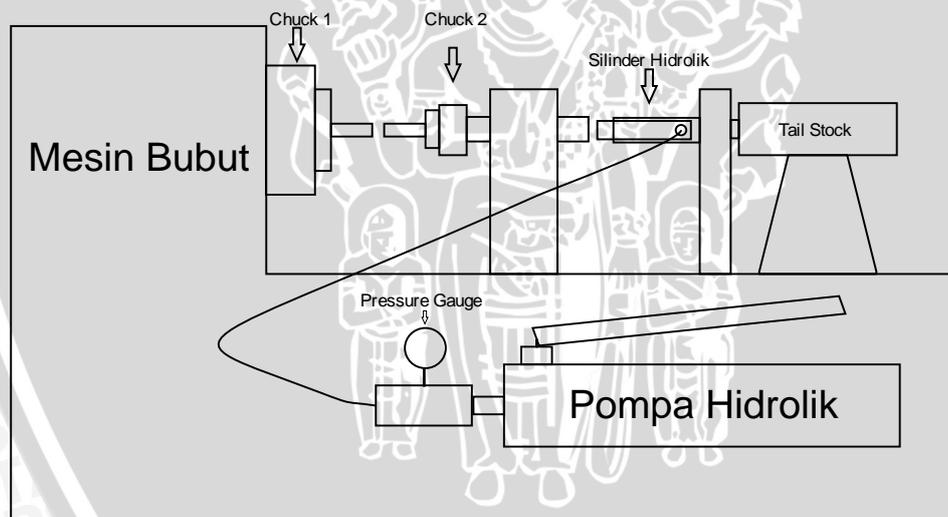
Dimensi spesimen yang digunakan untuk proses pengelasan ditunjukkan pada gambar 3.7



Gambar 3.7 Dimensi Benda Kerja (a) Spesimen yang berputar (b) spesimen yang diam

### 3.4 Instalasi Penelitian

Gambar 3.8 menunjukkan skema alat pengelasan gesek yang akan dilakukan. Pompa hidrolik memberikan tekanan melalui fluida oli ke silinder hidrolik yang kemudian menekan *chuck 2* dan saat *chuck 1* berputar dengan kecepatan tertentu maka akan timbul panas akibat gesekan spesimen tersebut hingga terjadi sambungan.



Gambar 3.8 Skema Alat Pengelasan Gesek

### 3.5 Prosedur Penelitian

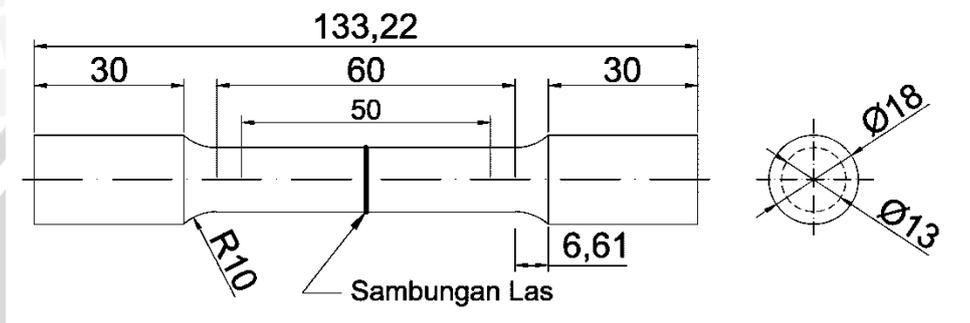
#### 3.5.1 Pengelasan Gesek

1. Persiapan mesin bubut dan spesimen yang akan digunakan seperti pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.7.
2. Pemasangan spesimen (a) pada *chuck* yang berputar dan spesimen (b) *chuck* yang diam
3. Pengaturan kecepatan putaran *spindle* dari motor kemudian motor dihidupkan serta mengatur tekanan pada hidrolik kemudian pengelasan dilakukan dengan variasi waktu.
4. Motor dimatikan lalu diberi tekanan akhir sebesar 500 kgf selama 110 detik

5. Spesimen dilepas dari cekam
6. Pada variasi sudut *chamfer* selanjutnya diulangi mulai langkah nomor 2.

### 3.5.2 Pengujian Kekuatan Tarik

Pengujian kekuatan tarik dilakukan pada spesimen yang mengacu pada standar AWS (Pada Lampiran 6). Penentuan standar ini didasarkan pada efisiensi material yang digunakan untuk pengelasan, kemudahan proses *machining* dan penggunaan hasil dari aplikasi las gesek serta penyesuaian alat uji tarik yang akan digunakan. Dimensi spesimen seperti pada gambar 3.9



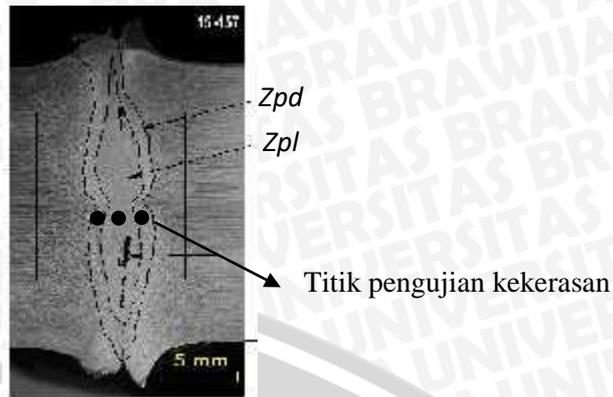
Gambar 3.9 Dimensi Spesimen Uji Tarik  
Sumber : American Welding Society (2007)

Proses pengujian tarik yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan spesimen yang akan diuji kemudian dilakukan pengukuran diameter pada bagian sambungan las, dengan ketelitian 0,05.
2. Pasang dan jepit spesimen pada kedua *chuck* mesin uji tarik, pastikan bahwa posisi sambungan las berada di tengah antara dua sisi *chuck*.
3. Menyalakan mesin dan spesimen uji mulai mendapatkan beban tarik, diawali dari 0 - sekian *Newton* hingga spesimen putus setelah melewati beban maksimum yang dapat ditahan.
4. Mesin dimatikan seiring beban tarik dilepaskan kemudian hasil pengujian tarik (beban maksimum (N), deformasi (mm), waktu (detik) sudah otomatis terekam oleh komputer yang terhubung pada mesin uji.

### 3.5.3 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk memperkuat data hasil pengujian tarik. Titik pengambilan data pengujian kekerasan diambil pada daerah *Zpl* dan *Zpd* seperti ditunjukkan pada gambar 3.10

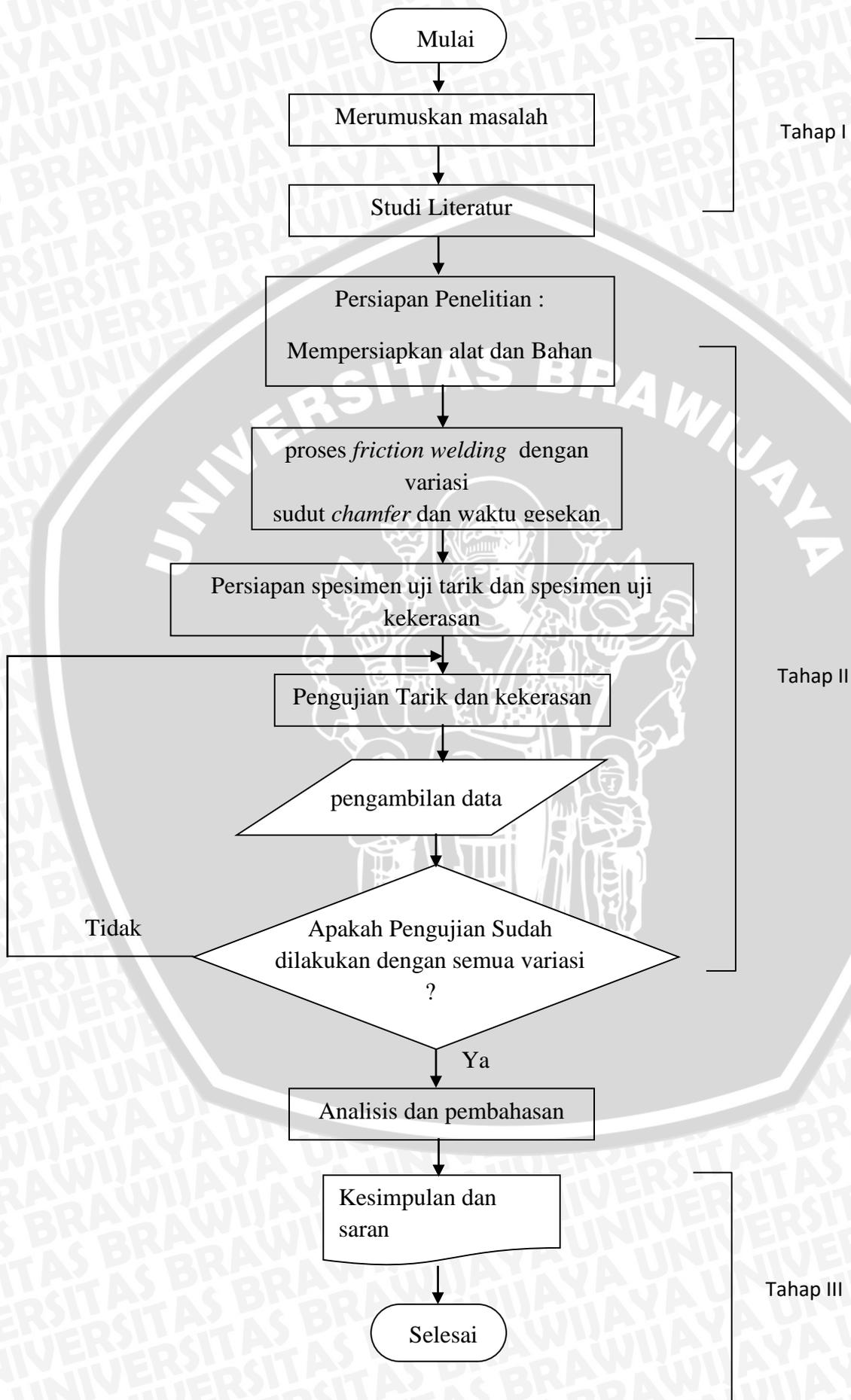


Gambar 3.10 Titik Pengujian Kekerasan

Proses Pengujian Kekerasan :

1. Spesimen hasil pengelasan dipotong melintang melalui garis sumbu.
2. Permukaan spesimen yang telah dipotong kemudian dihaluskan secara bertahap dengan menggunakan amplas berukuran 300, 500, 1000, 1200, dan 1500.
3. Setelah dihaluskan menggunakan amplas, permukaan spesimen tersebut dibersihkan dengan autosol sehingga permukaannya mengkilap.
4. Permukaan spesimen tersebut kemudian dibersihkan lagi dengan menggunakan etsa hingga tekstur dari spesimen tersebut dapat terlihat.
5. Dilakukan pengujian kekerasan pada daerah *Zpl* dan *Zpd*.
6. Pengujian kekerasan yang dilakukan diulang sebanyak 3 kali pada daerah-daerah tersebut.

3.6 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.11 Alur penelitian

Pada gambar 3.11 menunjukkan diagram alir penelitian. Pada penelitian ini terdapat 3 tahap yaitu : Tahap awal yaitu tahap I sebagai tahap Persiapan, tahap II sebagai tahap pelaksanaan penelitian dan pengambilan data, dan tahap III sebagai tahap akhir yaitu tahap pengolahan data dan pembahasan. Pada tahap I, mula-mula merumuskan masalah dari latar belakang yang timbul kemudian mencari referensi berdasarkan studi pustaka/studi literatur. Pada tahap II dilakukan pelaksanaan penelitian berupa persiapan alat & bahan, kemudian dilaksanakan proses *friction welding* setelah menentukan parameter yang akan diteliti, setelah proses *friction welding* selesai dilakukan pengujian kekeuatan tarik untuk mengetahui nilai kekuatan tariknya serta dilakukan pengujian kekerasan untuk memperkuat data hasil pengujian kekuatan tarik. Pada tahap III atau tahap akhir, Data yang diperoleh kemudian diolah dan dilakukan analisis dengan membuat grafik serta pembahasan nilai kekuatan tarik maksimum terhadap variasi *friction time* pada spesimen dengan berbagai sudut *chamfer*. Setelah melakukan analisis, dibuat kesimpulan berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan.



**BAB IV**  
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**4.1 Data Hasil Pengujian Kekuatan Tarik**

Tabel 4.1 berikut menunjukkan hasil pengujian kekuatan tarik maksimum sambungan las Al – Mg – Si dengan berbagai variasi sudut *chamfer* dan variasi *friction time*.

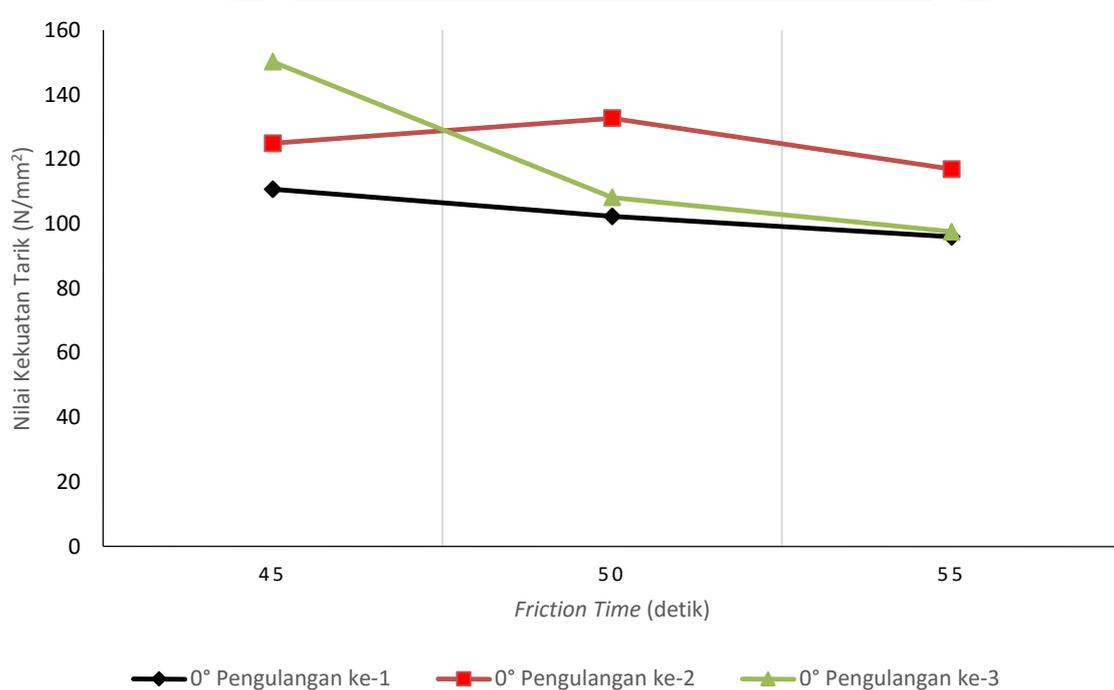
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Kekuatan Tarik Sambungan Las Gesek pada Berbagai Variasi sudut *Chamfer* dan Variasi *Friction Time*.

Sudut	Friction Time	Kekuatan Tarik (N/mm <sup>2</sup> )	Kekuatan Tarik Rata-Rata (N/mm <sup>2</sup> )	
0°	45	110,676	128,601	
		124,915		
		150,211		
	50	102,255	114,371	
		132,679		
		108,176		
	55	95,957	103,472	
		116,910		
		97,548		
	11.5°	45	179,105	182,801
			177,217	
			192,079	
50		116,901	127,895	
		146,260		
		120,524		
55		146,934	132,287	
		113,769		
		136,156		
15°		45	158,643	177,189
			188,484	
			184,440	
	50	128,204	134,505	
		133,049		
		142,262		
	55	107,743	123,776	
		122,867		
		140,718		
	30°	45	145,198	129,414
			101,506	
			141,537	
50		91,026	105,109	
		113,686		
		110,614		
55		91,900	95,944	
		107,775		
		88,156		

## 4.2 Pembahasan

### 4.2.1 Hasil Kekuatan tarik maksimum terhadap variasi *friction time* pada spesimen dengan variasi sudut *chamfer* 0°

Gambar 4.1 menunjukkan grafik hubungan antara *friction time* terhadap nilai kekuatan tarik sambungan las gesek Al-Mg-Si pada spesimen variasi sudut *chamfer* 0°. Nilai kekuatan tarik maksimum spesimen dengan sudut *chamfer* 0° terdapat pada variasi *friction time* 45 detik yaitu sebesar 150,21 N/mm<sup>2</sup>. Sementara itu nilai kekuatan tarik terendah untuk spesimen dengan sudut *chamfer* 0° sebesar 95,95 N/mm<sup>2</sup> terdapat pada *friction time* 55 detik.



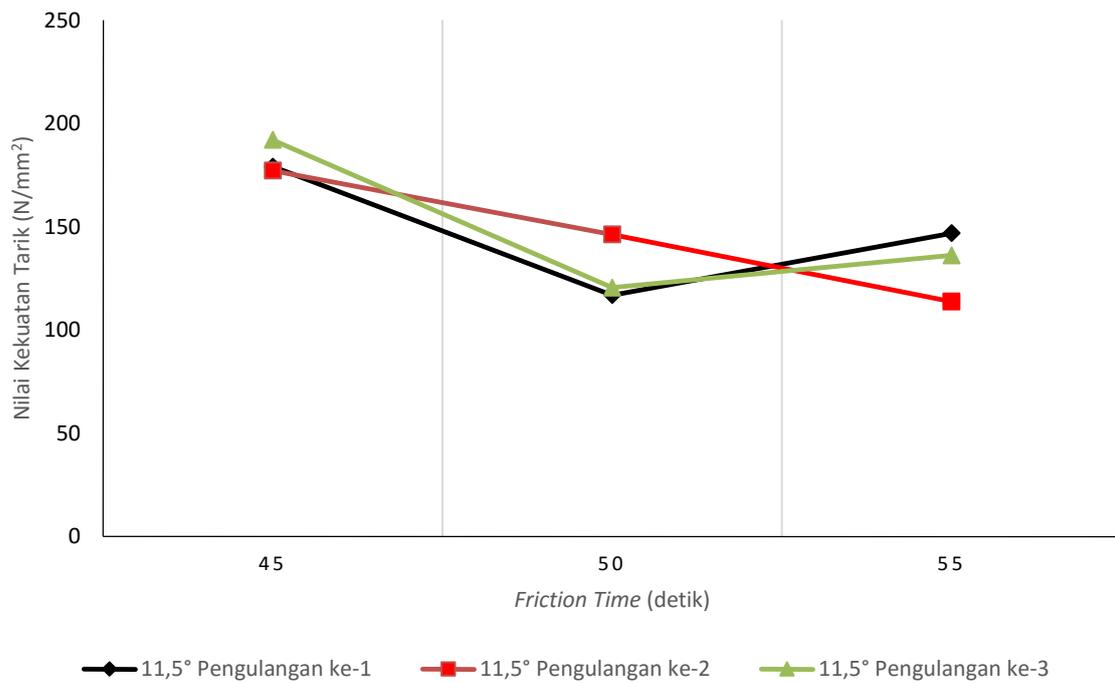
Gambar 4.1 Grafik Hubungan *Friction time* terhadap nilai kekuatan Tarik pada spesimen variasi sudut *chamfer* 0°

Grafik tersebut menunjukkan bahwa seiring bertambahnya waktu gesekan maka kekuatan tarik maksimum akan menurun karena semakin besar *friction time* akan menyebabkan peningkatan temperatur dari spesimen saat dilakukan pengelasan sehingga daerah HAZ yang terbentuk akan semakin besar dan menyebabkan nilai kekuatan tarik yang diperoleh akan semakin menurun.

### 4.2.2 Hasil Kekuatan tarik terhadap variasi *friction time* pada spesimen sudut *chamfer* 11,5°

Gambar 4.2 menunjukkan grafik hubungan antara *friction time* terhadap nilai kekuatan tarik sambungan las gesek Al-Mg-Si pada spesimen variasi sudut *chamfer* 11,5°.

Nilai kekuatan tarik maksimum spesimen dengan sudut *chamfer*  $11,5^\circ$  terdapat pada variasi *friction time* 45 detik yaitu sebesar  $192,07 \text{ N/mm}^2$ . Sementara itu nilai kekuatan tarik terendah untuk spesimen dengan sudut *chamfer*  $11,5^\circ$  sebesar  $120,52 \text{ N/mm}^2$  terdapat pada *friction time* 50 detik dan kemudian sedikit meningkat pada variasi *friction time* 55 detik yaitu sebesar  $146,93 \text{ N/mm}^2$ .



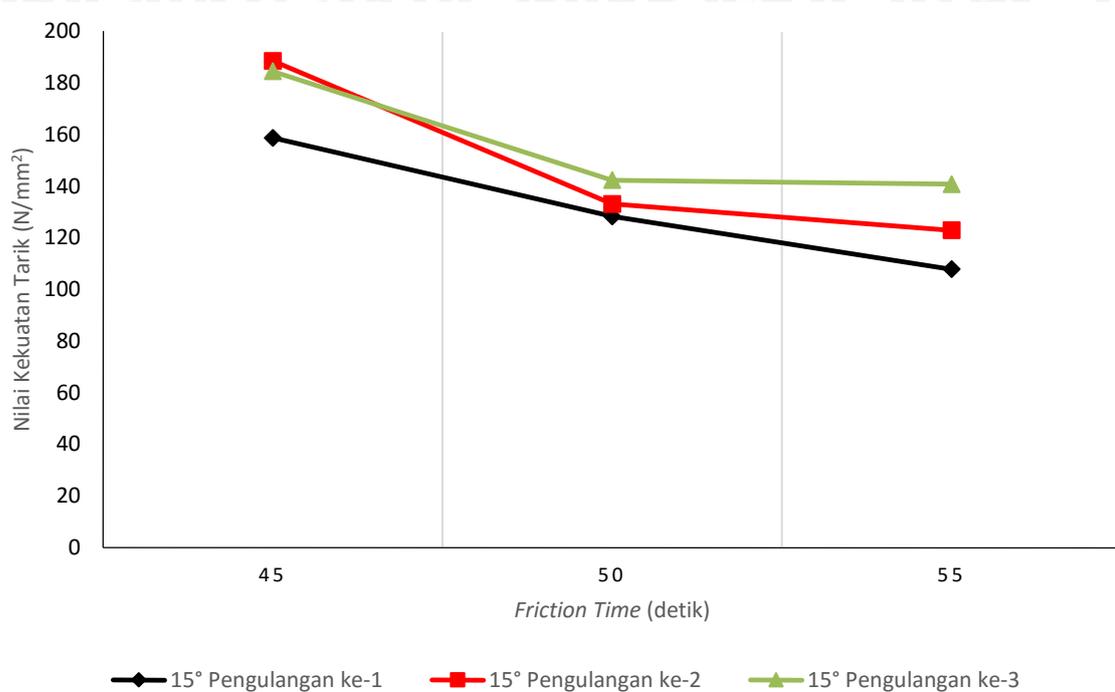
Gambar 4.2 Grafik Hubungan *Friction time* terhadap nilai kekuatan Tarik pada spesimen variasi sudut *chamfer*  $11,5^\circ$

Grafik tersebut menunjukkan bahwa seiring bertambahnya waktu gesekan maka kekuatan tarik maksimum akan menurun. Kemudian antara variasi *friction time* 50 detik dan 55 detik terjadi peningkatan nilai kekuatan tarik dikarenakan pada spesimen dengan variasi *friction time* 50 detik terbentuk daerah *HAZ* yang lebih besar dibandingkan variasi *friction time* 55 detik serta terdapat porositas yang akan mempengaruhi penurunan nilai kekuatan tarik dari spesimen tersebut.

#### 4.2.3 Hasil Kekuatan tarik terhadap variasi *friction time* pada spesimen sudut *chamfer* $15^\circ$

Gambar 4.3 menunjukkan grafik hubungan antara *friction time* terhadap nilai kekuatan tarik sambungan las gesek Al-Mg-Si pada spesimen variasi sudut *chamfer*  $15^\circ$ . Nilai kekuatan tarik maksimum spesimen dengan sudut *chamfer*  $15^\circ$  terdapat pada variasi

*friction time* 45 detik yaitu sebesar 188,48 N/mm<sup>2</sup>. Sementara itu nilai kekuatan tarik terendah untuk spesimen dengan sudut *chamfer* 15° sebesar 107,74 N/mm<sup>2</sup> terdapat pada *friction time* 55 detik.

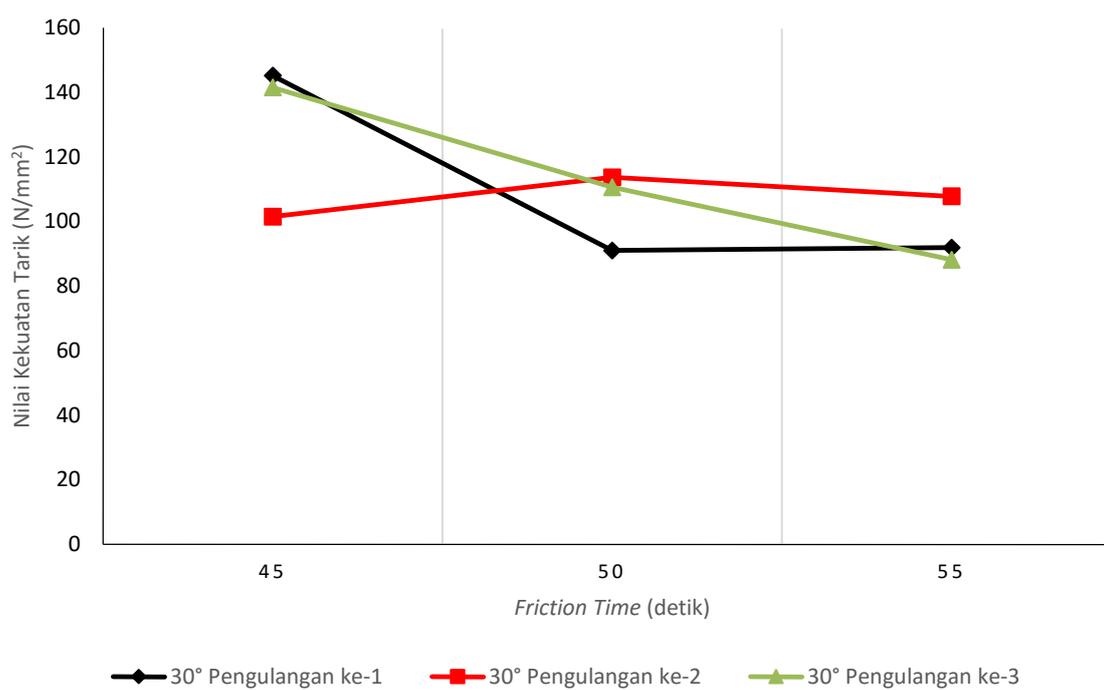


Gambar 4.3 Grafik Hubungan *Friction time* terhadap nilai Kekuatan Tarik pada Spesimen variasi sudut *chamfer* 15°

Grafik tersebut menunjukkan bahwa seiring bertambahnya waktu gesekan maka kekuatan tarik maksimum akan menurun karena semakin besar *friction time* akan menyebabkan temperatur dari spesimen saat dilakukan pengelasan juga akan meningkat sehingga daerah *HAZ* yang terbentuk akan semakin besar dan menyebabkan nilai kekuatan tarik yang diperoleh akan semakin menurun.

#### 4.2.4 Hasil Kekuatan tarik terhadap variasi *friction time* pada spesimen sudut *chamfer* 30°

Gambar 4.4 menunjukkan grafik hubungan antara *friction time* terhadap nilai kekuatan tarik sambungan las gesek Al-Mg-Si. Nilai kekuatan tarik maksimum spesimen dengan sudut *chamfer* 30° terdapat pada variasi *friction time* 45 detik yaitu sebesar 133,04 N/mm<sup>2</sup>. Sementara itu nilai kekuatan tarik terendah untuk spesimen dengan sudut *chamfer* 30° sebesar 88,15 N/mm<sup>2</sup> terdapat pada *friction time* 55 detik.

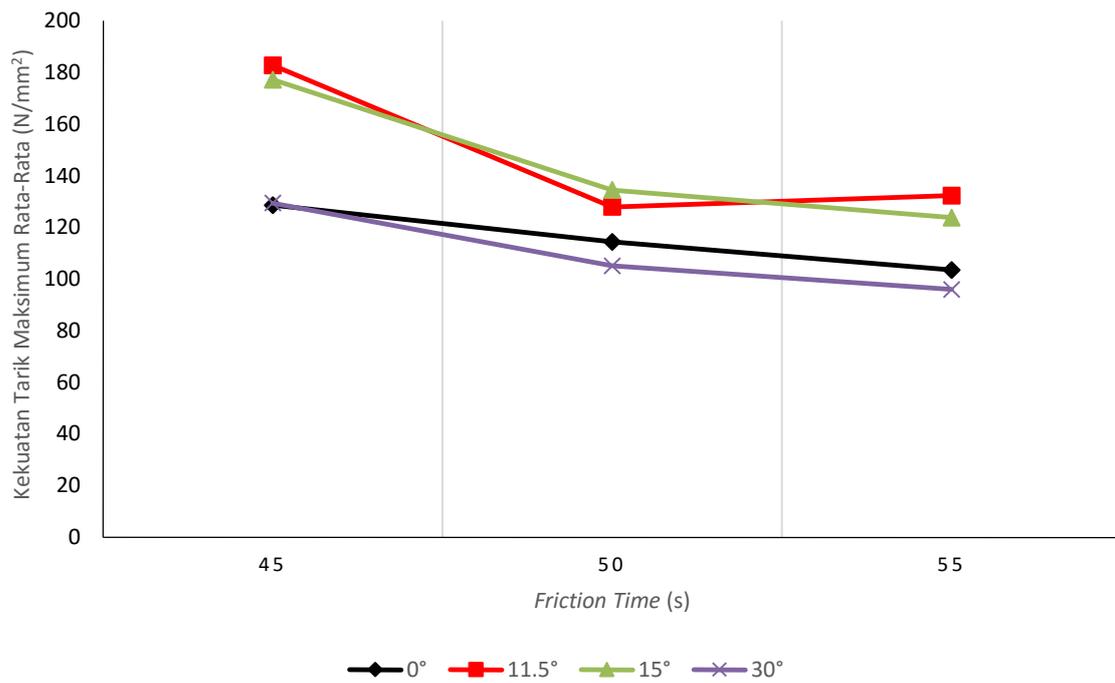


Gambar 4.4 Grafik Hubungan *Friction time* terhadap nilai Kekuatan Tarik pada Spesimen variasi sudut *chamfer* 30°

Grafik tersebut menunjukkan bahwa seiring bertambahnya waktu gesekan maka kekuatan tarik maksimum akan menurun karena semakin besar *friction time* akan menyebabkan peningkatan temperatur dari spesimen sehingga akan menurunkan nilai kekuatan tarik. Rendahnya nilai kekuatan tarik pada variasi *friction time* 55 detik karena semakin lama waktu gesekan akan menyebabkan panas yang timbul semakin besar sehingga daerah *HAZ* yang terbentuk akan semakin besar yang dapat menurunkan nilai kekuatan tarik dan selain itu juga terdapat porositas yang mempengaruhi rendahnya nilai kekuatan tarik.

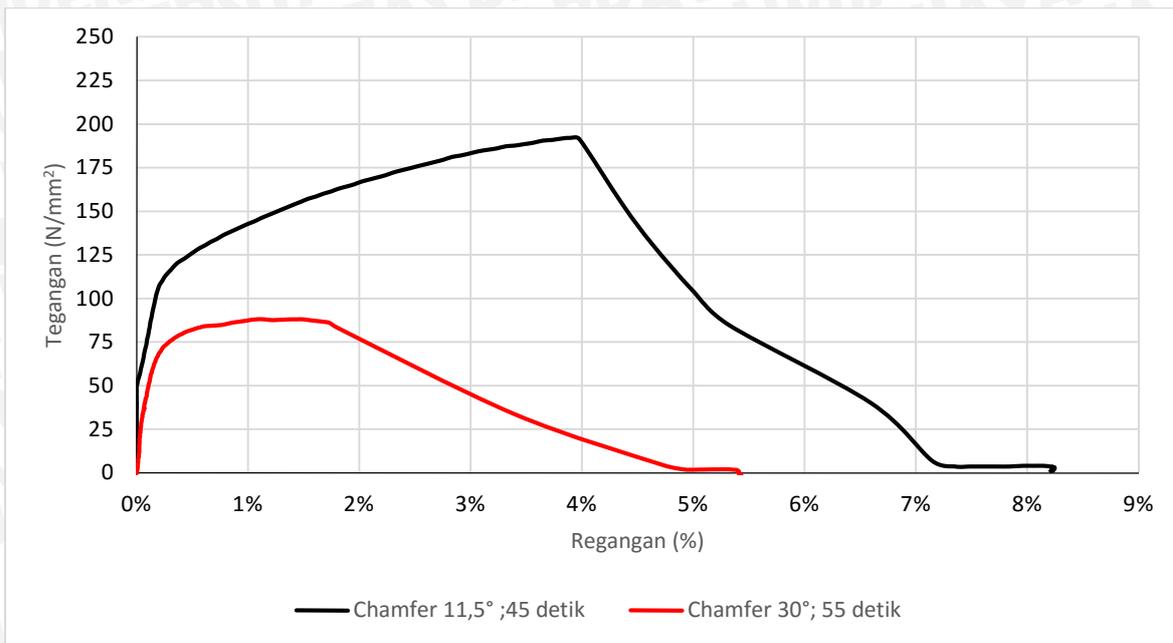
#### 4.2.5 Hasil Kekuatan tarik terhadap variasi *friction time* dan variasi sudut *chamfer*

Gambar 4.5 menunjukkan hubungan antara *friction time* terhadap nilai kekuatan tarik sambungan las gesek Al-Mg-Si pada berbagai variasi sudut *chamfer*. Secara keseluruhan, nilai kekuatan tarik rata-rata tertinggi terdapat pada spesimen dengan variasi sudut *chamfer* 11,5° dan *friction time* 45 detik sebesar 182,80 N/mm<sup>2</sup>. Sedangkan nilai kekuatan tarik terendah untuk spesimen dengan sudut *chamfer* 30° *friction time* 55 detik yaitu sebesar 95,94 N/mm<sup>2</sup>.



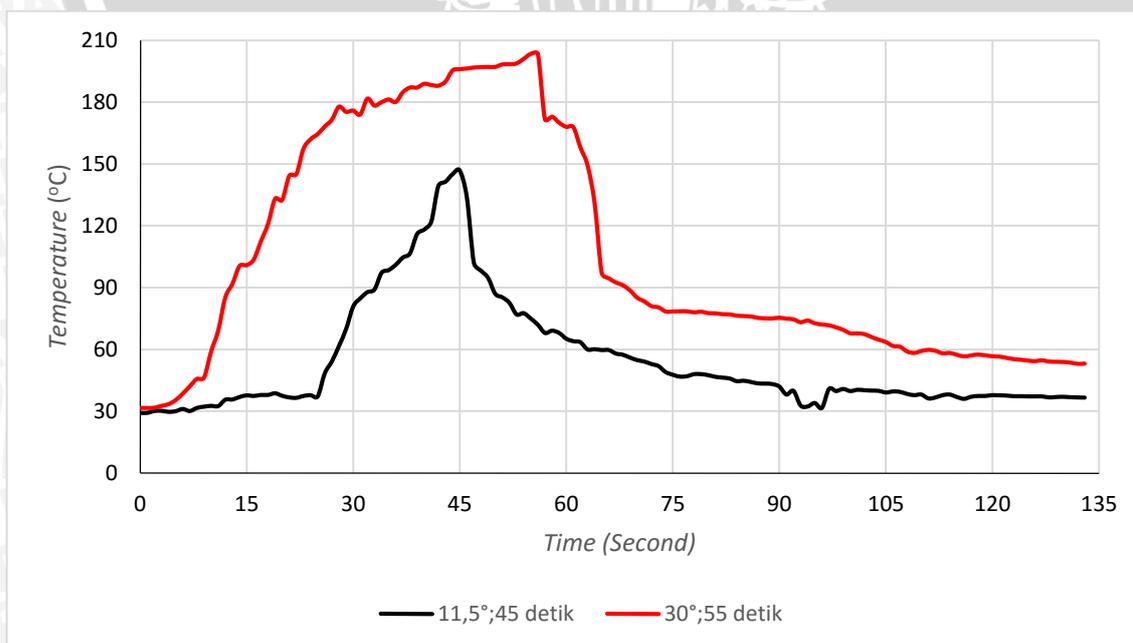
Gambar 4.5 Grafik Hubungan *Friction time* terhadap Kekuatan Tarik pada tiap variasi sudut *chamfer*

Grafik tersebut menunjukkan bahwa kekuatan tarik tertinggi rata-rata terdapat pada *friction time* 45 detik dan semakin menurun pada *friction time* 55 detik. Jika diamati nilai tegangan – regangan pada spesimen dengan nilai kekuatan tarik tertinggi yaitu spesimen sudut *chamfer* 11,5° *friction time* 45 detik dan kekuatan tarik terendah yaitu spesimen sudut *chamfer* 30° *friction time* 55 detik maka dapat diketahui bahwa spesimen sudut *chamfer* 11,5° *friction time* 45 detik memiliki tegangan – regangan yang lebih besar dibandingkan spesimen sudut *chamfer* 30° *friction time* 55 detik. Grafik Tegangan - Regangan antara spesimen sudut *chamfer* 11,5° *friction time* 45 detik dengan spesimen sudut *chamfer* 30° *friction time* 55 detik dapat dilihat pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Grafik Tegangan - Regangan antara spesimen sudut *chamfer* 11,5° *friction time* 45 detik dengan spesimen sudut *chamfer* 30° *friction time* 55 detik

Sementara itu, *friction time* mempengaruhi nilai kekuatan tarik meningkatnya waktu gesekan akan menurunkan nilai kekuatan tarik akibat panas yang timbul saat gesekan semakin besar sehingga timbul *HAZ* yang semakin besar. Faktor lain yang mempengaruhi kekuatan tarik tersebut adalah terdapatnya porositas pada tiap spesimen, adanya porositas menyebabkan turunnya nilai kekuatan tarik. Gambar 4.7 dibawah ini menunjukkan perbandingan perubahan temperatur permukaan spesimen variasi sudut *chamfer* 11,5° *friction time* 45 detik dan sudut *chamfer* 30° *friction time* 55 detik saat dilakukan pengelasan.

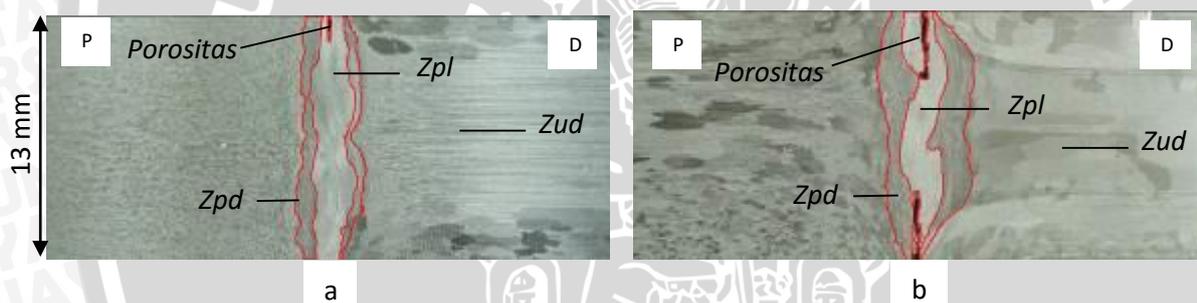


Gambar 4.7 Grafik perubahan temperatur permukaan spesimen saat pengelasan.

Pada spesimen variasi sudut *chamfer*  $11,5^\circ$  *friction time* 45 detik terlihat kenaikan temperatur permukaan spesimen diawal pengelasan tidak terlalu drastis dan selama 45 detik mencapai temperature maksimum sebesar  $146,9^\circ\text{C}$ . jika dibandingkan dengan kenaikan temperatur permukaan spesimen variasi sudut *chamfer*  $30^\circ$  *friction time* 55 detik sangat drastis dan mencapai temperature maksimum sebesar  $203,4^\circ\text{C}$  pada detik ke 55.

Pada kedua perbandingan spesimen tersebut, terdapat perbedaan sudut *chamfer*, hal itu mempengaruhi kecepatan naiknya temperatur pada spesimen dan tingginya temperatur ini akan mengakibatkan *HAZ* akan lebih besar. Perbandingan daerah *HAZ* dapat kita lihat melalui foto makro penampang melintang spesimen pengujian kekuatan tarik.

Gambar 4.8 menunjukkan foto makro dari (a) Spesimen variasi sudut *chamfer*  $11,5^\circ$  ; *friction time* 45 detik dan (b) Spesimen variasi sudut *chamfer*  $30^\circ$  ; *friction time* 55 detik. Simbol P menunjukkan posisi spesimen yang berputar dan simbol D menunjukkan posisi spesimen yang diam.



Gambar 4.8 Foto Makro Spesimen (a)  $11,5^\circ$  – 45 detik (b)  $30^\circ$  – 45 detik

Luas *HAZ* pada foto makro spesimen dengan nilai kekuatan tarik tertinggi dan spesimen dengan nilai kekuatan tarik terendah dapat dilihat pada tabel 4.2

Tabel 4.2 Perbandingan luas daerah *HAZ* spesimen kekuatan tarik tertinggi dan terendah

Daerah	Luas daerah ( $\text{mm}^2$ )	
	$11,5^\circ$ - 45s	$30^\circ$ - 55s
<i>Zpl</i>	21,30	21,77
<i>Zpd</i>	16,12	17,95
Porositas	0,20	0,98

Gambar 4.7 (a) menunjukkan luas *Zpl* sebesar  $21,30\text{ mm}^2$  sementara itu pada Gambar 4.7 (b) luas *Zpl* sebesar  $21,77\text{ mm}^2$  seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.2. Luas *Zpl*

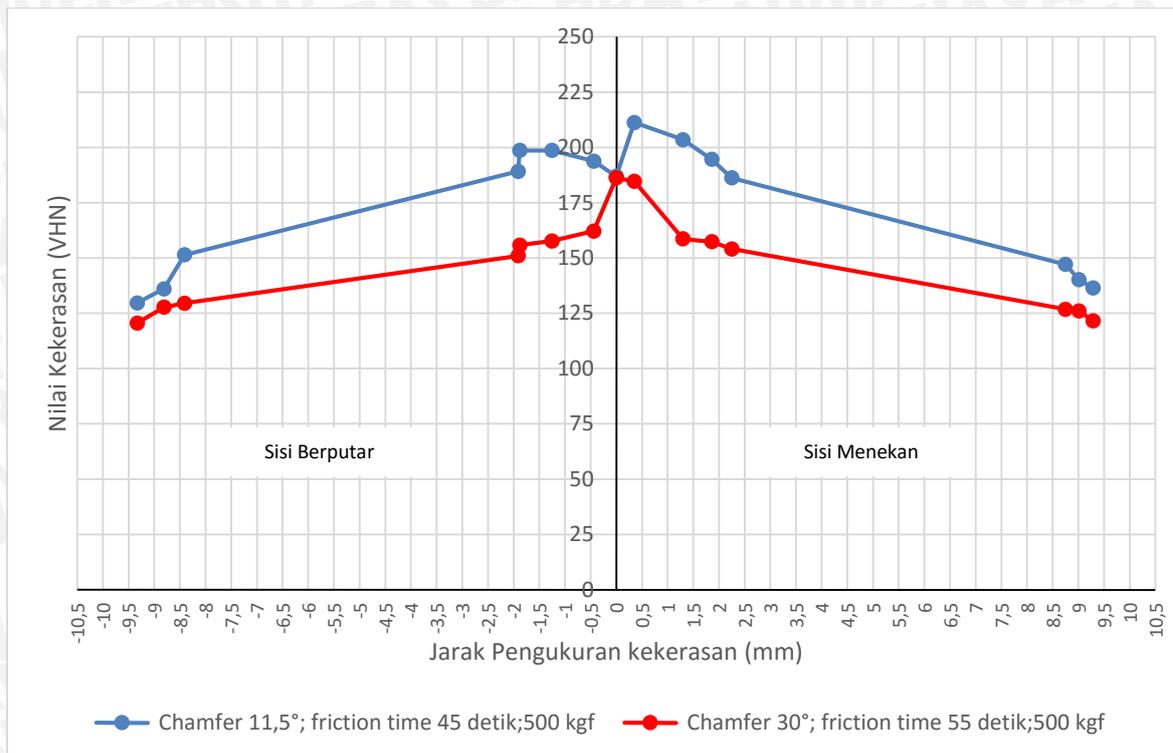
mempengaruhi hasil kekuatan tarik. Semakin luas  $Z_{pl}$  maka kekuatan tarik meningkat. Namun, walaupun spesimen tersebut memiliki  $Z_{pl}$  yang luas tidak berarti kekuatannya akan selalu tinggi karena jika dilihat pada Gambar 4.7 (b), spesimen memiliki  $Z_{pl}$  yang luas dan  $Z_{pd}$  yang luas serta terlihat porositas pada spesimen tersebut. Porositas menyebabkan penurunan kekuatan tarik karena daerah tersebut akan menjadi daerah terlemah ketika dikenai beban.

Gambar 4.8 menunjukkan titik pengambilan sampel pengujian kekerasan. Titik pengujian memiliki jarak 2 mm dari garis sumbu spesimen. Jarak titik A – B sebesar 6,93 mm, jarak B – C sebesar 1,88 mm, jarak titik C – D sebesar 1,86 mm, dan jarak D – E sebesar 7,15 mm. Pengambilan jarak antar titik ini telah mempertimbangkan daerah HAZ yang terbentuk akibat proses pengelasan.



Gambar 4.9 Titik Pengambilan Sampel Pengujian kekerasan

Hasil pengujian kekerasan pada masing-masing titik pengambilan dapat ditunjukkan pada gambar 4.10.



Gambar 4.10 Grafik Nilai Kekerasan Berdasarkan Jarak Titik Pengujian

Nilai kekerasan rata-rata spesimen dengan nilai kekuatan tarik tertinggi yaitu spesimen dengan variasi sudut *chamfer* 11,5° *friction Time* 45 detik dan spesimen dengan nilai kekuatan tarik terendah yaitu spesimen dengan variasi sudut *chamfer* 30° *friction Time* 55 detik dapat dilihat pada tabel 4.3

Tabel 4.3 Perbandingan nilai kekerasan spesimen pada *Zpl* dan *Zpd*

Daerah	Kekerasan rata-rata (VHN)	
	11,5°-45s	30°-55s
<i>Zpl</i>	197.33	177.70
<i>Zpd</i>	195.47	154.83
<i>Zud</i>	140.13	125.37

Pada Tabel 4.3, daerah *Zpl* cenderung memiliki kekerasan yang tinggi akibat dari adanya tempaan diakhir pengelasan (*Upset Pressure*) yang menyebabkan sisi material yang ditekan akan semakin padat. Untuk daerah *Zpd*, nilai kekerasan lebih kecil dibanding *Zpl* dan untuk *Zpd* nilai kekerasannya semakin menurun karena daerah ini kurang terpengaruh oleh panas akibat gesekan saat proses pengelasan.

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.3 Kesimpulan

Variasi *friction time* mempengaruhi nilai kekuatan tarik maksimum, *friction time* tercepat yaitu 45 detik memiliki nilai kekuatan tarik tertinggi dibandingkan *friction time* terlama yaitu 55 detik, semakin lama *friction time* maka nilai kekuatan Tarik yang diperoleh akan semakin menurun. Variasi sudut *chamfer* mempengaruhi nilai kekuatan Tarik, sudut *chamfer* yang kecil yaitu  $11,5^\circ$  memiliki nilai kekuatan Tarik tertinggi dibandingkan sudut *chamfer*  $30^\circ$  sehingga semakin kecil sudut *chamfer* mengakibatkan nilai kekuatan Tarik meningkat.

#### 5.2 Saran

1. *Range* variasi penelitian seperti pembacaan suhu, tekanan, maupun waktu gesekan dibuat lebih kecil sehingga semua perubahan yang terjadi saat pengelasan dapat memberikan nilai yang optimal.
2. Dilakukan penelitian dengan variasi jenis material serta memberi variasi temperatur pendinginan agar hasil pengelasan dapat lebih optimal



## DAFTAR PUSTAKA

- Alves, E. P., Neto, F. P., An, C. Y., Euclides C. S. 2012. *Experimental Determination of Temperature During Rotary Friction Welding of AA1050 Aluminum with AISI 304 Stainless Steel*. Instituto de Aeronautica e Espaco - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Sao Jose dos Campos. Brazil. Vol.4, No 1, pp. 61-67.
- American Society for Testing and Materials. 2004. *Standard Test Methods of Tension Testing Wrought and Cast Aluminum and Magnesium-Alloy Products*. ASTM Designation B557M., Mannual Book of ASTM Standards, Vol.3, No.1, pp. 338-342.
- ASM Aerospace Specification Metals Inc. 2015.
- Avner, S. H. 1997. *Introduction to Physical Metallurgy, second edition*. New York : McGraw-Hill.
- Blau, P. J. 2008. *Friction Science and Technology: From Concepts to Applications, Second Edition*. Taylor & Francis.
- Can, A., Sahin, M. dan Kucuk, M. 2010. *Modelling of Friction Welding*. International Scientific Conference, 2010, pp. 135-142.
- Czichos, Horst etc. Springer Handbook of Material Measurement Methods. 2006
- Dieter, G. E. 1988. *Mechanical Metallurgy*. Singapore : McGraw-Hill.
- Eagar, T. W. 1993. The ASM Handbook, *Welding, Brazing, and Soldering, Energy Sources Used for Fusion Welding*, Massachusetts Institute of Technology. Vol. 06.
- Elmer J.W., and Kautz, D.D., 1993. The ASM Handbook, *Welding, Brazing, and Soldering, Fundamentals of Friction Welding*, Lawrence Livermore National Laboratory. Vol.6.
- Groenendijk, G. Material Testing. Binacipta. Jakarta:1984.
- Heine, R. W., Loper, C. R., Rosenthal, P. C. 1976. Principles of Metal Casting. New York : McGraw-Hill.
- Irawan, Y. S, Wirohardjo, M, dan Ma'arif, M. S 2012. *Tensile Strength of Weld Joint Produced by Spinning Friction Welding of Round Aluminum A6061 with Various Chamfer Angles*. *Advance Material Research Vol. 576*, pp. 761-765.
- Iswar, M & Syam, R. 2012. Pengaruh Variasi Parameter Pengelasan (Putaran dan Temperatur) Terhadap Kekuatan Sambungan Las Hasil Friction Welding Pada Baja Karbon Rendah. Makassar : Jurnal Mekanikal. Vol.X.X, pp 254-260.
- Lin, C. B. Lin, C. K. Mu, W. W. Wu and C. H. Hung. 1999. *The Effect Of Joint Design and Volume Fraction On Friction Welding Properties Of A360/Sic (P) Composites*. *Welding Research Supplement*. Department Of Mechanical Engineering. Tamkang University. Taiwan.

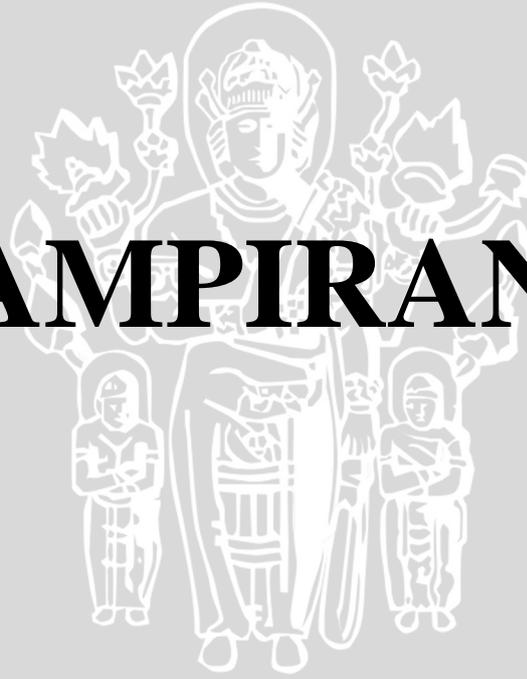


- Maalekian. 2007. Friction welding – critical assessment of literature Institute of Materials, Minerals and Mining. Published by Maney on behalf of the Institute. Vol. 12
- Sahin, M. 2008. *Characterization of Properties in Plastically Deformed Austenitic Steels Joined by Friction Welding*. Mechanical Engineering Department, Engineering and Architecture Faculty, Trakya University, 22180 Edirne. Turkey, pp. 135-144.
- Sahin, M. & Misirli, C. 2007. *Mechanical and Metalurgical Properties of Friction Welded Aluminium Joints. Aluminium Alloys - New Trends in Fabrication and Applications*. Department of Mechanical Engineering., Trakya University, Turkey, pp. 277-300.
- Santoso, E. B, Irawan, Y. S dan Sutikno, E. 2012. Pengaruh Sudut *Chamfer* dan Gaya Tekan Akhir Terhadap Kekuatan Tarik Dan Porositas Sambungan Las Gesek Pada Paduan Al – Mg – Si. Malang : Jurnal Rekayasa Mesin. Vol.03.01, pp 293-298.
- Sathiya, P., Aravindan, S. dan Haq, A.N. 2007. Effect of Friction Welding Parameters on Mechanical and Metallurgical Properties of Ferritic Stainless Steel. London : Springer-Verlag London Limited
- Tsang, S. 1993. The ASM Handbook, *Welding, Brazing, and Soldering*. Friction Welding, EG&G Rocky Flats. Vol.6.
- Wirjosumarto, H. dan Okumura, T. 1994. *Teknik Pengelasan Logam*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- <http://www.mtiwelding.com> (diakses 25 Januari 2016)



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

# LAMPIRAN



Lampiran 1.



The Learning University

**LABORATORIUM STRUKTUR**  
**JURUSAN TEKNIK SIPIL**  
**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS NEGERI MALANG**  
Gedung D9 Lt 2 Kampus UM Jl. Semarang No. 5 Malang Telp/Fax: (0341) 587 082 Ext. 2051

**SURAT KETERANGAN**

No. 06C.11.2015

Yang bertandatangan di bawah ini Kepala Laboratorium Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang, menerangkan bahwa,

Nama : ADIB AFRIANSYAH

NIM : 115060201111012

Instansi : Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

Telah melakukan pengujian tarik Aluminium (Al-Mg-Si) sebanyak 39 benda uji pada tanggal 06 Nopember 2015 di Laboratorium Struktur-Teknik Sipil-FT-UM.

Demikian keterangan ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Malang, 06 Nopember 2015  
Kepala Laboratorium  
Teknik Sipil-FT-UM



**Drs. EkoSuwarno, M.Pd**  
NIP. 19650216 199001 1001



Lampiran 2.



**LABORATORIUM STRUKTUR**  
**JURUSAN TEKNIK SIPIL**  
**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS NEGERI MALANG**  
 Gedung D9 Lt 2 Kampus UM Jl. Semarang No. 5 Malang Telp/Fax: (0341) 587 082 Ext. 2051

The Learning University

Sudut	Friction Time (detik)	F max (N)	D (mm)	Kekuatan Tarik Max (N/mm <sup>2</sup> )	Kekuatan Tarik Max Rata-rata (N/mm <sup>2</sup> )
0°	45	14471	12.9	110.676	128.601
		16587	13	124.915	
		19946	13	150.211	
	50	13370	12.9	102.255	114.370
		17618	13	132.679	
		14254	12.95	108.176	
	55	12644	12.95	95.957	103.472
		15524	13	116.910	
		12953	13	97.5481	
11.5°	45	23966	13.05	179.105	182.801
		23532	13	177.217	
		25702	13.05	192.079	
	50	15285	12.9	116.901	127.895
		19571	13.05	146.260	
		15881	12.95	120.524	
	55	19361	12.95	146.934	132.287
		15107	13	113.769	
		18219	13.05	136.156	
15°	45	21228	13.05	158.643	177.189
		25028	13	188.484	
		24303	12.95	184.440	
	50	16893	12.95	128.204	134.505
		17667	13	133.049	
		19036	13.05	142.262	
	55	14417	13.05	107.743	123.776
		16315	13	122.867	
		18974	13.1	140.718	
30°	45	19578	13.1	145.198	129.413
		13272	12.9	101.506	
		18939	13.05	141.537	
	50	12087	13	91.0263	105.109
		15096	13	113.686	
		14688	13	110.614	
	55	12016	12.9	91.9000	95.943
		14311	13	107.775	
		11616	12.95	88.1561	



Lampiran 3.



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 : 001/PT.13.FT.6.MI/2016

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

Nama : Adib Afriansyah  
Nim. : 115060201111012-62  
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 07 Desember 2015 dengan judul skripsi :

" Pengaruh Variasi Sudut Chamfer dan Waktu Gesekan dengan Gaya Tekan Akhir 500 kgf terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Las Al-Mg-Si."

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



Malang, 05 Januari 2016  
Lab. Pengujian Bahan

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



Lampiran 4.



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 : Adib Afriansyah  
Nim. : 115060201111012-62  
Jurusan : S-1 Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang  
Tanggal Pengujian : 07 Desember 2015

Spesimen dengan gaya tekan akhir 500 kgf

Tertinggi 11,5; 45 detik	Mutar	151,40	198,60	193,80
		136,00	198,60	186,90
		129,70	189,20	211,30
	Diam	147,10	186,20	
		140,20	203,50	
		136,40	194,60	
Terendah 0; 55 detik	Mutar	127,70	157,30	186,20
		129,50	158,60	184,70
		120,60	154,10	162,20
	Diam	126,80	157,70	
		121,60	151,00	
		126,00	155,80	



Malang, 05 Januari 2016

Lab. Pengujian Bahan

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



Lampiran 5.

Foto Spesimen Hasil Las



Foto Spesimen Uji Tarik

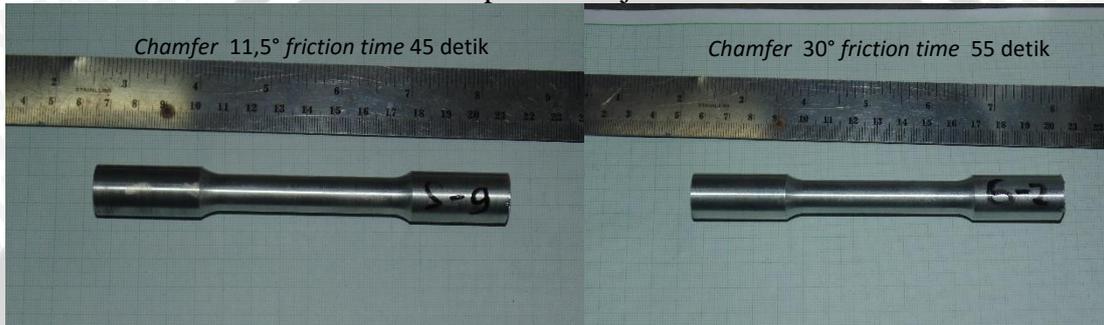


Foto Patahan Spesimen

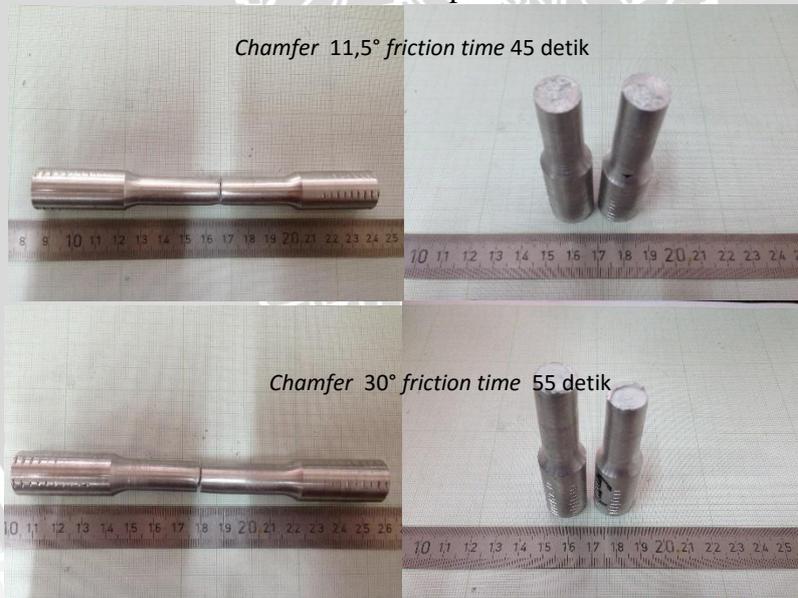
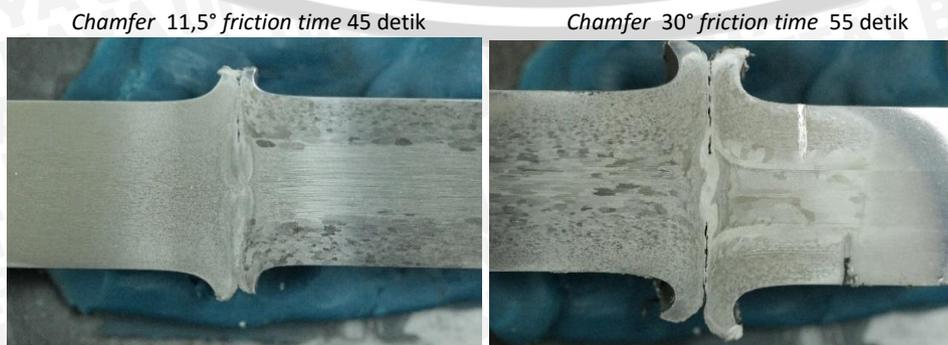


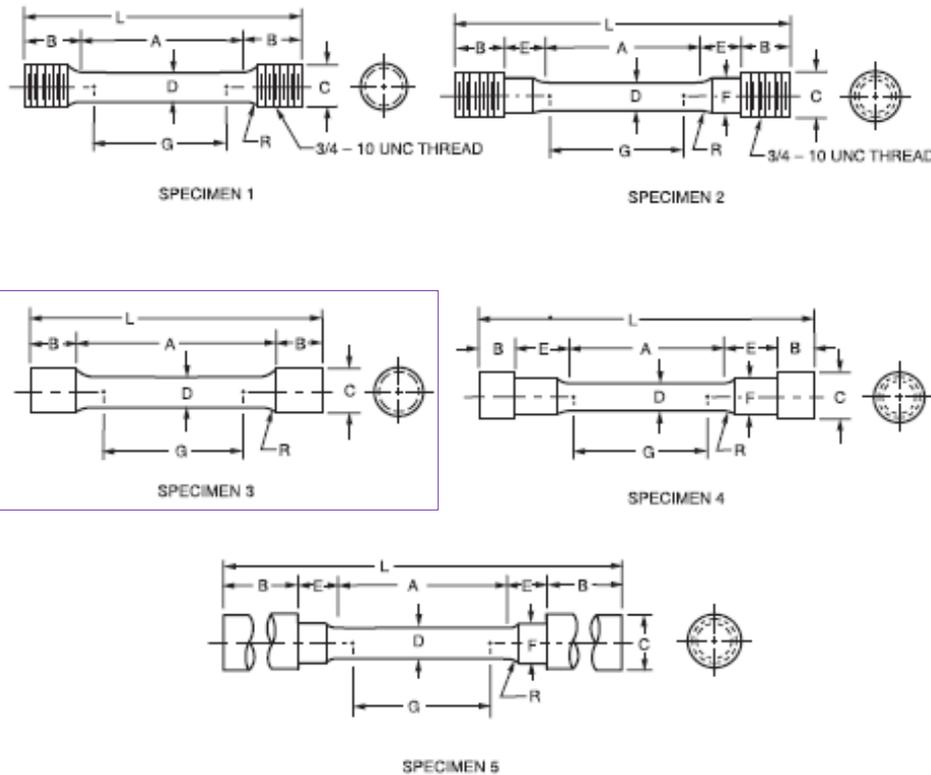
Foto Makrostruktur Spesimen



## Lampiran 6.

CLAUSE 4. TENSION TESTS

AWS 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 (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 7.

# Calibration Certificate



SNI ISO/IEC 17025:2008  
(ISO/IEC 17025:2005)



www.easternproengineering.com  
e-mail : service@easternproengineering.com

Certificate Number  
4796.EPE.10.14

Order Number : 500.14.227  
Received Date : October 02, 2014

Company Name : Lab. Stuktur Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang  
Address : Jl. Semarang No. 5 - Malang

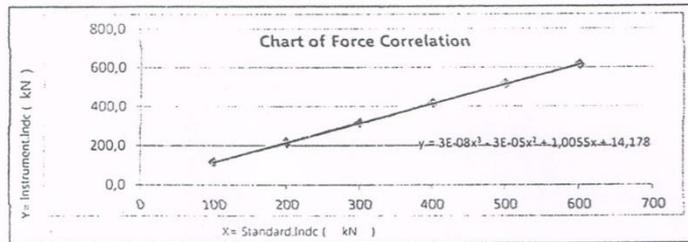
Equipment Name : Universal testing Machine  
Manufacture : Kai Wei  
Type / Model : -  
Serial Number : 068  
Capacity : 1000 kN  
Resolution : 0,1 kN

Environment Condition of Calibration  
Temperature : 25 ± 2 °C  
Humidity : 54 ± 5 %  
Reference : SMM-WI-F-01  
Calibration Date : October 02, 2014  
Calibration Location : Lab. Stuktur Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Universitas  
Negeri Malang

**Calibration Report**

Standard Indication	Indication		Correction		Error	
	Before Adjusting	After Adjusting	Before Adjusting	After Adjusting	Before Adjusting	After Adjusting
kN	kN	kN	kN	kN	PA	%
0	13,2	-	-13,2	-	0,0	-
100	114,5	-	-14,5	-	-14,5	-
200	214,4	-	-14,4	-	-7,2	-
300	314,4	-	-14,4	-	-4,8	-
400	413,9	-	-13,9	-	-3,5	-
500	514,2	-	-14,2	-	-2,8	-
600	614,6	-	-14,6	-	-2,4	-
700	715,6	-	-15,6	-	-2,2	-
Uncertainty 95% ± : 0,96 %						

The Uncertainty is taken at a Confidence Level 95 % and Coverage Factor ( k ) = 2



**Calibrator used**

Calibrator Name 1. Loadcell	Manufacture ELE	Type LI-SWI	Serial Number -	Traceable to SI Through LK - 013 - IDN
--------------------------------	--------------------	----------------	--------------------	---

Calibrated By

*(Signature)*  
Asih M. N. E.  
Technician

Date of Issued  
October 08, 2014

*(Signature)*  
Ir. Sukiswanto  
Director

-End of Certificate-

This certificate applies only for the item specified above  
It is prohibited to quote/reproduce and/or publish part of this certificate without written permission from PT. EASTERN PRO ENGINEERING  
This certificate is valid when sealed by PT. EASTERN PRO ENGINEERING

Kawasan Wangsa Niaga Wetan No. 27 Kota Baru Parahyangan - Bandung Barat



Lampiran 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
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.530	0.338	0.231	0.125	0.799	0.0489	0.0373	0.0250
2	0.529	0.344	0.229	0.129	0.798	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	0.00035	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	0.00008	0.00062	< 0.00030	0.00056	97.8			
2	0.00006	0.00067	< 0.00030	0.00063	97.8			
3	0.00008	0.00048	< 0.00030	0.00068	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	0.380	0.231	0.124	0.793	0.0486	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			

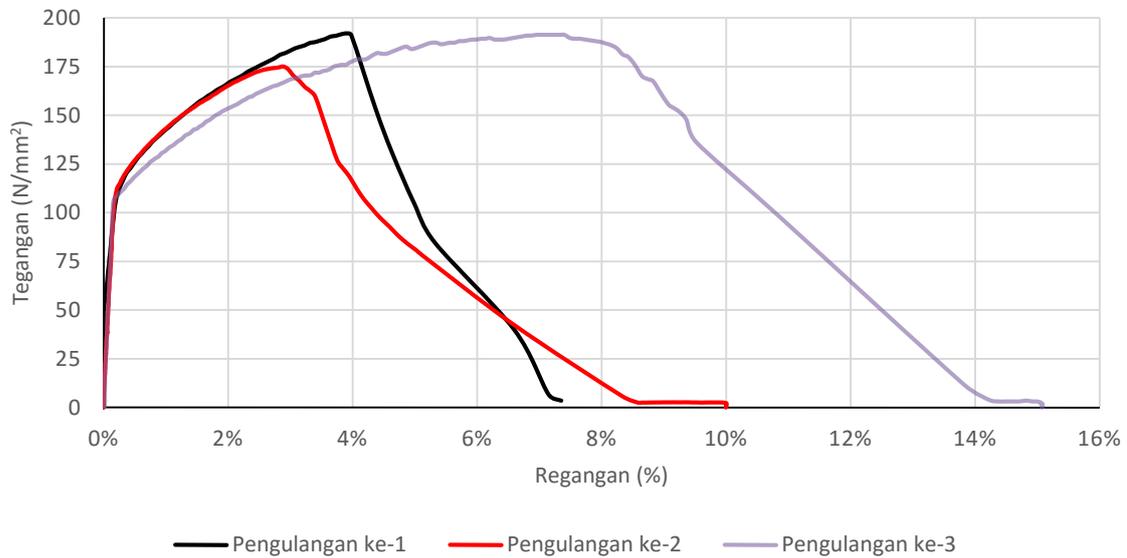
- 1 -

18/09 2015  
 LABORAT  
 Jeffrey  
 (M. Jeffrey)

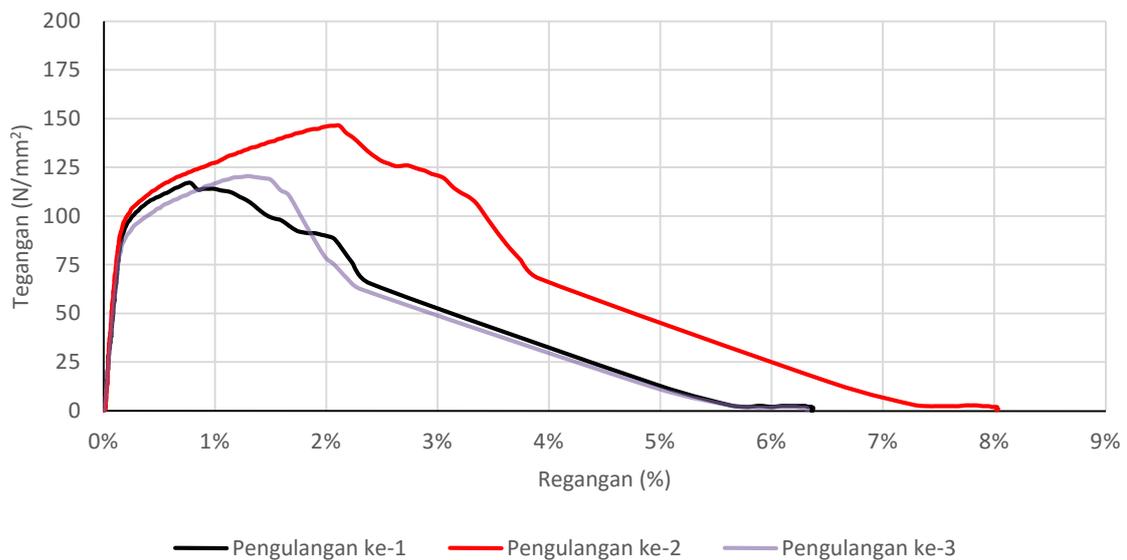


Lampiran 9.

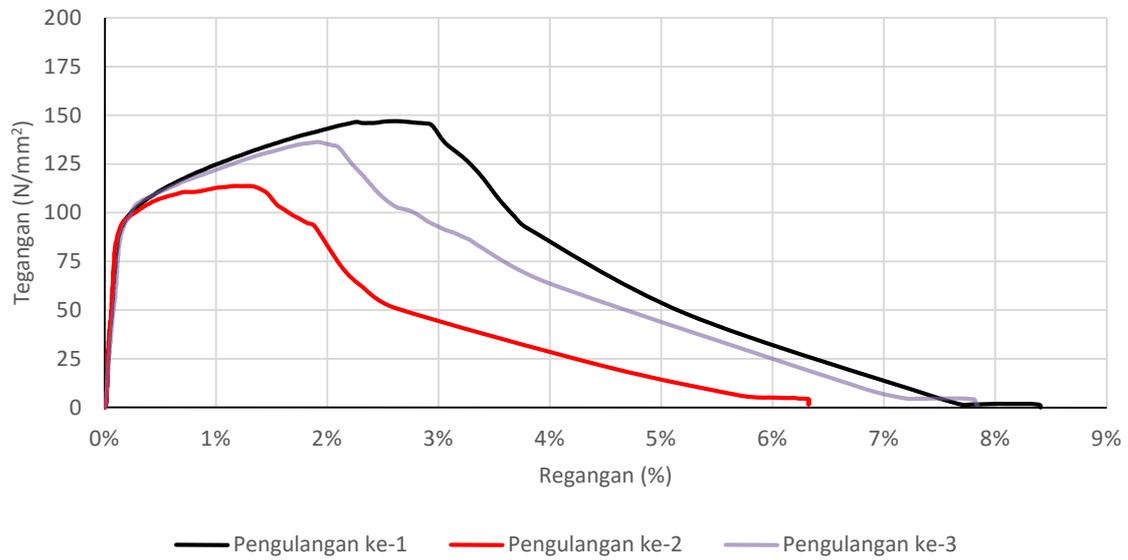
Grafik Tegangan-Regangan Variasi Sudut  
*Chamfer 11,5° friction time 45 detik*



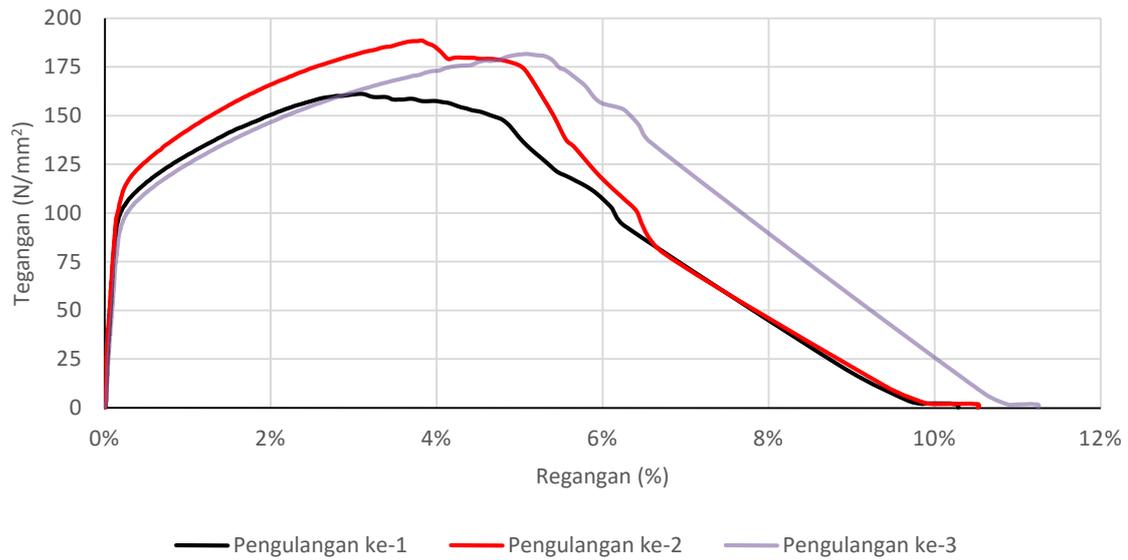
Grafik Tegangan-Regangan Variasi Sudut  
*Chamfer 11,5° friction time 50 detik*



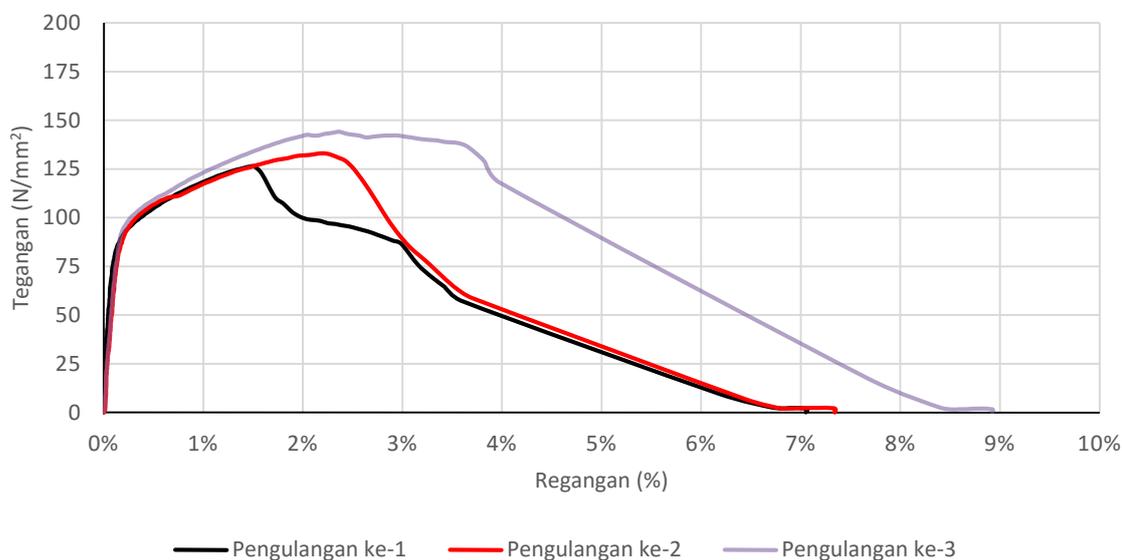
Grafik Tegangan-Regangan Variasi Sudut  
*Chamfer 11,5° friction time 55 detik*



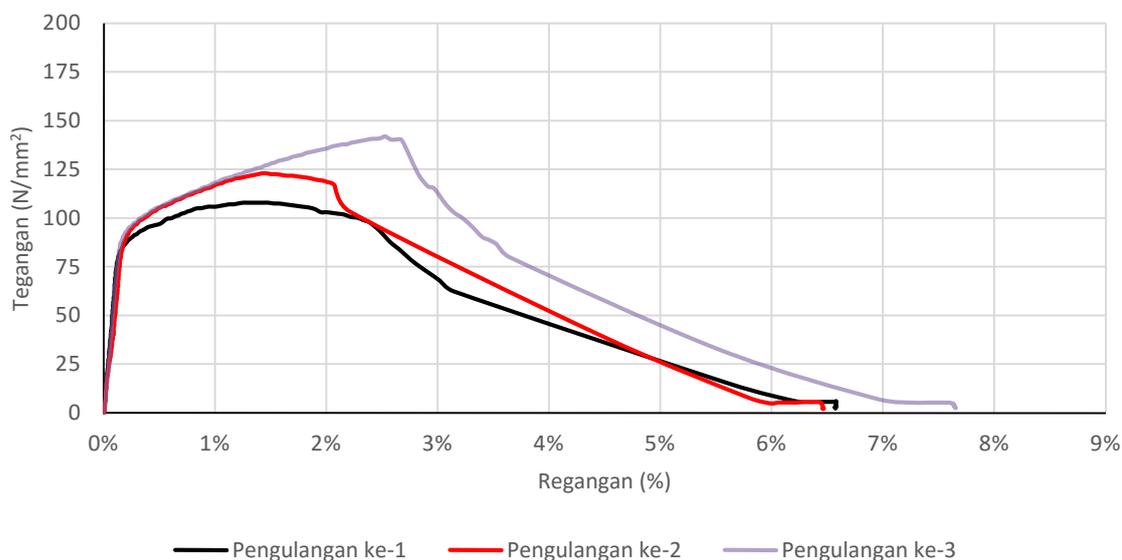
Grafik Tegangan-Regangan Variasi Sudut  
*Chamfer 15° friction time 45 detik*



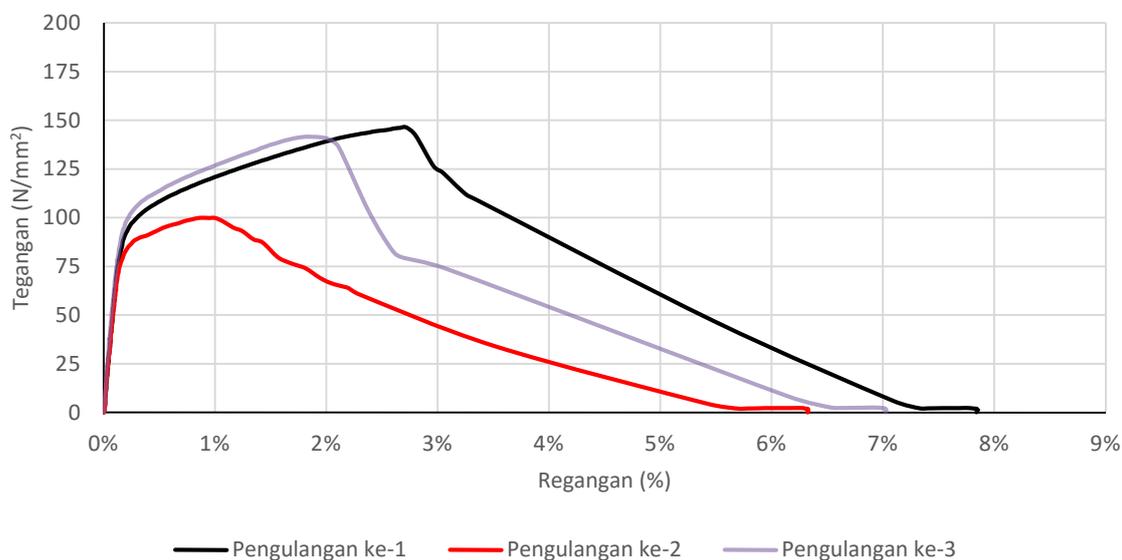
Grafik Tegangan-Regangan Variasi Sudut  
*Chamfer 15° friction time 50 detik*



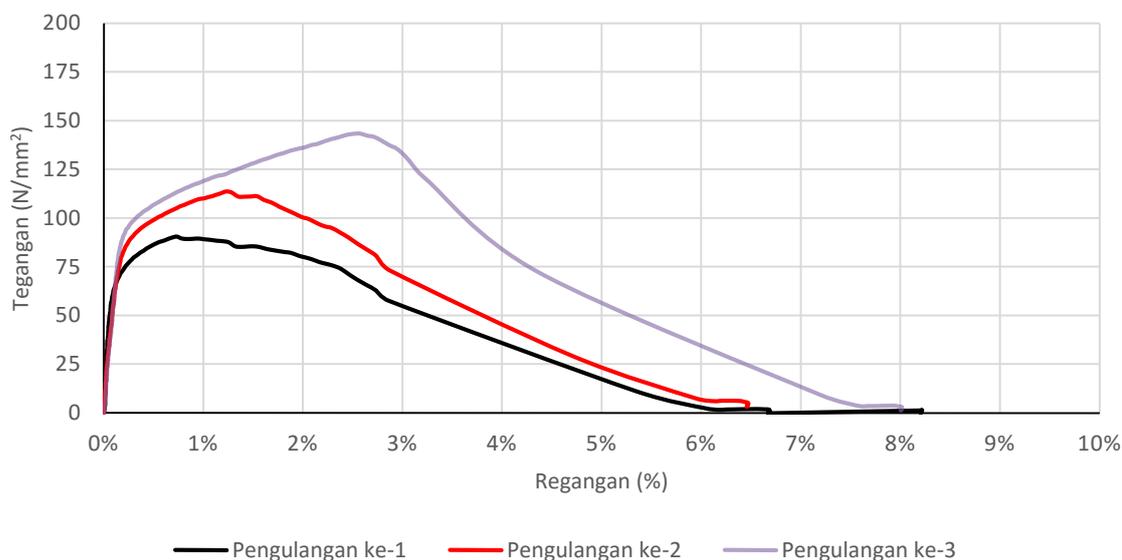
Grafik Tegangan-Regangan Variasi Sudut  
*Chamfer 15° friction time 55 detik*



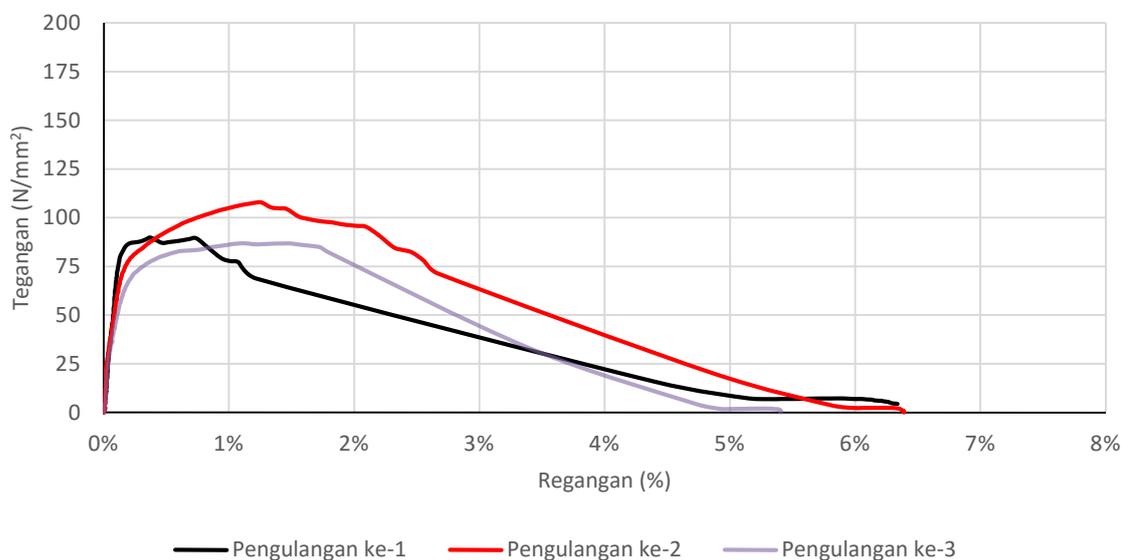
Grafik Tegangan-Regangan Variasi Sudut  
*Chamfer 30° friction time 45 detik*



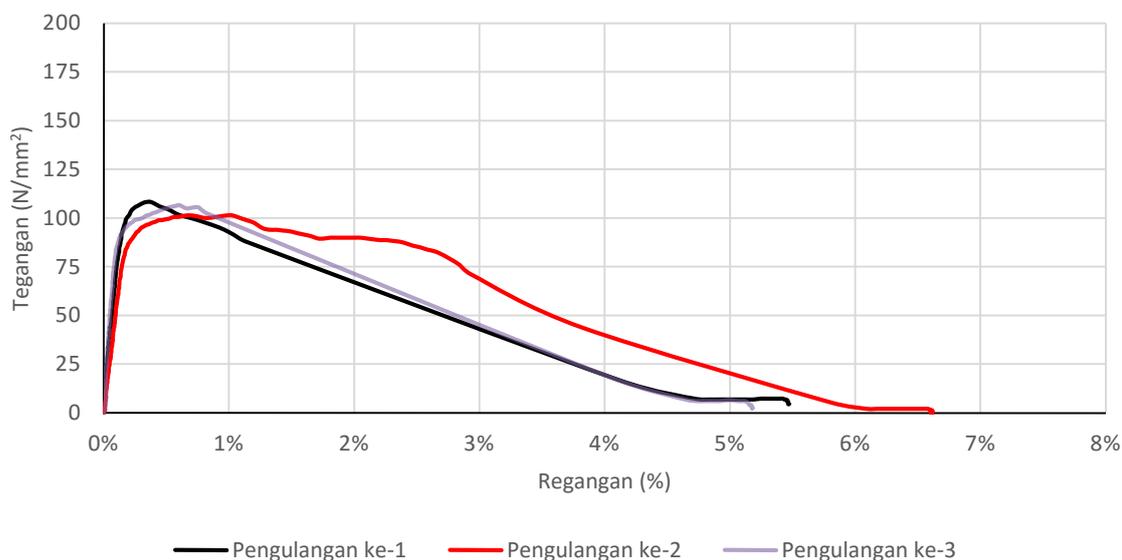
Grafik Tegangan-Regangan Variasi Sudut  
*Chamfer 30° friction time 50 detik*



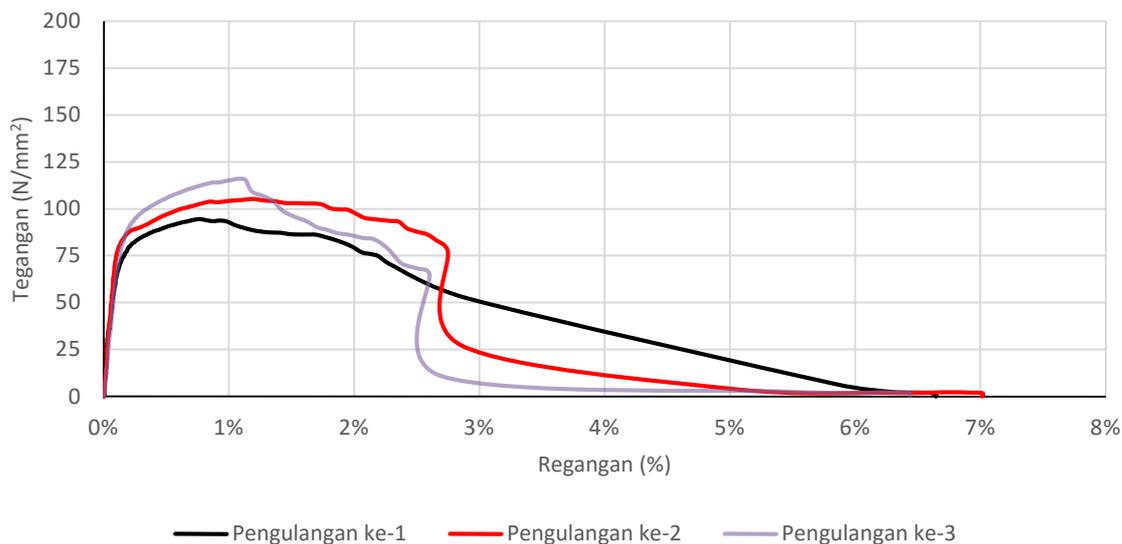
Grafik Tegangan-Regangan Variasi Sudut  
*Chamfer 30° friction time 55 detik*



Grafik Tegangan-Regangan Variasi Sudut  
*Chamfer 0° friction time 45 detik*



Grafik Tegangan-Regangan Variasi Sudut  
*Chamfer 0° friction time 50 detik*



Grafik Tegangan-Regangan Variasi Sudut  
*Chamfer 0° friction time 55 detik*

