

**PENGARUH SUDUT CHAMFER DAN KEKASARAN PERMUKAAN TERHADAP
KEKUATAN TARIK SAMBUNGAN LAS GESEK Al-Mg-Si**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

**BUSTANUL IMAWAN
NIM. 105060207111020-62**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2015**

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH SUDUT *CHAMFER* DAN KEKASARAN PERMUKAAN TERHADAP
KEKUATAN TARIK SAMBUNGAN LAS GESEK Al-Mg-Si**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

BUSTANUL IMAWAN
NIM. 105060207111020-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

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

Prof. Dr. Ir. Rudy Soenoko, M.Eng. Sc.
NIP. 19490911 198403 1 001

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH SUDUT *CHAMFER* DAN KEKASARAN PERMUKAAN TERHADAP KEKUATAN TARIK SAMBUNGAN LAS GESEK AL-MG-SI

SKRIPSI KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

BUSTANUL IMAWAN
NIM. 105060207111020-62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 08 Januari 2015

Majelis Penguji

Skripsi I

Skripsi II

Dr. Eng. Lilis Yulianti, ST.,MT.
NIP. 19750702 200003 2 001

Bayu Satriya Wardhana, ST.,M.Eng
NIP. 19841007 201212 1 001

Skripsi III

Prof. Ir. Sudjito, Ph.D
NIP. 19470330 198002 1 001

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1

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

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT. yang telah senantiasa melimpahkan rahmat, berkah dan karunia -Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul “ **Pengaruh Sudut *Chamfer* Dan Kekasaran Permukaan Terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Las Gesek Al-Mg-Si** ” dapat terselesaikan dengan baik.

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

1. Bapak dan ibuku, Sunarsis dan Niniek Wuryani, serta seluruh anggota keluarga yang telah memberikan banyak dukungan baik berupa doa, semangat, materi dan nasehat hingga terselesaikannya penulisan tugas akhir ini.
2. Bapak Dr.Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
3. Bapak Purnami, ST., MT. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
4. Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, MSc. Selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Produksi Jurusan Mesin Fakultas teknik Universitas Brawijaya.
5. Bapak Dr.Eng. Yudy Surya Irawan, ST., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan segala bimbingan, nasehat, pengarahan, motivasi, dan masukan yang telah diberikan.
6. Bapak Prof. Dr., Ir. Rudy Soenoko, M.Eng. Sc. selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan segala bimbingan, nasehat, pengarahan, motivasi, dan masukan yang telah diberikan.
7. Seluruh Dosen dan Karyawan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang yang bersedia berbagi ilmunya.
8. Teman-teman Jurusan Mesin, khususnya keluarga besar IMMORTAL (M10) khususnya Alfian, Dayat, Amir dan Rama yang telah membagi ilmunya dan banyak membantu pelaksanaan penelitian dan seminar, hingga terselesaikannya laporan tugas akhir ini.
9. Teman-teman Kontrakan Angga, Kopling, dan Bashofi yang selalu menghibur dan memberikan keceriaan kepada penulis.

Akhir kata, semoga Tuhan Yang Maha Esa senantiasa melimpahkan karunia-Nya dan membalas segala amal serta kebaikan pihak-pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan laporan ini dan semoga tulisan ini dapat memberikan manfaat bagi pihak-pihak yang membutuhkan dan dapat menjadi bahan acuan untuk penelitian lebih lanjut.

Malang, Januari 2015

Penulis



DAFTAR ISI

PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
RINGKASAN	viii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya	4
2.2 Aluminium dan paduannya	4
2.3 Pengaruh Unsur Paduan	6
2.4 Sifat Mampu Las Aluminium	7
2.5 Paduan Al-Mg-Si	8
2.6 Pengelasan	10
2.7 Las Gesek (<i>friction welding</i>)	11
2.7.1 Sifat - sifat Pada Aluminium	11
2.7.2 <i>Friction Stir Welding</i>	11
2.7.3 <i>Kelebihan Friction Welding</i>	12
2.7.4 Aplikasi Las Gesek	12
2.8 <i>Heat Input</i>	13
2.9 Pengujian Tarik.....	15
2.10 Daerah <i>Heat Affected Zone</i> (HAZ)	16
2.11 Hipotesa	17

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Variabel Penelitian.....	18
3.1.1 Variabel Bebas	18

iv

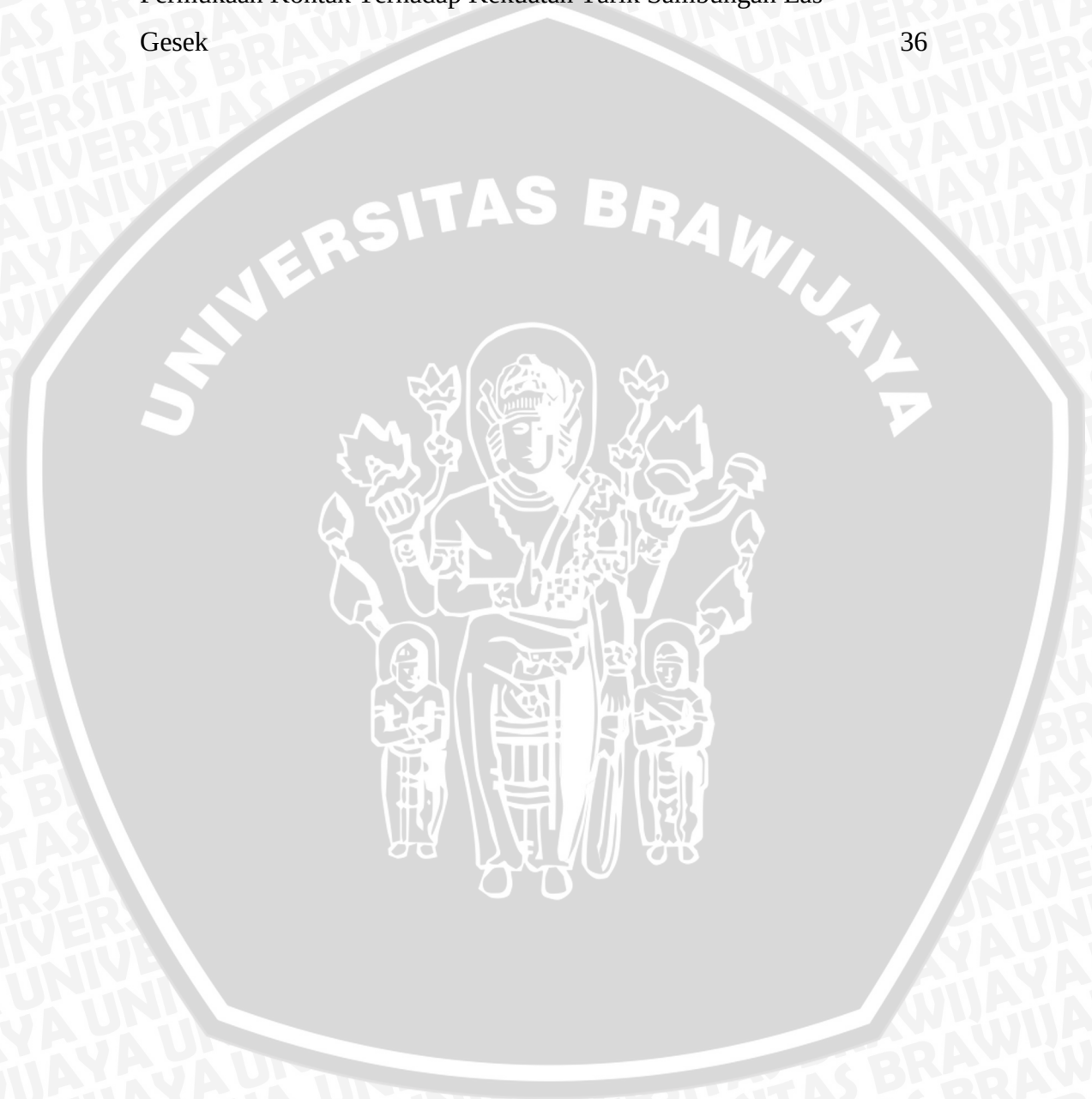
DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Sifat Aluminium Paduan Al-Mg-Si	9
Tabel 3.1	Komposisi Kimia Paduan Al-Mg-Si	19
Tabel 3.2	Komposisi Kimia Paduan Al – Mg – Si Hasil Pengujian Komposisi	19
Tabel 3.3	Tingkat Kekasaran Permukaan Ra	21
Tabel 4.1	Data Hasil Pengujian Kekuatan Tarik Kekasaran 1,0667 μm	24
Tabel 4.2	Data Hasil Pengujian Kekuatan Tarik Kekasaran 0,9 μm	24
Tabel 4.3	Data Hasil Pengujian Kekuatan Tarik Kekasaran 0,697 μm	25
Tabel 4.4	Data Hasil Perhitungan Diameter Butir Dengan Metode Planimetri	29
Tabel 4.5	Data Hasil Pengujian Kekerasan (VHN) Spesimen Sudut <i>Chamfer</i> 0° Dan Kekasaran Permukaan 1,0667 μm	30
Tabel 4.6	Luas daerah <i>zona fully plasticide (Zpl)</i> , <i>Zona Partly Deformed (Zpd)</i>	32
Tabel 4.7	Data Hasil Perhitungan Diameter Butir Dengan Metode Planimetri	34
Tabel 4.8	Data Hasil Pengujian Kekerasan (VHN) Spesimen Sudut <i>Chamfer</i> 0° Dan Kekasaran Permukaan 0,697 μm	35

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Diagram Fase Magnesium-Silikon Pada Aluminium Paduan	9
Gambar 2.2	Klasifikasi Cara Pengelasan	10
Gambar 2.3	Skema <i>Friction Welding</i>	11
Gambar 2.4	<i>Friction Stir Welding</i>	12
Gambar 2.5	Aplikasi Las Gesek, 1. <i>Engine Valves</i> 2. <i>Transmission Part</i> 3. <i>Chain Drive Sprocket</i>	13
Gambar 2.6	<i>Modelling Of Friction Welding</i>	14
Gambar 2.6	Kurva Tegangan-Regangan	15
Gambar 2.7	<i>Fully Plasticized Region (Zpl) Partly Deformed Region (Zpd)</i> Dan <i>Undeformed Region (Zud)</i> Alat Uji Puntir	17
Gambar 3.1	Dimensi Benda Kerja	20
Gambar 3.2	Skema Alat Pengelasan Gesek	20
Gambar 3.3	Dimensi Benda Kerja Uji Tarik	21
Gambar 3.4	Diagram Alir Penelitian	23
Gambar 4.1	Grafik Hubungan Antara Sudut <i>Chamfer</i> Dengan Kekasaran Permukaan 1,0667 μm Terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Las Gesek	25
Gambar 4.2	Foto Makrostruktur Sudut <i>Chamfer</i> 0 ⁰ Kekasaran Permukaan 1,0667 μm	26
Gambar 4.3	Foto Makrostruktur Sudut <i>Chamfer</i> 15 ⁰ Kekasaran Permukaan 1,0667 μm	26
Gambar 4.4	Hasil Foto Mikrostruktur 500x Spesimen Dengan Sudut <i>Chamfer</i> 0 ⁰ dan Kekasaran Permukaan 1,0667 μm	28
Gambar 4.5	Hasil Foto Mikrostruktur 500x Spesimen Dengan Sudut <i>Chamfer</i> 15 ⁰ dan Kekasaran Permukaan 1,0667 μm	28
Gambar 4.6	Grafik Hubungan Antara Sudut <i>Chamfer</i> Dengan Kekasaran 0,697 μm Terhadap Kekuatan Tarik.	31
Gambar 4.7	Foto Makrostruktur Sudut <i>Chamfer</i> 0 ⁰ Kekasaran Permukaan 0,697 μm	32
Gambar 4.8	Foto Makrostruktur Sudut <i>Chamfer</i> 15 ⁰ Kekasaran Permukaan 0,697 μm	32

Gambar 4.9 Hasil Foto Mikrostruktur 500x Spesimen Dengan Sudut <i>Chamfer</i> 0° dan Kekasaran Permukaan 0,697 µm	33
Gambar 4.10 Hasil Foto Mikrostruktur 500x Spesimen Dengan Sudut <i>Chamfer</i> 0° dan Kekasaran Permukaan 0,697 µm	33
Gambar 4.11 Grafik Hubungan Antara Sudut <i>Chamfer</i> Dengan Kekasaran Permukaan Kontak Terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Las Gesek	36



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Grafik Tegangan-Regangan Sambungan Las Gesek Al-Mg-Si

Lampiran 2 Foto Benda Kerja

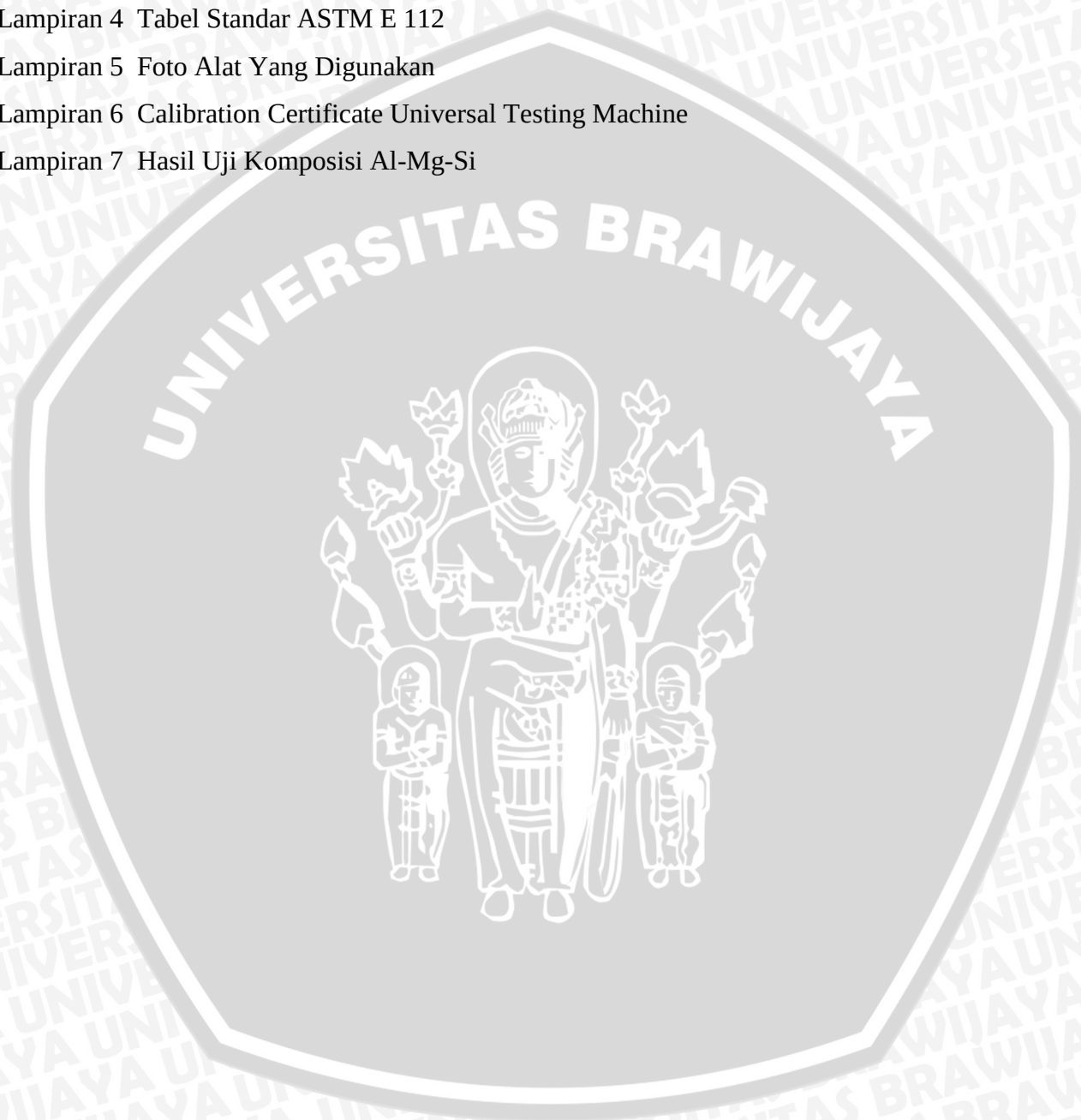
Lampiran 3 Perhitungan Jumlah Butir

Lampiran 4 Tabel Standar ASTM E 112

Lampiran 5 Foto Alat Yang Digunakan

Lampiran 6 Calibration Certificate Universal Testing Machine

Lampiran 7 Hasil Uji Komposisi Al-Mg-Si



RINGKASAN

Bustanul Imawan, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Desember 2014, pengaruh sudut *chamfer* dan kekasaran permukaan terhadap kekuatan tarik sambungan las gesek Al-Mg-Si, dosen Pembimbing : Yudy Surya Irawan dan Rudy Soenoko.

Pada masa kini teknik las telah dipergunakan secara luas di industri manufaktur. Dalam perkembangannya proses penyambungan dengan pengelasan pada aluminium masih ditemukan beberapa masalah. Hal ini disebabkan karena aluminium merupakan penghantar panas yang baik sehingga mengalami kesulitan untuk pemanasan daerah lasan saat dilakukan pengelasan dengan menggunakan las busur dan las gas. Pengelasan gesek (*friction welding*) merupakan salah satu solusi dari permasalahan dalam pengelasan aluminium. Pengelasan gesek merupakan proses penyambungan logam tanpa pencairan (*solid state process*), yang mana proses pengelasan terjadi sebagai akibat penggabungan antara laju putaran salah satu benda kerja dengan gaya tekan yang dilakukan oleh benda kerja yang berputar. Gesekan yang diakibatkan oleh pertemuan kedua benda kerja tersebut akan menghasilkan panas yang dapat melumerkan kedua ujung benda kerja yang bergesekan sehingga mampu melumerkan dan akhirnya terjadi proses penyambungan (Astrom, P, 2002).

Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui pengaruh sudut *chamfer* dan kekasaran permukaan terhadap kekuatan tarik sambungan las gesek dengan menggunakan material Al-Mg-Si. Dalam penelitian ini sudut *chamfer* yang digunakan adalah 0° , 15° , 30° , dan 45° dan variasi kekasaran permukaan kontak $1,06\text{ }\mu\text{m}$, $0,9\text{ }\mu\text{m}$, $0,69\text{ }\mu\text{m}$. Putaran *chuck* yang digunakan pada pengelasan 1600 rpm dengan diberi tekanan awal sebesar 123 kgf selama 2 menit. Setelah mencapai waktu penekanan 2 menit kemudian putaran dihentikan dan diberi gaya tekan akhir sebesar 157 kgf selama 2 menit.

Dari penelitian ini diperoleh kekuatan tarik tertinggi sebesar $173,489\text{ N/mm}^2$ pada variasi sudut *chamfer* 15° dengan kekasaran permukaan kontak $0,69\text{ }\mu\text{m}$, sedangkan kekuatan tarik terendah pada variasi sudut *chamfer* 0° dengan kekasaran permukaan kontak $1,06\text{ }\mu\text{m}$ sebesar $83,459\text{ N/mm}^2$.

Kata kunci : kekuatan tarik, las gesek, sudut *chamfer*, kekasaran permukaan, dan Al-Mg-Si.

SUMMARY

Bustanul Imawan, Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering, Universitas Brawijaya, December 2014, *The Effect Chamfer Angle And Surface Roughness On Friction Welded Joint Tensile Strength Of Al-Mg-Si*, Supervisor: Yudy Surya Irawan and Rudy Soenoko.

Today welding techniques have been widely used in industrial manufacturing. In the development process of switching the welding on aluminum still found some problems. This is because aluminum is a good conductor of heat so it difficult to warm up the weld area when the welding is done by using arc welding and gas welding. friction welding is one of the solutions of the problems in welding aluminum. Friction welding is a process of joining metals without melting (solid state process), in which the welding process occurs as a result of merging between the rate of rotation of the workpiece with a compressive force that is done by rotating the workpiece. Friction caused by the second meeting of the workpiece will produce heat that can melt both ends of the workpiece to rub so as to melt and finally a process of grafting (Astrom, P, 2002).

This study aimed to determine the effect chamfer angle and surface roughness on friction welded joint tensile strength by using the material of Al-Mg-Si. In this study used chamfer angle is 0° , 15° , 30° , and 45° and the contact surface roughness variations $1,06\text{ }\mu\text{m}$, $0,9\text{ }\mu\text{m}$, $0,69\text{ }\mu\text{m}$. Rotation of Chuck used in welding 1600 rpm with a given initial pressure of 123 kgf for 2 minutes. After reaching the friction time 2 minutes later rounds stopped and given a final compression force of 157 kgf for 2 minutes.

From this research, the highest tensile strength of 173.489 N/mm^2 at 15° chamfer angle variation with the contact surface roughness $0.69\text{ }\mu\text{m}$, while the lowest tensile strength of the variation chamfer angle 0° with the contact surface roughness of $1.06\text{ }\mu\text{m}$ of 83.459 N/mm^2 .

Keywords: tensile strength, friction welding, chamfer angle, surface roughness and Al-Mg-Si

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada masa kini teknik las telah dipergunakan secara luas di industri manufaktur. Dalam perkembangannya proses penyambungan dengan pengelasan pada aluminium masih ditemukan beberapa masalah. Hal ini disebabkan karena aluminium merupakan penghantar panas yang baik sehingga mengalami kesulitan untuk pemanasan daerah lasan saat dilakukan pengelasan dengan menggunakan las busur dan las gas.

Pengelasan gesek (*friction welding*) merupakan solusi dari permasalahan dalam pengelasan aluminium. Pengelasan gesek merupakan proses penyambungan logam tanpa pencairan (*solid state process*), yang mana proses pengelasan terjadi sebagai akibat penggabungan antara laju putaran salah satu benda kerja dengan gaya tekan yang dilakukan oleh benda kerja yang berputar. Gesekan yang diakibatkan oleh pertemuan kedua benda kerja tersebut akan menghasilkan panas yang dapat melumerkan kedua ujung benda kerja yang bergesekan sehingga mampu melumerkan dan akhirnya terjadi proses penyambungan (Astrom, *et. al.* 2006).

Pada pengelasan gesek mengalami empat perubahan fase yaitu, *phase solid*, *phase transisi*, *phase steady*, dan *phase pendinginan*. Gesekan mulai terjadi pada phase solid dimana panas akan mulai timbul akibat gesekan kedua material dan mengalami peningkatan panas sejalan dengan kecepatan putar dan tekanan yang diberikan (Santoso, 2012).

Beberapa keuntungan dari *friction welding* ini adalah penghematan material, memerlukan waktu yang cepat untuk penyambungan dua material yang sama maupun berbeda. *Friction welding* juga dapat menyambung material yang bulat maupun tidak bulat. Adapun parameter penting dalam proses pengelasan gesek (*friction welding*) meliputi *friction time*, *rotational speed*, dan *friction pressure*.

Santoso *et. al.* (2012), meneliti tentang pengelasan gesek aluminium paduan Al-Mg-Si. Dari hasil penelitiannya didapatkan 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 dan porositas menurun dengan semakin bertambahnya sudut *chamfer* dan gaya tekan akhir. Pada penelitiannya variasi sudut *chamfer* yang digunakan adalah 15°, 30°, 45°, 60°, dan 75°. Besar gaya tekan akhir yang digunakan adalah 157 kgf, 185 kgf, dan 213 kgf. Spesimen dengan sudut *chamfer* 15° dan gaya tekan akhir 213 kgf memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 140,45 Mpa. Spesimen dengan sudut

chamfer 75° dengan gaya tekan akhir 213 kgf memiliki porositas yang kecil yaitu 0,21%. Sedang parameter sudut *chamfer* dan kekasaran permukaan terhadap kekuatan tarik sambungan las gesek Al-Mg-Si belum diteliti.

Irawan *et. al.* (2012), meneliti tentang pengaruh sudut *chamfer* terhadap kekuatan tarik pada sambungan pengelasan gesek aluminium paduan Al-Mg-Si. dari hasil penelitiannya didapatkan bahwa kekuatan tarik aluminium paduan Al-Mg-Si dengan variasi sudut 15°, 30°, 45°, 60°, dan 75° dan penekanan 123 kgf dan gaya tekan ahkhir 157 kgf dengan waktu penekanan 2 menit didapat nilai kekuatan tarik terbesar pada sudut 30° dan hasil mikrostruktur kekuatan tinggi pada spesimen ini disebabkan oleh luas maksimum zona plastis, porositas minimum dan luas minimum zona yang terkena dampak panas.

Sathiya, *et. al.* (2006), melakukan pengelasan gesek terhadap *ferritic stainless steel* dengan komposisi dan dimensi yang sama tanpa menggunakan sudut *chamfer*. Dari hasil penelitiann didapatkan bahwa kekuatan tarik akan menurun seiring dengan bertambahnya *friction time*.

Dalam penelitian ini digunakan material aluminium paduan Al-Mg-Si yang memiliki ketahanan korosi dan sifat mampu las yang baik. Dari penelitian diatas masih belum diketahui pengaruh variasi kekasaran permukaan terhadap kekuatan tarik sambungan las gesek. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian tentang bagaimana pengaruh variasi sudut *chamfer* dan kekasaran permukaan untuk menghasilkan kekuatan tarik sambungan las gesek yang baik pada paduan Al-Mg-Si.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan dapat dirumuskan permasalahan yang akan diteliti, yaitu: bagaimana pengaruh sudut *chamfer* dan kekasaran permukaan terhadap kekuatan tarik sambungan las gesek Al-Mg-Si.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu tidak membahas distribusi temperatur pada proses pengelasan gesek.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh sudut *chamfer* dan kekasaran permukaan terhadap kekuatan tarik sambungan las gesek Al-Mg-Si.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

1. Sebagai tambahan pengetahuan untuk mahasiswa dan peneliti mengenai pengaruh sudut *chamfer* dan kekasaran permukaan terhadap kekuatan tarik sambungan las gesek Al-Mg-Si.
2. Membantu memecahkan permasalahan-permasalahan yang sering dihadapi pada pengelasan aluminium.
3. Dapat digunakan sebagai referensi awal untuk pengembangan penelitian lebih lanjut terutama tentang teknologi pengelasan gesek.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Santoso, *et. al.* (2012), meneliti tentang pengelasan gesek aluminium paduan Al-Mg-Si. Dari hasil penelitiannya didapatkan 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 dan porositas menurun dengan semakin bertambahnya sudut *chamfer* dan gaya tekan akhir. Pada penelitiannya variasi sudut *chamfer* yang digunakan adalah 15°, 30°, 45°, 60°, dan 75°. Besar gaya tekan akhir yang digunakan adalah 157 kgf, 185 kgf, dan 213 kgf. Spesimen dengan sudut *chamfer* 15° dan gaya tekan akhir 213 kgf memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 140,45 Mpa. Spesimen dengan sudut *chamfer* 75° dengan gaya tekan akhir 213 kgf memiliki porositas yang kecil yaitu 0,21%.

Irawan, *et. al.* (2012), dalam penelitiannya melakukan pengelasan gesek pada aluminium paduan Al-Mg-Si. Dari hasil penelitiannya didapatkan bahwa kekuatan tarik aluminium paduan Al-Mg-Si dengan variasi sudut 15°, 30°, 45°, 60°, dan 75° dan penekanan 123 kgf dan gaya tekan akhir 157 kgf dengan waktu peekan 2 menit didapat nilai kekuatan tarik terbesar pada sudut 30° dan hasil mikrostruktur kekuatan tertinggi pada spesimen ini disebabkan oleh luas maksimum zona plastis, porositas minimum dan luas minimum zona yang terkena dampak panas.

Sathiya, *et. al.* 2006), melakukan pengelasan gesek terhadap *ferritic stainless steel* dengan komposisi dan dimensi yang sama tanpa menggunakan sudut *chamfer*. Dari hasil penelitiann didapatkan bahwa kekuatan tarik akan menurun seiring dengan bertambahnya *friction time*.

2.2 Aluminium dan Paduannya

Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik dan sifat – sifat baik lainnya sebagai sifat logam. Adanya penambahan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, dan sebagainya akan meningkatkan kekuatan mekanik aluminium (Surdia, 1999 : 129). Paduan aluminium diklasifikasikan dalam berbagai standar oleh berbagai negara di dunia. Saat ini klasifikasi yang sangat terkenal adalah standar *Aluminium Association* di Amerika (AA) yang didasarkan atas standar terdahulu dari Alcoa (*Aluminium Company of America*). Paduan tempaan dinyatakan dengan satu angka atau dua

angka “S”, sedangkan paduan coran dinyatakan dengan tiga angka “S”. Standard AA menggunakan penandaan dengan empat angka sebagai berikut:

1. Angka pertama menyatakan sistem paduan dengan unsur-unsur yang dipadukan atau ditambahkan (1:Al murni; 2:Al-Cu; 3:Al-Mn; 4:Al-Si; 5:Al-Mg; 6:Al-Mg-Si dan 7:Al-Zn).
2. Angka kedua menyatakan kemurnian dalam paduan yang dimodifikasi dan aluminium murni.
3. Angka ketiga dan keempat dimaksudkan untuk tanda Alcoa terdahulu kecuali huruf S. Sebagai contoh 3S sebagai 3003 serta 61 S sebagai 6061.

Berdasarkan klasifikasi di atas, aluminium dapat dikelompokkan menurut jenis paduannya. Sifat aluminium dari berbagai paduan meliputi:

1. Aluminium murni (seri 1000)

Aluminium jenis ini merupakan aluminium dengan kemurnian antara 99,0% dan 99,9%. Aluminium seri ini memiliki sifat yang baik dalam ketahanan korosi, konduksi panas dan konduksi listrik, dan mempunyai sifat mampu las dan mampu potong jika dibandingkan dengan aluminium lainnya. Kekurangan dari aluminium seri ini adalah kekuatannya yang rendah.

2. Jenis paduan Al – Cu (seri 2000)

Jenis Al – Cu merupakan jenis yang dapat diperlaku-panaskan. Dengan melalui pengerasan endap atau penyepuhan sifat mekanik paduan ini dapat menyamai baja lunak, tetapi daya tahan korosinya rendah dibanding dengan jenis paduan lainnya serta sifat mampu lasnya kurang baik. Karena sifatnya paduan jenis ini biasanya digunakan pada konstruksi keling dan banyak sekali digunakan dalam konstruksi pesawat terbang seperti duralumin (2017) dan super duralumin (2024).

3. Jenis paduan Al – Mn (seri 3000)

Jenis paduan ini merupakan jenis yang tidak dapat diperlaku – panaskan sehingga kenaikan kekuatannya hanya dapat diusahakan melalui pengerjaan dingin dalam proses pembuatannya. Jika dibandingkan dengan Al – murni paduan ini mempunyai sifat yang sama dalam hal daya tahan korosi, mampu potong dan sifat mampu lasnya. Dalam hal kekuatan jenis paduan ini lebih unggul dari pada jenis Al – murni.

4. Paduan jenis Al-Si (seri 4000)

Paduan jenis Al-Si termasuk jenis yang tidak dapat diperlaku-panaskan. Jenis ini dalam keadaan cair mempunyai sifat mampu alir yang baik dan dalam proses pembekuannya

hampir tidak terjadi retak. Paduan jenis Al-Si banyak digunakan sebagai bahan atau logam las dalam pengelasan paduan aluminium paduan cor maupun paduan tempa.

5. Paduan jenis Al-Mg (seri 5000)

Paduan jenis ini termasuk paduan yang tidak dapat diperlaku-panaskan, tetapi mempunyai sifat yang baik dalam daya tahan korosi, terutama korosi oleh air laut, dan dalam sifat mampu-lasnya. Paduan jenis ini banyak digunakan dalam konstruksi, tangki penyimpanan gas alam cair dan oksigen cair.

6. Paduan jenis Al-Mg-Si

Paduan ini termasuk dalam jenis yang dapat diperlaku-panaskan dan mempunyai sifat mampu potong, mampu las dan daya tahan korosi yang cukup. Sifat yang kurang baik dari paduan ini adalah terjadinya pelunakan pada daerah las sebagai akibat dari panas pengelasan yang timbul.

7. Paduan jenis Al-Zn (seri 7000)

Paduan ini termasuk jenis yang dapat diperlaku-panaskan. Biasanya ke dalam paduan pokok Al-Zn ditambahkan Mg, Cu, dan Cr. Kekuatan tarik yang dapat dicapai lebih dari 50 kg/mm^2 , sehingga paduan ini dinamakan juga ultra duralumin. Berlawanan dengan kekuatan tariknya, sifat mampu-las dan daya tahannya terhadap korosi kurang menguntungkan. Dalam waktu akhir – akhir ini paduan Al-Zn-Mg mulai banyak digunakan dalam konstruksi las, karena jenis ini mempunyai sifat mampu las dan daya tahan korosi yang lebih baik dari pada paduan dasar Al-Zn.

2.3 Pengaruh Unsur Paduan

Aluminium murni mempunyai kemurnian antara 99,0% dan 99,9%. Penambahan unsur paduan dilakukan untuk memperbaiki sifat dari aluminium seperti yang dikehendaki. Sifat unsur paduan ini akan mempengaruhi kualitas dari aluminium. Adanya penambahan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, dan sebagainya akan meningkatkan kekuatan mekanik aluminium (Surdia, 1999 : 129). Unsur- unsur paduan yang utama dalam aluminium antara lain:

a. Silikon (Si)

Dengan atau tanpa paduan lainnya, silikon mempunyai ketahanan terhadap korosi. Bila dipadukan dengan aluminium akan mempunyai kekuatan yang tinggi setelah perlakuan panas. Kelemahannya adalah silikon mempunyai kualitas pengerjaan mesin yang jelek, dan ketahanan koefisien panas yang rendah.

b. Tembaga (Cu)

Dengan unsur tembaga pada aluminium akan meningkatkan kekerasan dan kekuatannya. Hal ini disebabkan karena tembaga dapat memperhalus struktur butir dan akan mempunyai kualitas pengerjaan mesin, dan keuletan yang baik, mampu tempa, dan mudah dibentuk.

c. Magnesium (Mg)

Dengan menambahkan unsur magnesium, aluminium akan mempunyai sifat ketahanan korosi dan kualitas pengerjaan mesin yang baik. Penambahan magnesium dapat meningkatkan sifat mampu las dan meningkatkan kekuatan aluminium.

d. Mangan (Mn)

Menambahkan mangan dapat meningkatkan sifat mampu bentuk pada aluminium. Selain itu, mangan juga akan meningkatkan titik lebur paduan aluminium sehingga sifat dan mampu lasnya baik.

e. Seng (Zn)

Umumnya seng ditambahkan bersama-sama dengan unsur tembaga dalam persentase kecil. Dengan penambahan ini akan meningkatkan sifat-sifat mekanik pada perlakuan panas juga kemampuan mesin.

f. Besi (Fe)

Penambahan unsur Fe dimaksudkan untuk mengurangi penyusutan. Tetapi penambahan Fe yang besar akan menyebabkan struktur perubahan butir yang kasar, namun hal ini dapat diperbaiki dengan Mg atau Cr.

g. Titanium (Ti)

Titanium dapat meningkatkan sifat mampu mesin pada aluminium. Penambahan titanium pada aluminium dimaksudkan untuk mendapatkan struktur butir yang halus. Biasanya penambahannya bersamaan dengan Cr dalam persentase 0,1%.

2.4 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 : (Wiryosumarto, 2000)

1. Karena panas jenis dan daya hantar panasnya tinggi maka sukar sekali untuk memanaskan dan mencairkan hanya sebagian dari dimensinya.
2. Paduan aluminium 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. Mempunyai koefisien muai yang tinggi, maka mudah sekali terjadi deformasi, sehingga paduan – paduan yang mempunyai sifat getas panas akan cenderung membentuk retakan.
4. Karena perbedaan yang tinggi antara kelarutan hydrogen dalam logam cair dan logam padat, maka dalam proses pembekuan yang terlalu cepat akan membentuk rongga halus bekas kantong – kantong hydrogen.
5. Paduan aluminium mempunyai berat jenis rendah, karena itu banyak zat – zat lain yang terbentuk selama pengelasan akan tenggelam. Keadaan ini memudahkan tergantungnya zat – zat yang tidak dikehendaki ke dalamnya.
6. Karena titik cair dan viskositasnya rendah, maka daerah yang terkena pemanasan mudah mencair dan jatuh menetes.

Berdasarkan sifat mampu lasnya aluminium dan paduannya dapat dibagi dalam beberapa kelompok yaitu : (Wiryosumarto, 2000)

1. Jenis aluminium murni dan paduan Al-Mn
2. Jenis paduan Al-Mg
3. Jenis paduan Al-Zn-Mg
4. Jenis paduan Al-Mg-Si

Sedangkan paduan Al-Cu dan paduan Al-Zn hampir tidak mungkin untuk dilas.

2.5 Paduan Al-Mg-Si

Paduan ini termasuk dalam jenis yang dapat diperlaku-panaskan dan mempunyai sifat mampu potong, mampu las dan daya tahan korosi yang cukup (Wiryosumarto, 2000). Jika magnesium dan silikon dipadukan dengan aluminium, maka akan terbentuk magnesium silikat (Mg_2Si), kebanyakan paduan aluminium mengandung Si, sehingga penambahan magnesium diperlukan untuk memperoleh efek penguatan dari Mg_2Si . Tetapi sifat paduan dari ini menjadi getas sehingga untuk mengurangi hal ini penambahan dibatasi antara 0,03% - 0,1% (Heine, 1985 : 320)

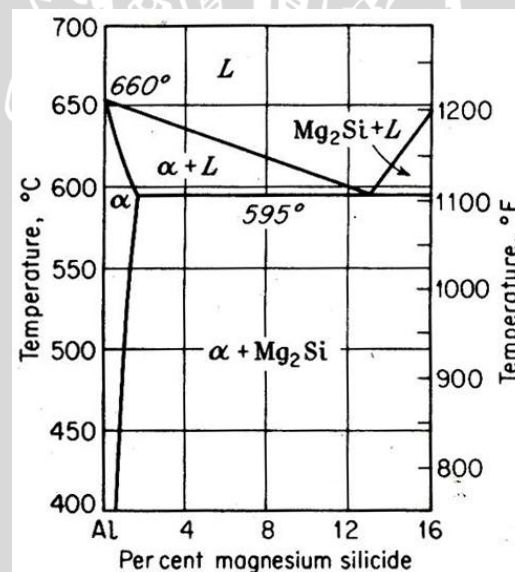
Beberapa sifat yang dimiliki paduan Al-Mg-Si ditunjukkan dalam Tabel 2.1

Tabel 2.1 Sifat Aluminium Paduan Al-Mg-Si

Sifat	Nilai
<i>Density</i>	2.70 g/cm ³
<i>Melting Point</i>	650 °C
<i>Thermal Expansion</i>	23.4 x10 ⁻⁶ /K
<i>Modulus of Elasticity</i>	70 GPa
<i>Thermal Conductivity</i>	166 W/m.K
<i>Electrical Resistivity</i>	0.040 x106 Ω .m
<i>Tensile Strength</i>	310 MPa

Sumber: aalco (2013)

Logam paduan murni dan coran yang diperlakukan panas mengandung beberapa fase terlarut, yang muncul dalam jumlah dan lokasi yang bervariasi dalam mikrostruktur bergantung pada temperature spesimen. Pada seri 6xxx, fase intermetalik yang umum adalah Mg₂Si. Diagram fase Magnesium-Silikon pada paduan aluminium ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Diagram fase magnesium-silikon pada aluminium paduan.

Sumber : Hiene (1995).

Pada diagram terlihat bahwa kelarutan Mg₂Si semakin menurun terhadap kelarutan aluminium yakni dari temperatur tinggi ke temperatur rendah. Kelarutan Mg₂Si dalam aluminium fase α terjadi sampai 16% pada 595⁰C. selain itu, titik cair terendah untuk mencairkan Al-Mg-Si pada temperatur 595⁰C dengan komposisi 13% Mg₂Si dan 87% Al.

2.6 Pengelasan

Berdasarkan pengertian dari *Deutsche Industrie Normen* (DIN), las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan cair. Berdasarkan cara kerjanya pengelasan dibagi dalam tiga kelas utama, yaitu :

1. Pengelasan cair

adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan sampai mencair dengan sumber panas dari busur listrik atau semburan api gas yang terbakar.

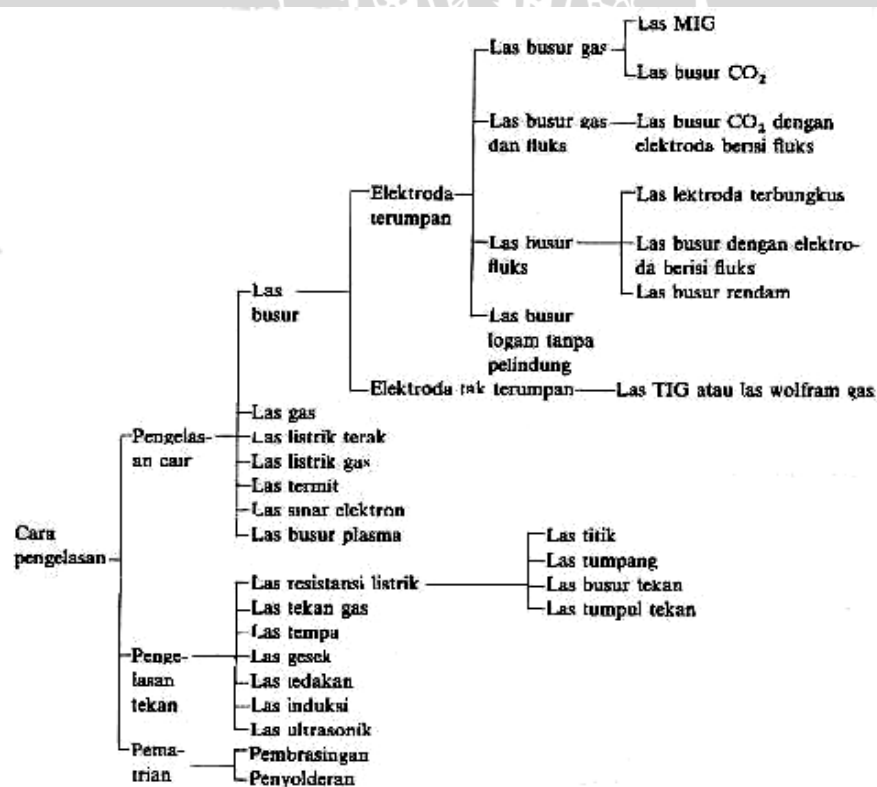
2. Pengelasan tekan

adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu.

3. Pematrian

adalah cara pengelasan di mana sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah.

Bersarkan cara pengelasannya klasifikasi pengelasan dapat dijelaskan pada gambar 2.1 berikut :



Gambar 2.2. Klasifikasi Cara pengelasan

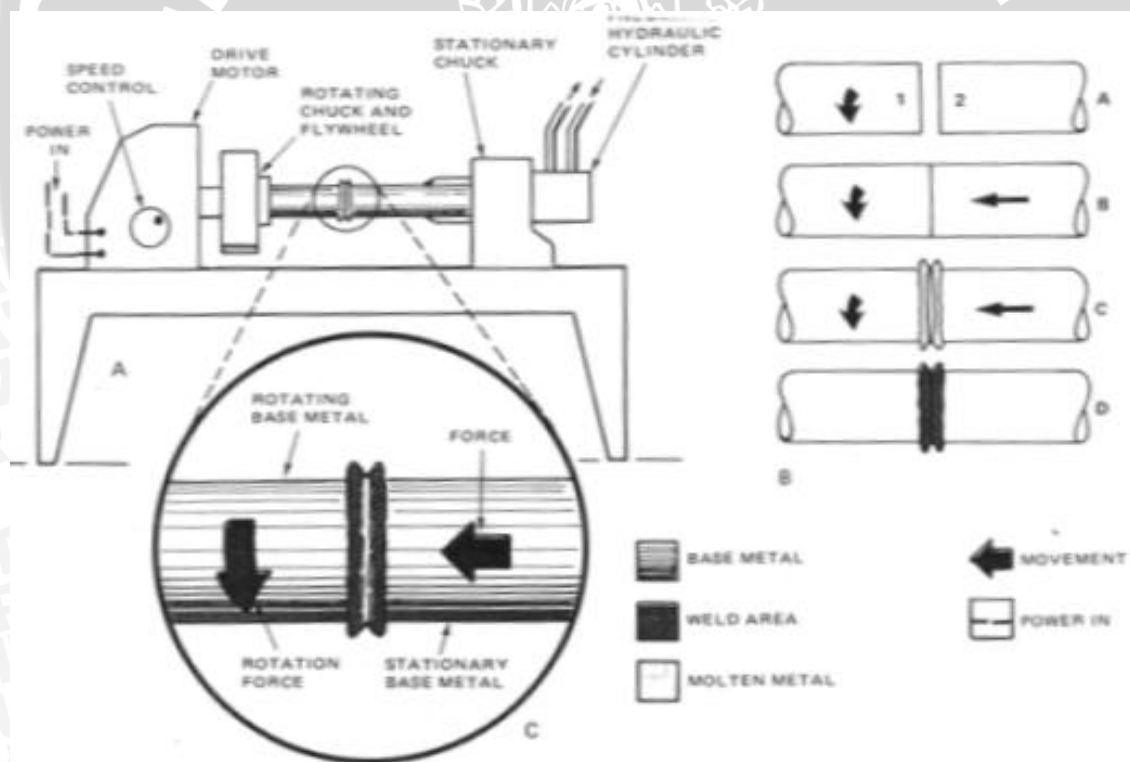
Sumber : Wiryosumarto, 2000, 8

2.7 Las gesek (*friction Welding*)

Las gesek merupakan salah satu metode pengelasan tekan dimana sumber panas yang dihasilkan berasal dari gesekan benda itu sendiri. Secara garis besar pengelasan gesek dibagi menjadi dua yaitu :

2.7.1 *Linier Friction Welding*

Linear friction welding adalah metode pengelasan gesek yang sumber panasnya berasal dari gesekan kedua permukaan benda itu sendiri. Mekanisme pengelasan ini, dimana salah satu logam berputar relatif terhadap logam satunya dengan kecepatan tertentu dimana logam satunya tidak ikut berputar tetapi memberikan tekanan terhadap logam yang berputar. Adanya gesekan pada ujung permukaan logam tersebut maka timbul panas pada kedua ujungnya, sehingga melelehkan kedua permukaan yang bersentuhan hingga akhirnya kedua logam tersebut menjadi satu. Selanjutnya dilakukan penekanan akhir untuk lebih menyatukan sambungan tersebut.

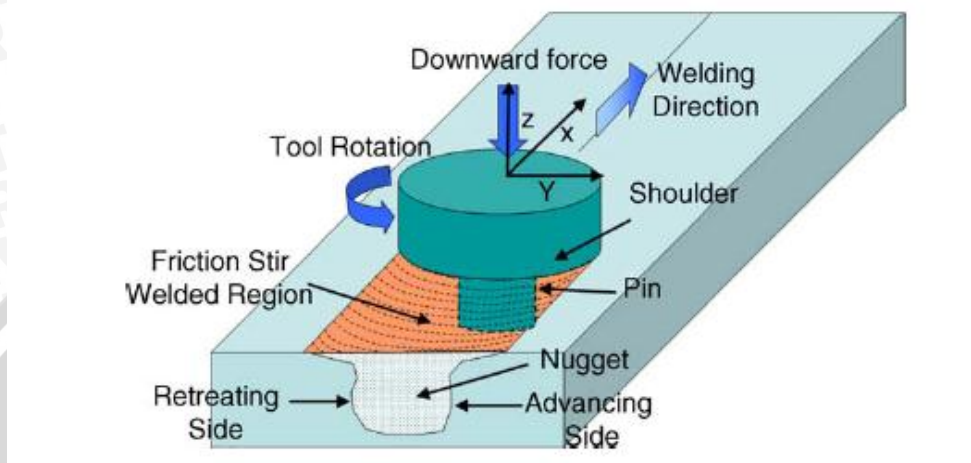


Gambar 2.3 Skema *friction welding*
Sumber : Modern welding, 1980 : 37

2.7.2 *Friction Stir Welding*

Friction stir welding adalah metode pengelasan gesek yang sumber panasnya berasal dari gesekan antara benda kerja dengan pahat (*tools*). Mekanisme pengelasan ini hanya digunakan untuk penyambungan pelat. Dua pelat yang akan disambung menjadi satu

dicekam berhimpitan dibawah pahat yang telah dipasang pada mesin frais atau bor. Pahat yang berputar menekan benda kerja sehingga akan timbul panas akibat gesekan benda kerja dengan pahat yang berputar. Panas tersebut akan melelehkan benda kerja sehingga terjadi penyambungan antar kedua benda kerja.



Gambar 2.4 *Friction stir welding*
Sumber : Suardi, 2011 : 6

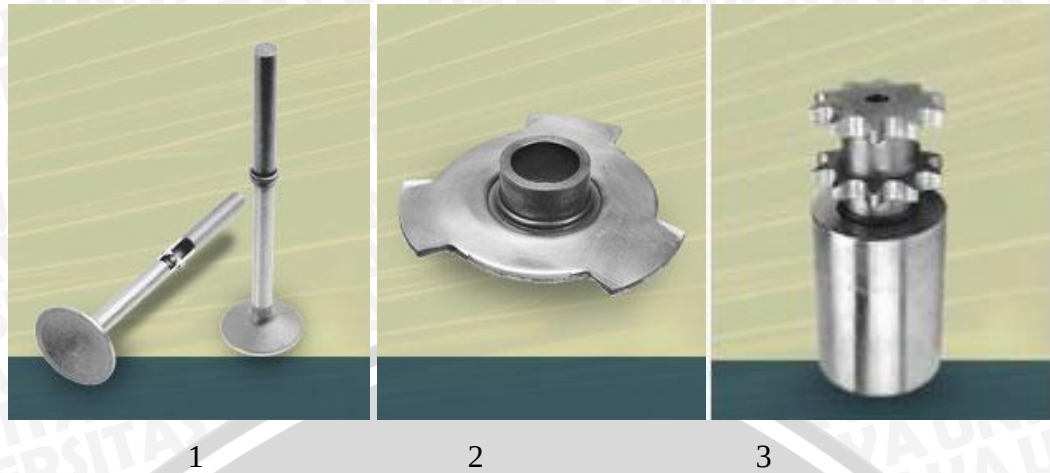
2.7.3 Kelebihan Pengelasan Gesek

Beberapa kelebihan dari las gesek antara lain :

1. Ramah lingkungan
 - a. Prosesnya meminimalisasi energi yang dibutuhkan.
 - b. Tidak menghasilkan asap, gas, dan berkas sampah.
2. Pengembangan produk
 - a. Dapat dilakukan dengan logam yang berbeda jenis.
 - b. Kekuatan sambungan sama atau lebih kuat dari logam induknya.
 - c. Pengelasan pada temperatur yang rendah, mempertahankan mikrostruktur dan sifat material.

2.7.4 Aplikasi Las Gesek

Penyambungan dengan menggunakan metode ini telah banyak digunakan dalam industri otomotif, industri perkapalan. Contoh penyambungan dengan menggunakan metode ini ditunjukkan pada gambar 2.4 berikut :



Gambar 2.5 Aplikasi las gesek, 1. *engine valves* 2. *Transmission part* 3. *Chain drive sprocket*

Sumber: *Manufacturing Tecnology INC*

2.8 Heat Input

Panas total yang dihasilkan dari proses pengelasan gesek akibat dari gesekan ketika pengelasan. produksi panas yang dihasilkan ditentukan dari karakteristik operasi dan dimensi dari benda. Enenrgi panas yang dihasilkan dinyatakan dengan

$$dQ = \omega . dM \text{ (W)} \quad (2.1)$$

dengan :

ω = kecepatan sudut (rad/s)

dM = diferensial momen torsi

Kemudian dM dapat dinyatakan sebagai

$$dM = r . dF_{friction} \text{ (N.m)} \quad (2.2)$$

dengan :

$dF_{friction}$ = gaya gesek (N)

r = jari – jari (m)

Kemudian dapat di definisikan bahwa gaya gesek sebagai

$$dF_{friction} = r . (\mu . P . 2 . \pi . r . dr) \quad (2.3)$$

dengan

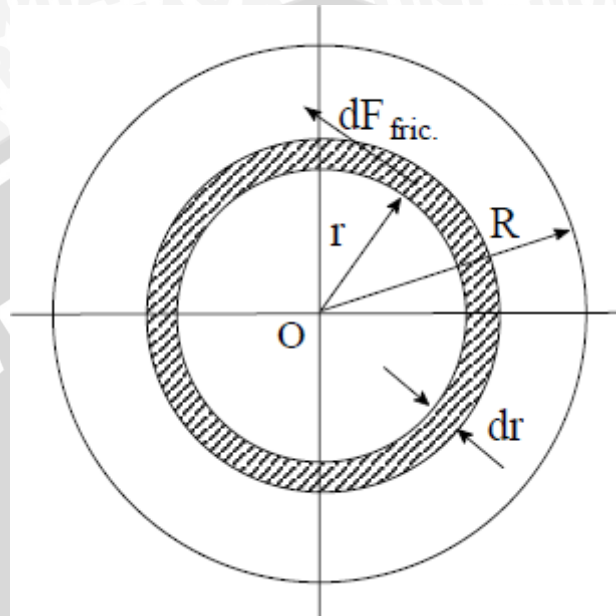
μ = koefisien gesek

P = gaya tekan (N)

Dengan memasukkan persamaan (2.2) dan (2.3) ke dalam persamaan (2.1), kita dapatkan

$$d\dot{Q} = 2\pi \cdot \mu \cdot \omega \cdot P \cdot r^2 \cdot dr \quad (W) \quad (2.4)$$

Hal ini dapat didefinisikan bahwa total energi terjadi pada gesekan pada permukaan yaitu panas yang diakibatkan oleh gesekan pada permukaan sehubungan dengan jarak r dan ketebalan dr dari rotasi sumbu pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Friction Surface And Friction Ring (dr)

Sumber: Ahmet, *et. al.* 2010

Kita dapat mengetahui panas terjadi di permukaan las dengan mengintegrasikan dengan R dari persamaan (2.4) sebagai berikut:

$$\int_0^R d\dot{Q} = 2\pi \cdot \mu \cdot \omega \cdot P \cdot r^2 \cdot dr \quad (2.5)$$

$$Q = \frac{2}{3} \pi \cdot P \cdot \omega \cdot R^3 \quad (2.6)$$

dengan

ω = kecepatan sudut (rad/s)

P = gaya tekan (N)

Total torsi dapat diketahui dengan mengintegrasikan R dari persamaan (2.3) sebagai berikut:

$$M = \int_0^R 2\pi \cdot \mu \cdot P \cdot r^2 \cdot dr \quad (2.7)$$

$$M = \frac{2}{3} \pi \cdot \mu \cdot P \cdot R^3 \quad (2.8)$$

dengan

M = momen torsi (Nm)

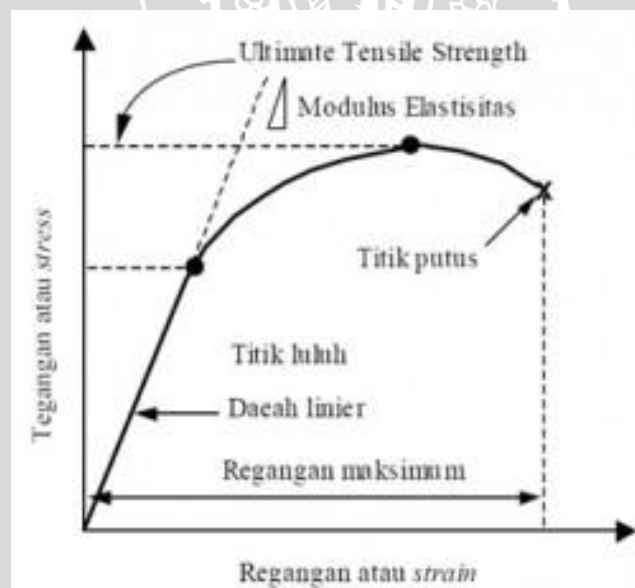
μ = koefisien gesek

Panas terjadi di permukaan las sama dengan jumlah torsi dikalikan dengan kecepatan sudut

$$Q = \omega \cdot M \text{ (W)} \quad (2.9)$$

2.9 Pengujian Tarik

Pengujian tarik ditujukan untuk mengetahui kekuatan tarik suatu material. Pengujian tarik pada hasil sambungan las perlu dilakukan untuk mengetahui apakah kekuatan tarik sambungan las mempunyai nilai yang sama, lebih rendah atau lebih tinggi dibandingkan dengan kekuatan tarik dari logam induknya. Pengujian tarik untuk kualitas kekuatan tarik dimaksudkan untuk mengetahui berapa nilai kekuatannya dan dimana letak putusnya sambungan las.



Gambar 2.7 Kurva Tegangan-Regangan

Sumber: Wiryosumarto, 2000: 181

Pada pengujian tarik spesimen (benda kerja) mendapat beban dengan kenaikan beban sedikit demi sedikit hingga putus. Kemudian sifat-sifat tariknya dapat dihitung dengan persamaan-persamaan sebagai berikut : (Wiryosumarto, 2000)

Tegangan :

$$\sigma = \frac{F}{A_o} (kg/mm^2) \quad (2.10)$$

Keterangan :

σ = Tegangan (kg/mm^2)

F = Beban tarik (kg)

A_o = Luas penampang spesimen mula (mm^2)

Regangan :

$$\varepsilon = \frac{(L - L_o)}{L_o} \times 100\% \quad (2.11)$$

Keterangan :

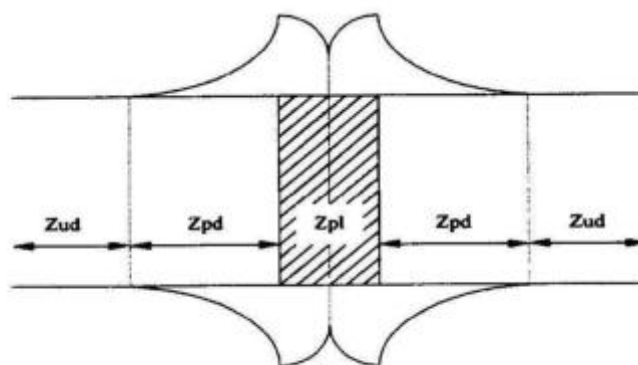
ε = Regangan (%)

L_o = Panjang mula dari batang uji (mm)

L = Panjang batang uji yang dibebani (mm)

2.10 Daerah *Heat Affective Zone* (HAZ)

Daerah HAZ adalah daerah yang terpengaruh panas ketika proses pengelasan. Ketika pengelasan berlangsung, logam induk disekitar logam las mengalami proses perlakuan panas yang menyebabkan terjadinya perubahan struktur mikro disekitar daerah lasan tersebut. Secara umum terdapat tiga zona yaitu: *fully plasticized region* (zpl) atau daerah sambungan yang menyatu dengan sempurna, *partly deformed region* (zpd) ini merupakan daerah *heat affected zone* (HAZ) karena pada daerah ini mengalami panas sebagian yang diakibatkan proses pengelasan dan *undeformed region* (zud) atau daerah yang tidak terpengaruh panas sama sekali ketika proses pengelasan.



fully plasticized (Zpl), partly deformed (Zpd) and undeformed (Zud) regions

Gambar 2.8 *fully plasticized region (zpl), partly deformed region (zpd), dan undeformed region (zud).*

Sumber : Lin dkk (1999)

Hilangnya kekuatan di HAZ dipengaruhi oleh proses pengelasan , masukan panas dan kecepatan pengelasan. Adanya pengaruh panas akan menyebabkan terjadinya proses rekristalisasi dimana butir akan mengalami pertumbuhan sehingga akan dihasilkan butir yang besar. Ukuran butir yang lebih besar pada daerah HAZ akan mempengaruhi kekuatan hasil las. Oleh karena itu, masukan panas seharusnya diminimalisir ketika proses pengelasan paduan (sindo kou,2002).

Menurut alvinash (2007), pada pengelasan gesek, sambungan las memiliki daerah HAZ yang sempit akan menghasilkan kekuatan impact dan kekuatan tarik yang tinggi. Hal ini disebabkan pada daerah *fully plastized* terjadi perubahan struktur material yang menjadi besar dan homogen.

2.11 Hipotesa

Penggunaan sudut *chamfer* dan kekasaran permukaan pada proses pengelasan akan mempengaruhi masukan panas (*heat input*). Oleh karena itu, dapat diduga bahwa semakin rendah nilai kekasaran dan semakin kecil sudut *chamfer* panas yang dihasilkan akan semakin rendah, dengan semakin rendah masukan panas menyebabkan daerah HAZ yang terbentuk juga semakin kecil, sehingga diharapkan dapat meningkatkan kekuatan tarik sambungan las gesek AL-Mg-Si.

BAB III

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental sejati (*true experimental research*) yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh sudut *chamfer* dan kekasaran permukaan terhadap kekuatan tarik sambungan las gesek Al-Mg-Si. Disamping itu juga dilakukan pengkajian terhadap dasar teori yang ada dari sumber literatur beberapa buku dan jurnal penelitian.

3.1 Variabel Penelitian

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

3.1.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan sebelum penelitian dilakukan. Variabel bebas yang digunakan adalah:

- Sudut *chamfer* : 0° ; 15° ; 30° ; 45°
- Kekasaran permukaan : $1,0667\mu\text{m}$, $0,9\mu\text{m}$, $0,697\mu\text{m}$

3.1.2 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang besarnya bergantung pada variabel bebas yang diberikan. Adapun variabel yang terikat dalam penelitian ini adalah kekuatan tarik.

3.1.3 Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya dijaga konstan selama penelitian. Variabel yang dijaga konstan selama penelitian ini adalah

- *Friction time* 2 menit
- Putaran *spindle* 1600 rpm
- Gaya tekan akhir 156,8 kgf
- Gaya tekan pengelasan 123 kgf

3.2 Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Juni - Oktober 2014. Tempat yang digunakan untuk penelitian yaitu :

1. Laboratorium Proses Produksi I Teknik Mesin Universitas Brawijaya
2. Laboratorium Metrologi Industri Teknik Mesin Universitas Brawijaya
3. Laboratorium Pengujian Bahan Teknik Mesin Universitas Brawijaya

4. Laboratorium Pengujian Bahan Universitas Negeri Malang

3.3 Alat Yang Digunakan

- Jangka sorong
- Mesin bubut
- Power hacksaw
- Mesin uji tarik
- Kamera digital
- Alat bantu cekam

3.4 Bahan Yang Digunakan

Sesuai dengan judul skripsi ini, maka bahan yang digunakan adalah paduan Al-Mg-Si seri 6061 dengan komposisi unsur paduan sebagai berikut :

Tabel 3.1 Komposisi kimia paduan Al-Mg-Si.

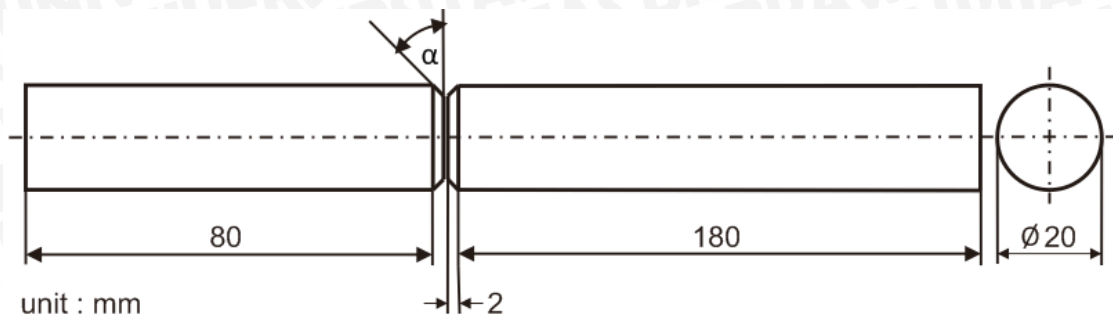
Paduan	Al (%)	Mg (%)	Si (%)	Fe (%)	Mn (%)	Zn (%)	Cu (%)	Cr (%)	Ti (%)	Kandungan lainnya (%)
6061	95,8-98,6	0,80-1,2	0,40-0,80	Max 0,70	Max 0,15	Max 0,25	0,15-0,40	0,040-0,35	Max 0,15	Max 0,15

Sumber : ASM Aero Space Metal Inc.

Tabel 3.2 Komposisi Kimia Paduan Al – Mg – Si Hasil Pengujian Komposisi

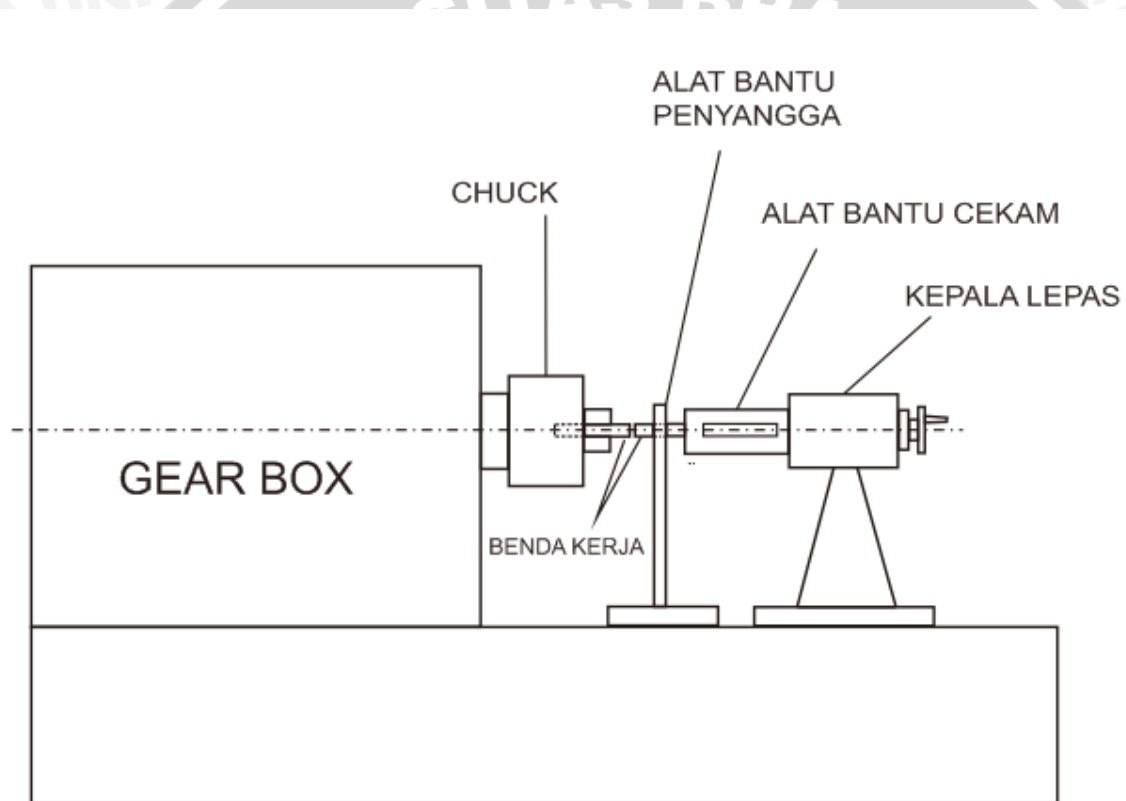
Paduan	Al (%)	Mg (%)	Si (%)	Fe (%)	Mn (%)	Zn (%)	Cu (%)	Cr (%)	Ti (%)	Kandungan lainnya (%)
6061	97,9	0.806	0.536	0.333	0.0314	0.0512	0.216	0.0679	0.0145	Max 0.022

3.5 Dimensi Benda Kerja



Gambar 3.1 Dimensi Benda Kerja

3.6 Skema Alat Pengelasan Gesek



Gambar 3.2 Skema Alat Pengelasan Gesek

3.7 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian sebelum melakukan proses pengelasan adalah:

1. Material awal berbentuk poros dengan panjang 3 meter.
2. Memotong material atau benda kerja sehingga sesuai dengan ukuran yang diinginkan, menggunakan *power hack saw*.
3. Material yang sudah di potong kemudian di buat variasi sudut *chamfer* masing-masing sudut 0° , 15° , 30° , dan 45° . Dengan menggunakan mesin bubut.

4. Setelah variasi sudut *chamfer* selesai dibuat, kemudian pada bidang kontak las gesek di lakukan pengamplasan dengan menggunakan kertas ampelas yang memiliki tingkat kekasaran 600, 1000, dan 1500 dengan menggunakan mesin bubut dengan putaran *spindle* 550 rpm, selama 1 menit.
5. Spesimen yang telah diampelas kemudian di uji kekasaran menggunakan Alat ukur kekasaran permukaan Surftest SJ-301.
6. Dari hasil pengujian didapatkan nilai kekasaran Ra yang dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3 Tingkat Kekasaran Permukaan Ra.

Grid 600 (μm)	Grid 1000 (μm)	Grid 1500 (μm)
1,0667	0,9	0,6975

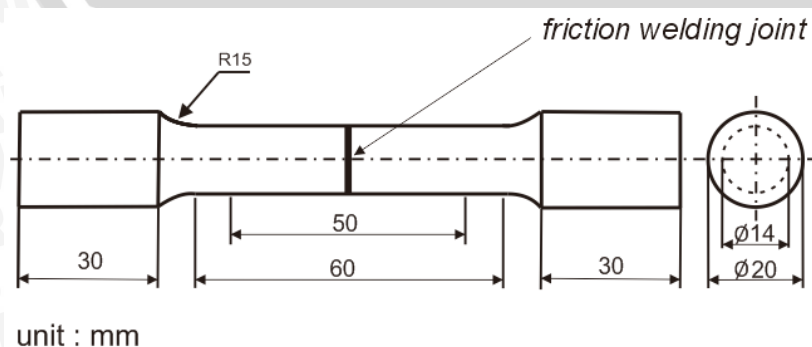
3.7.1 Proses Pengelasan

Langkah-langkah yang digunakan dalam proses pengelasan adalah:

1. Pemasangan benda kerja pada *chuck* dan alat bantu pencekam
2. Pengaturan kecepatan putaran *spindle* yang digunakan
3. Mesin dihidupkan
4. Pengaturan tekanan yang diberikan
5. Proses pengelasan dimulai sampai waktu yang ditentukan
6. Mesin di matikan
7. *Holding* selama 2 menit dengan gaya tekan akhir sebesar 156.8 kgf
8. Pelepasan benda kerja pada cekam
9. Pengecekan hasil las

3.7.2 Proses Pengujian Kekuatan Tarik

Sebelum melakukan uji tarik, spesimen atau benda kerja dibentuk terlebih dahulu menjadi spesimen uji tarik yang sesuai dengan standart internasional.

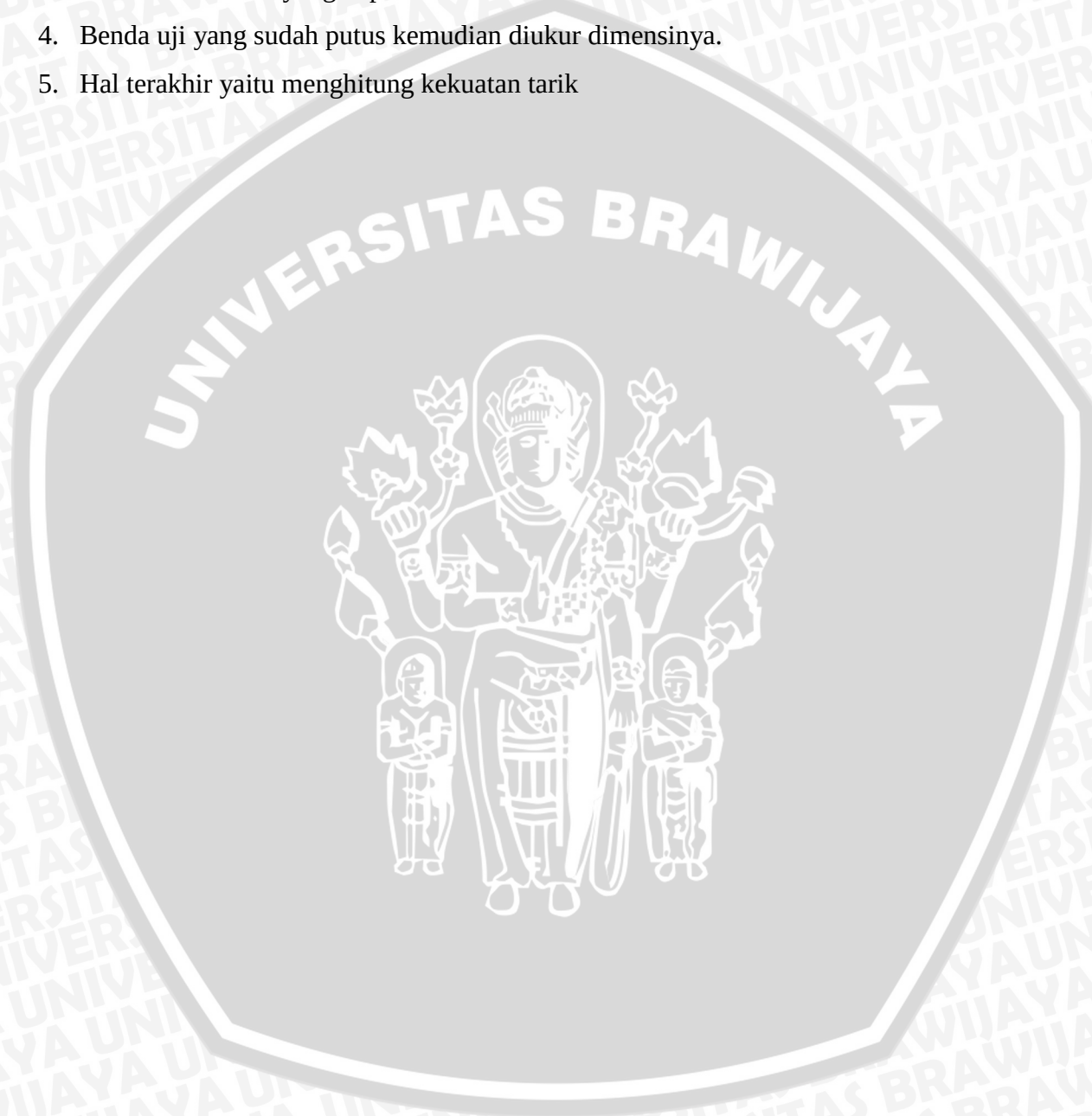


Gambar 3.3 Dimensi Benda Kerja Uji Tarik

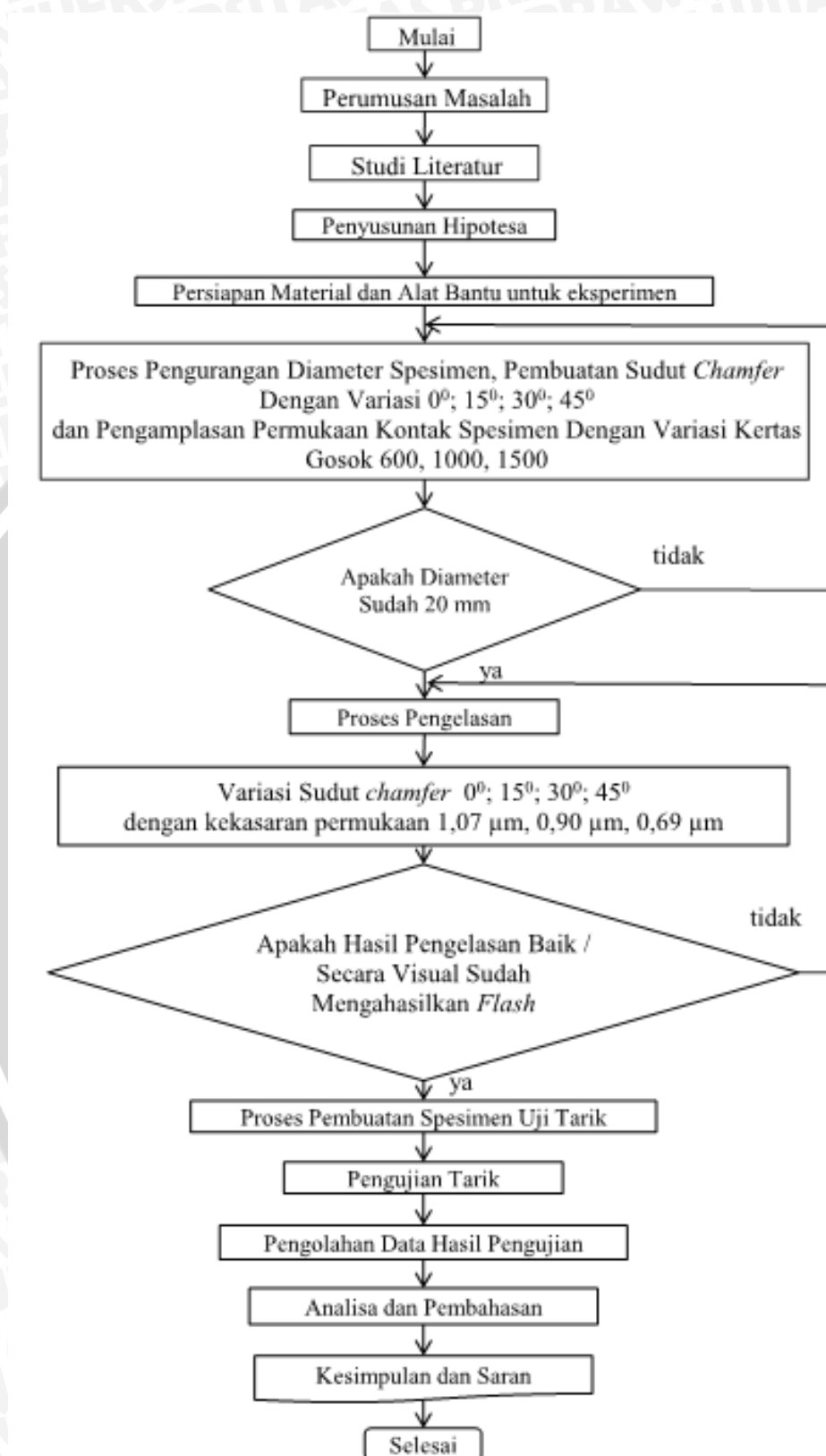
Sumber : JIS Z 2201 (1980)

Prosedur pengujian sebagai berikut :

1. Spesimen dipasang erat pada cekam
2. Mesin dihidupkan dengan pengaturan kecepatan penarikan 2 mm/menit.
3. Benda uji mulai mendapatkan beban tarik diawali 0 kg hingga benda putus pada beban maksimum yang dapat ditahan benda tersebut.
4. Benda uji yang sudah putus kemudian diukur dimensinya.
5. Hal terakhir yaitu menghitung kekuatan tarik



3.8 Diagram Alir



Gambar 3.4 Diagram Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian Kekuatan Tarik

Pengambilan data menggunakan alat uji tarik setelah spesimen dilakukan pengelasan dan dibentuk sesuai dengan standar uji tarik. Pada setiap variasi yang sama dilakukan tiga kali pengelasan dan tiga kali uji tarik yang nantinya diperoleh nilai rata-rata dari ketiga pengujian. Nilai yang diperoleh dari hasil uji tarik dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Kekuatan Tarik Kekasaran 1,0667 μm

No	kekasaran	sudut <i>chamfer</i>	pengulangan	kekuatan tarik (N/mm ²)	kekuatan tarik rata - rata
1	1,0667 μm	0°	1	86,218	83,459
			2	80,340	
			3	83,821	
		15°	4	165,692	148,148
			5	137,102	
			6	141,650	
		30°	7	112,998	120,187
			8	124,107	
			9	123,457	
		45°	10	107,862	100,184
			11	101,365	
			12	91,324	

Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Kekuatan Tarik Kekasaran 0,9 μm

2	0,9 μm	0°	13	95,517	89,100
			14	93,160	
			15	78,622	
		15°	16	152,443	160,122
			17	180,039	
			18	147,883	
		30°	19	117,609	121,291
			20	122,157	
			21	124,107	
		45°	22	104,613	102,231
			23	109,812	
			24	92,268	

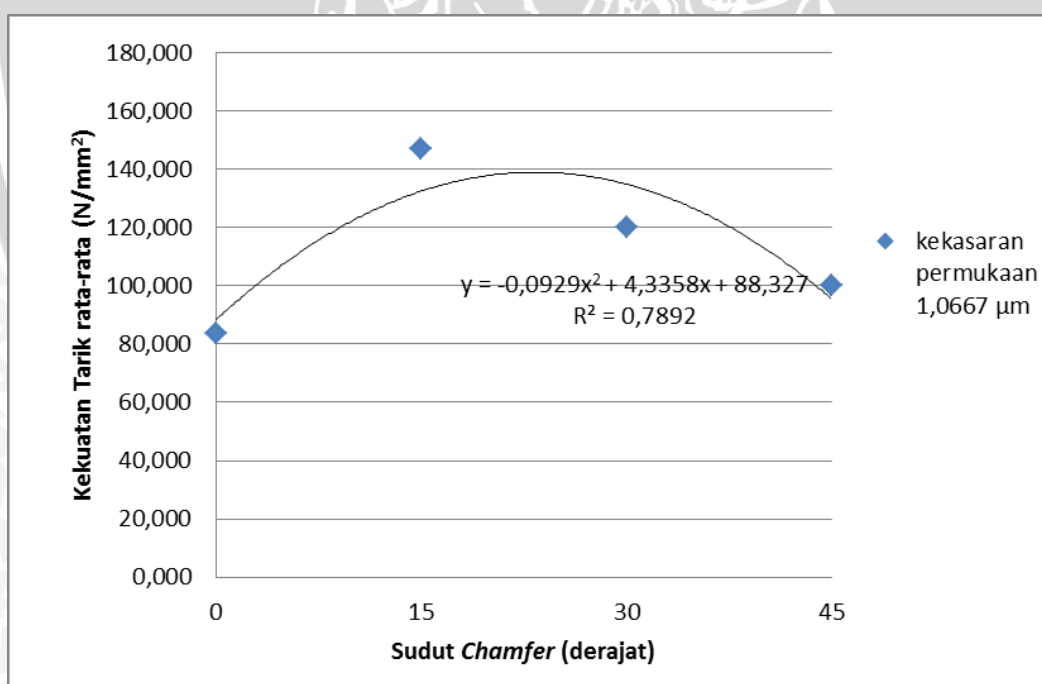
Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Kekuatan Tarik Kekasaran 0,697 μm

3	0,697 μm	0°	25	94,586	102,158
			26	113,009	
			27	98,879	
		15°	28	190,383	173,489
			29	172,840	
			30	157,245	
		30°	31	126,566	131,007
			32	130,092	
			33	136,364	
		45°	34	96,902	103,172
			35	102,228	
			36	110,385	

4.3 PEMBAHASAN

4.3.1 Hubungan antara sudut *chamfer* dengan kekasaran permukaan 1,0667 μm

Dari hasil perhitungan variasi data kekasaran permukaan 1,0667 μm dan sudut *chamfer* yang berbeda diperoleh besarnya kekuatan tarik sambungan las gesek. Analisa perhitungan data tersebut disajikan pada grafik hubungan antara sudut *chamfer* dengan kekasaran permukaan 1,0667 μm terhadap kekuatan tarik dibawah ini.

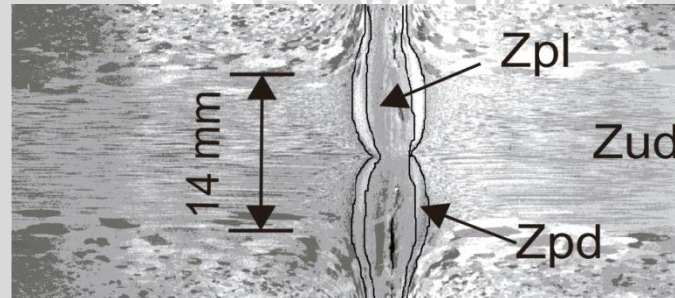


Gambar 4.1 Grafik Hubungan Antara Sudut *Chamfer* Dengan Kekasaran Permukaan 1,0667 μm Terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Las Gesek.

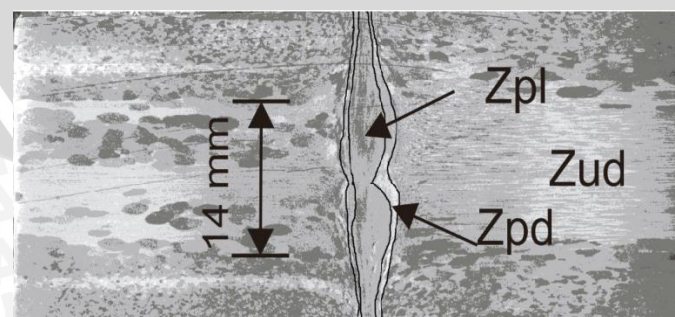
Pada Gambar 4.1 Grafik hubungan antara sudut *chamfer* dengan kekasaran permukaan 1,0667 μm terhadap kekuatan tarik sambungan las gesek, dapat diketahui bahwa kekuatan

tarik tertinggi sambungan las gesek dengan kekasaran permukaan $1,0667 \mu\text{m}$ tercapai pada sudut 15° yaitu sebesar $148,148 \text{ N/mm}^2$. Dan kekuatan tarik terendah pada sudut 0° sebesar $83,459 \text{ N/mm}^2$. Hal ini menunjukkan bahwa sudut *chamfer* akan berpengaruh terhadap bidang kontak sambungan las gesek. Semakin besar bidang kontak sambungan las gesek akan mengakibatkan turunya kekuatan tarik pada sambungan las. Hal ini disebabkan semakin besar bidang kontak sambungan las gesek akan menyebabkan semakin besar masukan panas (*heat input*), dengan semakin besar masukan panas menyebabkan daerah HAZ yang terbentuk juga semakin besar, yang mengakibatkan turunya kekuatan tarik pada sambungan las.

Menurut Lin *et. al.* (1999), daerah las terbagi 3 zona yaitu: *fully plasticized region* (*Zpl*) atau daerah sambungan yang menyatu dengan sempurna, *partly deformed region* (*Zpd*) ini merupakan daerah *heat affected zone* (HAZ) karena pada daerah ini mengalami panas sebagian yang diakibatkan proses pengelasan dan *undeformed region* (*zud*) atau daerah yang tidak terpengaruh panas sama sekali ketika proses pengelasan. Berdasarkan data hasil pengujian foto makro didapatkan luasan daerah HAZ seperti yang di sajikan pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 berikut.



Gambar 4.2. Foto Makrostruktur Sudut *Chamfer* 0° Kekasaran Permukaan $1,0667 \mu\text{m}$.



Gambar 4.3 Foto Makrostruktur Sudut *Chamfer* 15° Kekasaran Permukaan $1,0667 \mu\text{m}$.

Untuk mengetahui daerah luasan Zpl maupun Zpd maka daerah tersebut diukur sesuai daerah spesimen uji tarik yaitu diameter 14 mm, dan dalam pengukurannya menggunakan *software* Inventor. Hasil pengukuran tersebut disajikan pada tabel berikut.

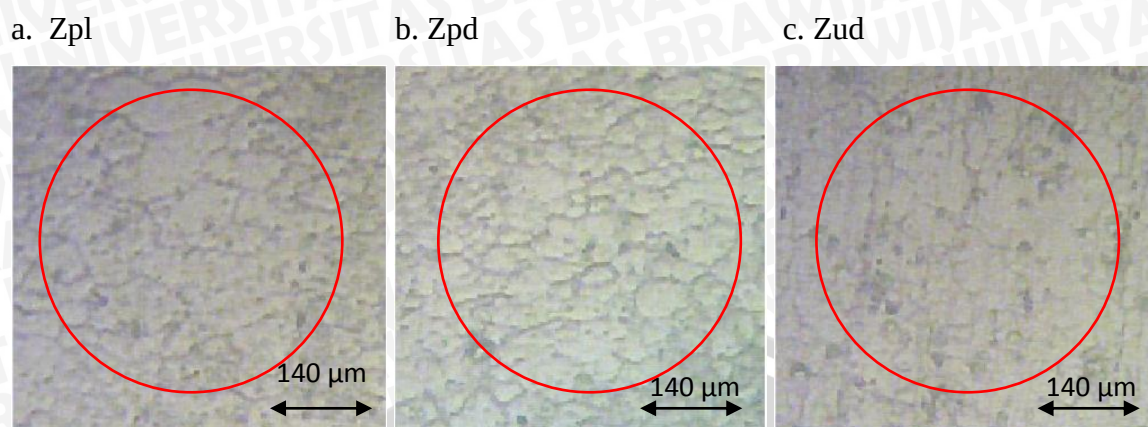
Tabel 4.3 Tabel Luas Daerah *Zona Fully Plasticized (Zpl)*, *Zona Partly Deformed (Zpd)*.

kekasaran permukaan 1,0667 μm		
Sudut <i>chamfer</i>	Zpl (mm^2)	Zpd (mm^2)
0°	37,58	20,897
15°	29,013	15,337

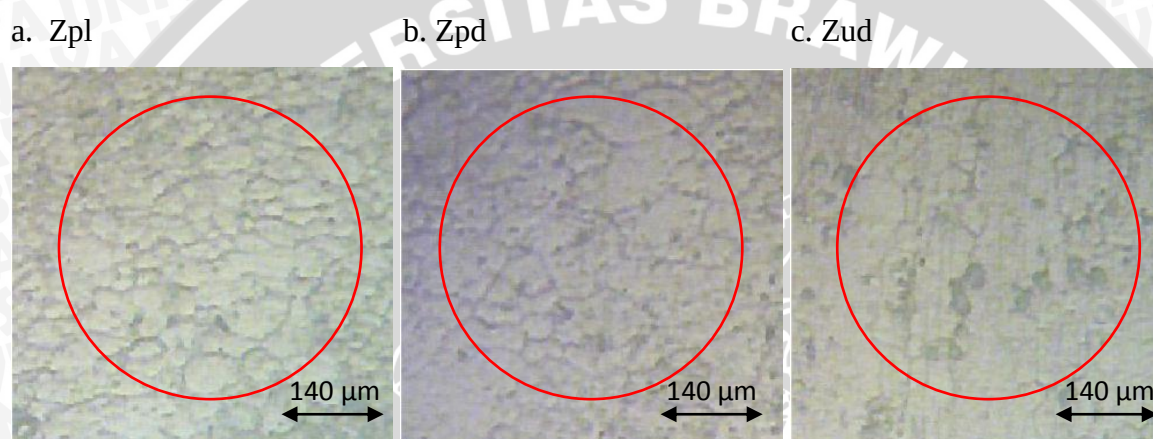
Dari Tabel 4.3 dapat kita ketahui daerah luasan sudut *chamfer* 15° memiliki daerah luasan Zpd yaitu sebesar $15,337 \text{ mm}^2$, luasan daerah Zpl sebesar $29,013 \text{ mm}^2$. Sedangkan sudut *chamfer* 0° memiliki luasan daerah Zpd sebesar 20,897 dan luasan daerah Zpl sebesar $37,58 \text{ mm}^2$. Luasan *fully plasticized region* (Zpl) ini menunjukkan seberapa besar material dapat menyatu sama satu sama lain selama proses pengelasan berlangsung dan seberapa besar kekuatan sambungan yang terbentuk. Semakin luas daerah Zpl maka sambungan yang terbentuk akan semakin baik dan kekuatan tariknya tinggi (Lin *et. al.* 1999). semakin besar luas daerah HAZ yang terbentuk maka kekuatannya akan semakin menurun Sindokou (2002). Hal ini yang menyebabkan kekuatan tarik sudut *chamfer* 15° lebih besar dibandingkan sudut *chamfer* 0° , walaupun sudut *Chamfer* 0° memiliki luas daerah Zpl paling lebar, namun luas daerah Zpd yang terbentuk juga paling lebar yaitu sebesar $20,897 \text{ mm}^2$. Hal ini yang mengakibatkan menurunnya kekuatan tariknya.

4.3.1.1 Hasil foto mikrostruktur

Setelah melakukan pengujian mikrostruktur, didapat foto mikro dengan perbesaran 500 kali seperti pada gambar dibawah ini :



Gambar 4.4 Hasil Foto Mikrostruktur 500x Spesimen Dengan Sudut *Chamfer* 0° dan Kekasaran Permukaan 1,0667 μm



Gambar 4.5 Hasil Foto Mikrostruktur 500x Spesimen Dengan Sudut *Chamfer* 15° dan Kekasaran Permukaan 1,0667 μm

Pada Tabel 4.4 dapat dilihat hasil perhitungan diameter butir dengan menggunakan metode planimetri (*jeffris method*) yaitu menghitung besar butir persatuan luas pada lingkaran berdiameter 80 mm (luas lingkaran 5000 mm²). Metode planimetri dapat digunakan ketika didalam lingkaran minimal terdapat 50 butir.

Diameter butir diukur dari spesimen sudut *chamfer* 0° dengan kekasaran permukaan 1,0667 μm dan spesimen sudut *chamfer* 15° dengan kekasaran permukaan 1,0667 μm pada tiap-tiap daerah Zpl, Zpd dan Zud.

Contoh perhitungan sudut *chamfer* 0° detik dan kekasaran permukaan 1,0667 μm sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 N_A &= f \cdot \left(n_1 + \frac{1}{2} n_2 \right) ; \quad f = \frac{M^2}{5000} \\
 &= 50 \left(59 + \frac{26}{2} \right) \\
 &= 3600 \text{ pcs/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 G &= (3,321928 \log_{10} N_A) - 2,954 \\
 &= (3,321928 \log 3600) - 2,954 \\
 &= 8,86
 \end{aligned}$$

Keterangan:

N_A = Banyaknya butir/luar (pcs/mm²)

f = Bilangan Jeffris

M = Perbesaran (x)

G = Grain size

D = Diameter butir rata-rata (μm)

Untuk melihat jumlah butir dapat dilihat pada lampiran 3. Setelah melakukan perhitungan di atas kemudian dilakukan interpolasi yang dapat dilihat pada tabel standar ASTM E 112 (lampiran 4). Sehingga didapatkan nilai sebesar 16,74 μm.

Tabel 4.4 Data Hasil Perhitungan Diameter Butir dengan Metode Planimetri

Kekasaran	Sudut <i>Chamfer</i>	Daerah	D (μm)
1,0667 μm	0°	Zpl	16,74
		Zpd	19,39
		Zud	22,16
	15°	Zpl	15,75
		Zpd	16,16
		Zud	20,45

Pada Tabel 4.4 menunjukkan ukuran butir rata-rata pada spesimen sudut *chamfer* 0° dan kekasaran permukaan 1,0667 μm, memiliki diameter butiran pada daerah Zpl sebesar 16,74 μm, didaerah Zpd didapatkan nilai sebesar 19,39 μm, didaerah Zud didapatkan nilai sebesar 22,16 μm. Sedangkan pada spesimen sudut *chamfer* 15° dan kekasaran permukaan 1,0667 μm memiliki diameter butiran pada daerah Zpl sebesar 15,75 μm, didaerah Zpd didapatkan nilai sebesar 16,16 μm, didaerah Zud didapatkan nilai sebesar 20,45 μm. Pada daerah *fully plasticized zone* (Zpl) memiliki ukuran butir yang kecil dibandingkan zona yang lainnya. Selanjutnya *partly deformed zone* (Zpd) yang memiliki ukuran butir yang lebih kecil dari pada daerah *underformed zone* (Zud). Hal ini disebabkan karena daerah Zpl mengalami pemasukan panas yang lebih cepat dibandingkan daerah lain karena daerah ini langsung bergesekan pada saat pengelasan kemudian mengalami pendinginan cepat yang mengakibatkan butiran yang terbentuk belum sempat berkembang sehingga dihasilkan butiran yang kecil dan rapat sehingga memiliki kekerasan yang paling tinggi dibandingkan daerah lainnya, kemudian daerah Zpd ini merupakan daerah *heat affected zone* (HAZ) karena pada daerah ini mengalami panas sebagian yang diakibatkan proses pengelasan sehingga

struktur butir yang terbentuk lebih besar dibandingkan dengan butiran daerah Zpl, dan diameter butiran yang paling besar pada daerah Zud disebabkan karena tidak terpengaruh panas secara langsung pada saat pengelasan sehingga struktur butirannya tidak banyak berubah sehingga kekerasannya lebih rendah dari pada Zpd. Hal ini didukung oleh hasil pengujian kekerasan

Pada tabel terlihat spesimen sudut *chamfer* 15^0 memiliki ukuran butir yang lebih kecil dibandingkan dengan spesimen sudut *chamfer* 0^0 . semakin kecil ukuran butir maka ikatan antar butir semakin kuat sehingga spesimen dengan sudut *chamfer* 15^0 memiliki kekuatan tarik yang tertinggi di bandingkan dengan sudut *chamfer* 0^0 .

4.3.1.2 Hasil Pengujian Kekerasan

Dari hasil pengujian kekerasan menggunakan *Vickers Hardness Tester* (VHN) didapat data seperti berikut :

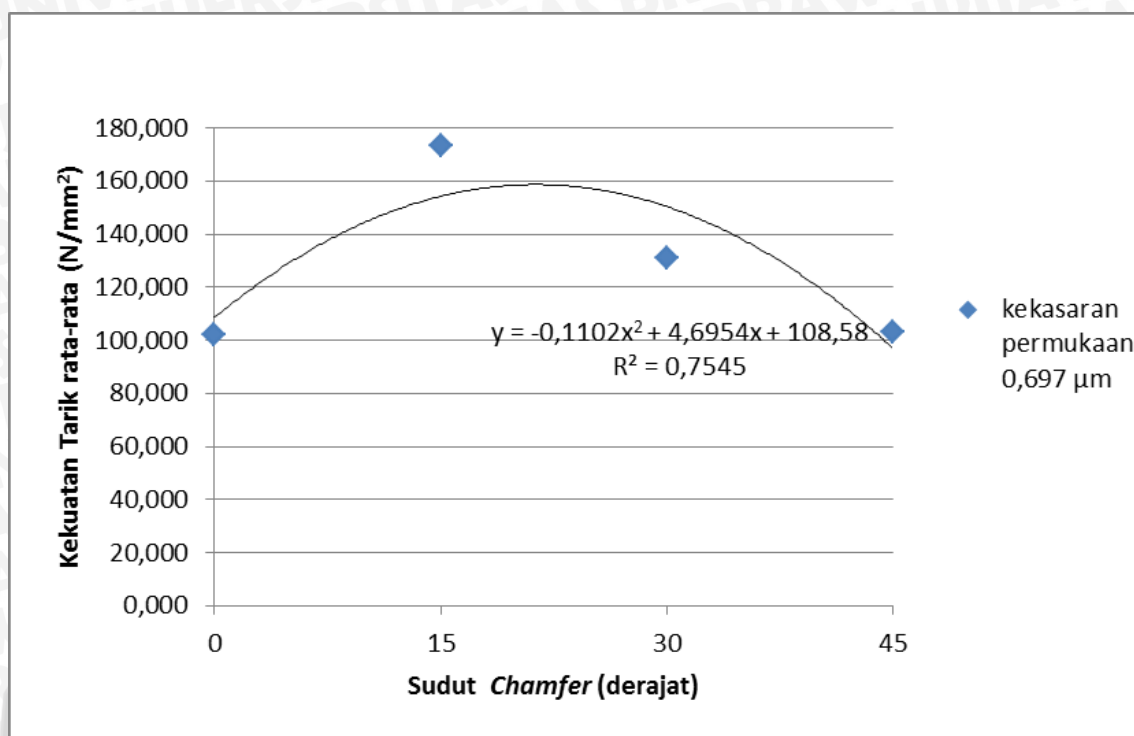
Tabel 4.5 Data Hasil Pengujian Kekerasan (VHN) Spesimen Sudut *Chamfer* 0^0 Dan Kekasaran Permukaan $1,0667 \mu\text{m}$.

Kekasaran	Sudut <i>Chamfer</i>	Daerah	Kekerasan (VHN)			Kekerasan rata-rata
			1	2	3	
$1,0667 \mu\text{m}$	0	Zpl	63,01	64,94	64,79	62,74
		Zpd	59,94	63,01	60,75	61,233
		Zud	65,71	52,27	57,96	58,646
	15	Zpl	68,42	70,78	71,65	70,283
		Zpd	65,86	66,49	67,76	66,703
		Zud	66,02	64,04	58,73	62,93

Dari Tabel 4.5 data hasil pengujian kekerasan (VHN) spesimen sudut *chamfer* 0^0 dan kekasaran permukaan $1,0667 \mu\text{m}$, dapat diketahui bahwa kekerasan rata-rata tertinggi sambungan las gesek pada spesimen dengan sudut *chamfer* 15^0 yaitu sebesar 70,283 VHN didaerah Zpl, kekerasan 66,703 VHN pada daerah Zpd, kekerasan 62,93 VHN di daerah Zud. Dan kekerasan rata-rata terendah pada spesimen dengan sudut *chamfer* 0 yaitu sebesar 62,74 VHN pada daerah Zpl, kekerasan 61,233 VHN pada daerah Zpd, kekerasan 58,646 VHN pada daerah Zud.

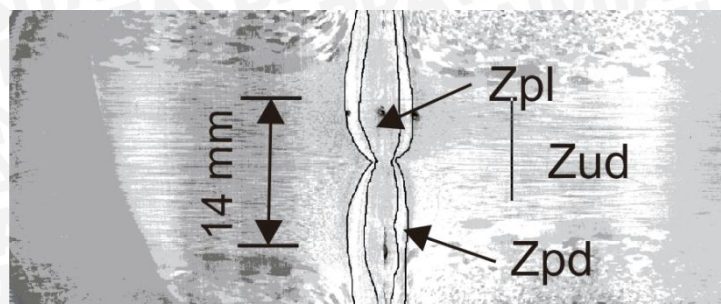
Pada spesimen dengan sudut *chamfer* 15^0 memiliki kekerasan yang lebih tinggi pada daerah Zpl, Zpd maupun Zud dibandingkan dengan spesimen sudut *chamfer* 0^0 . Hal ini karena pada spesimen dengan sudut *chamfer* 15^0 mempunyai struktur mikro dengan butiran yang lebih kecil dan rapat, hal inilah yang memungkinkan nilai kekerasannya lebih tinggi. Ukuran diameter butir dapat dilihat pada Tabel 4.4.

4.3.2 Hubungan antara sudut *chamfer* dengan kekasaran permukaan 0,697 μm

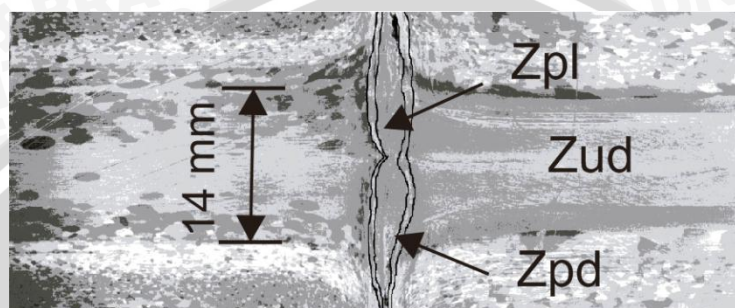


Gambar 4.6 Grafik Hubungan Antara Sudut *Chamfer* Dengan Kekasaran 0,697 μm Terhadap Kekuatan Tarik.

Pada Gambar 4.6 dapat diketahui bahwa kekuatan tarik tertinggi sambungan las gesek dengan kekasaran permukaan 0,697 μm tercapai pada sudut 15° yaitu sebesar 173,489 N/mm². Dan kekuatan tarik terendah pada sudut 0° sebesar 102,158 N/mm². Hal ini menunjukkan bahwa sudut *chamfer* akan berpengaruh terhadap bidang kontak sambungan las gesek. Semakin besar bidang kontak sambungan las gesek akan mengakibatkan turunya kekuatan tarik pada sambungan las. Hal ini disebabkan semakin besar bidang kontak sambungan las gesek akan menyebabkan semakin besar masukan panas (*heat input*), dengan semakin besar masukan panas menyebabkan daerah HAZ yang terbentuk juga semakin besar, yang mengakibatkan turunya kekuatan tarik pada sambungan las. Luasan daerah HAZ dapat dicari dari hasil foto makro seperti Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 berikut:



Gambar 4.7 Foto Makrostruktur Sudut *Chamfer* 0° Kekasaran Permukaan 0,697 μm .



Gambar 4.8 Foto Makrostruktur Sudut *Chamfer* 15° Kekasaran Permukaan 0,697 μm .

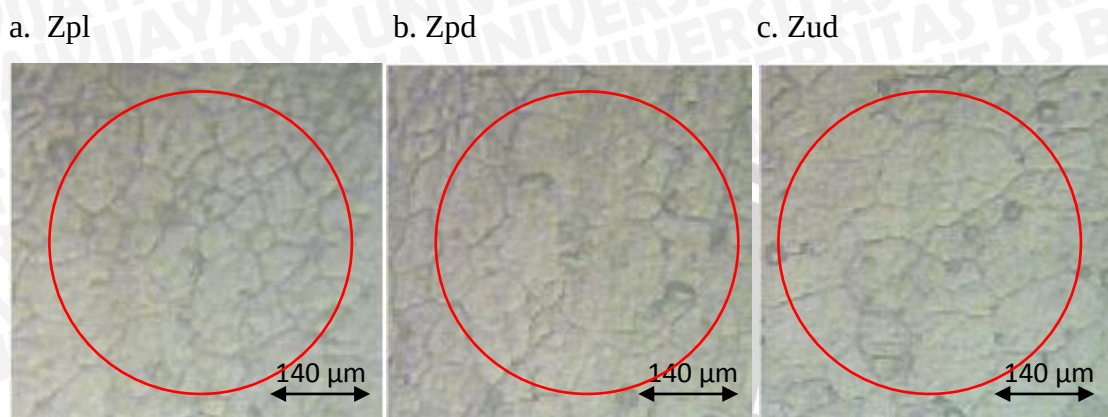
Tabel 4.6 Tabel Luas Daerah Zona *Fully Plasticide* (Zpl), Zona *Partly Deformed* (Zpd).

kekasaran permukaan 0,697 μm .		
Sudut <i>chamfer</i>	Zpl (mm ²)	Zpd (mm ²)
0°	28,706	22,858
15°	21,748	11,702

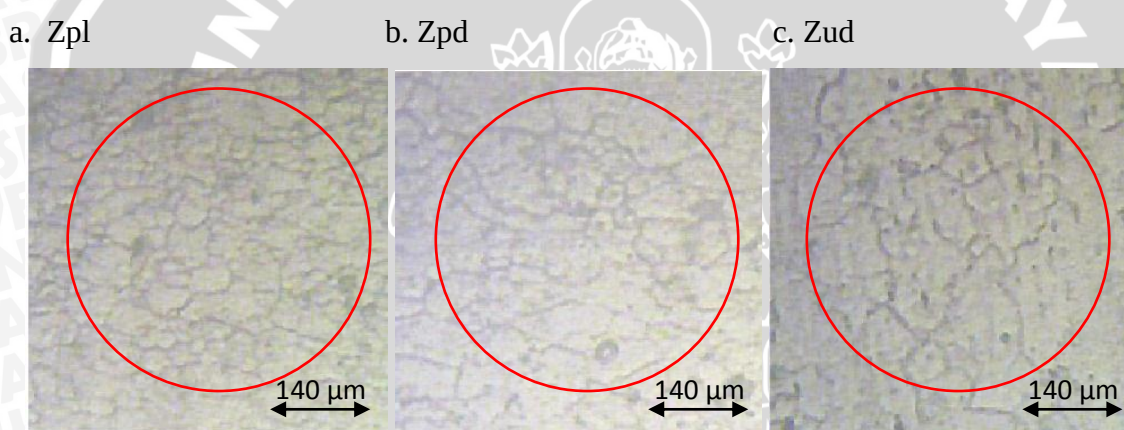
Dari Tabel 4.6 dapat kita ketahui daerah luasan sudut *chamfer* 15° memiliki daerah luasan Zpd yaitu sebesar 11,702 mm², luasan daerah Zpl sebesar 21,748 mm². Sedangkan sudut *chamfer* 0° memiliki luasan daerah Zpd sebesar 22,858 dan luasan daerah Zpl sebesar 28,706 mm². Luasan *fully plasticized region* (Zpl) ini menunjukkan seberapa besar material dapat menyatu satu sama lain selama proses pengelasan berlangsung dan seberapa besar kekuatan sambungan yang terbentuk. Semakin luas daerah Zpl maka sambungan yang terbentuk akan semakin baik dan kekuatan tariknya tinggi (Lin *et. al.* 1999). Semakin besar luas daerah HAZ yang terbentuk maka kekuatannya akan semakin menurun Sindokou (2002). Hal ini yang menyebabkan kekuatan tarik sudut *chamfer* 15° lebih besar dibandingkan sudut *chamfer* 0°, walaupun sudut *Chamfer* 0° memiliki luas daerah Zpl paling lebar, namun luas daerah Zpd yang terbentuk juga paling lebar yaitu sebesar 22,858 mm². Hal ini yang mengakibatkan menurunnya kekuatan tariknya.

4.3.2.1 Hasil foto mikrostruktur

Setelah melakukan pengujian mikrostruktur, didapat foto mikro dengan perbesaran 500 kali seperti pada gambar dibawah ini :



Gambar 4.9 Hasil Foto Mikrostruktur 500x Spesimen Dengan Sudut *Chamfer* 0° dan Kekasaran Permukaan 0,697 μm



Gambar 4.10 Hasil Foto Mikrostruktur 500x Spesimen Dengan Sudut *Chamfer* 15° dan Kekasaran Permukaan 0,697 μm

Pada Tabel 4.5 dapat dilihat hasil perhitungan diameter butir dengan menggunakan metode planimetri (*jeffris method*) yaitu menghitung besar butir persatuan luas pada lingkaran berdiameter 80 mm (luas lingkaran 5000 mm²). Metode planimetri dapat digunakan ketika didalam lingkaran minimal terdapat 50 butir.

Diameter butir diukur dari spesimen sudut *chamfer* 0° dengan kekasaran permukaan 0,697 μm dan spesimen sudut *chamfer* 15° dengan kekasaran permukaan 0,697 μm pada tiap-tiap daerah Zpl, Zpd dan Zud.

Tabel 4.7 Data Hasil Perhitungan Diameter Butir Dengan Metode Planimetri

Kekasaran	Sudut <i>Chamfer</i>	Daerah	D (μm)
0,697 μm	0°	Zpl	16,16
		Zpd	18,61
		Zud	21,66
	15°	Zpl	14,28
		Zpd	17,05
		Zud	20,1

Pada Tabel 4.7 menunjukkan ukuran butir rata-rata pada spesimen sudut *chamfer* 0° dan kekasaran permukaan 0,697 μm memiliki diameter butiran pada daerah Zpl sebesar 16,16 μm , didaerah Zpd didapatkan nilai sebesar 18,61 μm , didaerah Zud didapatkan nilai sebesar 21,66 μm . Sedangkan pada spesimen sudut *chamfer* 15° dan kekasaran permukaan 0,697 μm memiliki diameter butiran pada daerah Zpl sebesar 14,28 μm , didaerah Zpd didapatkan nilai sebesar 17,05 μm , didaerah Zud didapatkan nilai sebesar 20,1 μm . Pada daerah *fully plasticized zone* (Zpl) memiliki ukuran butir yang kecil dibandingkan zona yang lainnya. Selanjutnya *partly deformed zone* (Zpd) yang memiliki ukuran butir yang lebih kecil dari pada daerah *underformed zone* (Zud). Hal ini disebabkan karena daerah Zpl mengalami pemasukan panas yang lebih cepat dibandingkan daerah lain karena daerah ini langsung bergesekan pada saat pengelasan kemudian mengalami pendinginan cepat yang mengakibatkan butiran yang terbentuk belum sempat berkembang sehingga dihasilkan butiran yang kecil dan rapat, kemudian daerah Zpd ini merupakan daerah *heat affected zone* (HAZ) karena pada daerah ini mengalami panas sebagian yang diakibatkan proses pengelasan sehingga struktur butir yang terbentuk lebih besar dibandingkan dengan butiran daerah Zpl, dan diameter butiran yang paling besar pada daerah Zud disebabkan karena tidak terpengaruh panas secara langsung pada saat pengelasan sehingga struktur butirannya tidak banyak berubah.

Pada Table 4.7 terlihat spesimen sudut *chamfer* 15° memiliki ukuran butir yang lebih kecil dibandingkan dengan spesimen sudut *chamfer* 0°. Semakin kecil ukuran butir maka ikatan antar butir semakin kuat sehingga spesimen dengan sudut *chamfer* 15° memiliki kekuatan tarik yang tertinggi di bandingkan dengan sudut *chamfer* 0°.

4.3.2.2 Hasil Pengujian Kekerasan

Dari hasil pengujian kekerasan menggunakan *Vickers Hardness Tester* (VHN) didapat data seperti berikut :

Tabel 4.8 Data Hasil Pengujian Kekerasan (VHN) Spesimen Sudut *Chamfer* 0° Dan Kekasaran Permukaan 0,697 μm .

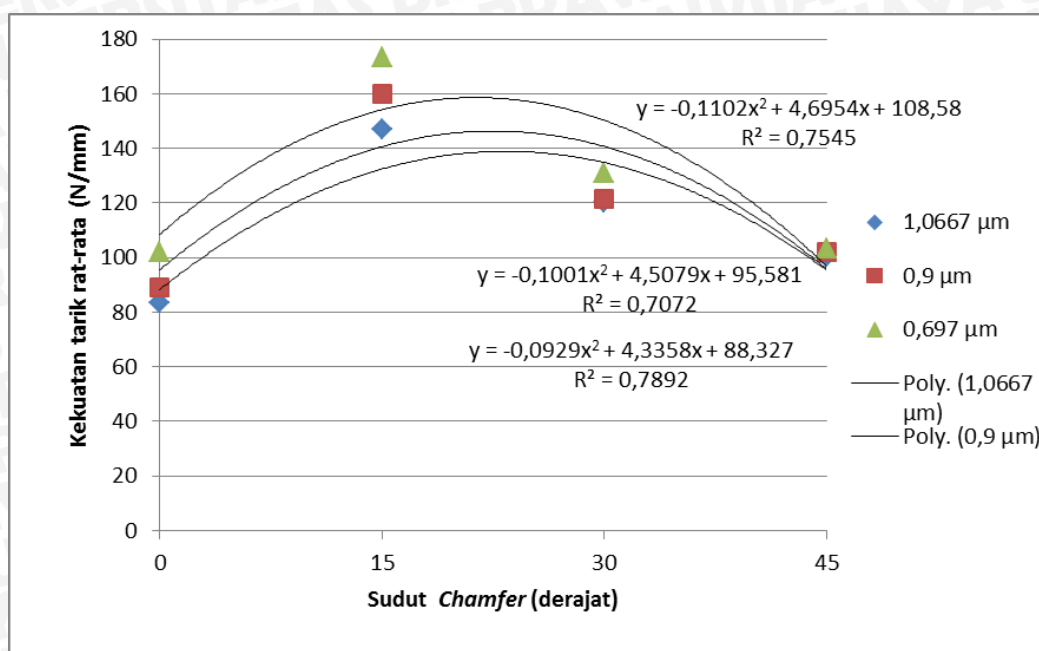
Kekasaran	Sudut <i>Chamfer</i>	Daerah	Kekerasan (VHN)			Kekerasan rata-rata
			1	2	3	
0,697 μm	0	Zpl	67,93	67,12	66,02	67,023
		Zpd	64,04	63,3	65,6	64,313
		Zud	61,03	59,6	54,42	58,350
	15	Zpl	75,3	70,49	69,41	71,733
		Zpd	65,4	65,55	67,44	66,130
		Zud	67,76	60,07	61,72	63,183

Dari Tabel 4.8 data hasil pengujian kekerasan (VHN) spesimen sudut *chamfer* 0° dan kekasaran permukaan 0,697 μm , dapat diketahui bahwa kekerasan rata-rata tertinggi sambungan las gesek pada spesimen dengan sudut *chamfer* 15° yaitu sebesar 71,733 VHN di daerah Zpl, kekerasan 66,13 VHN pada daerah Zpd, kekerasan 63,183 VHN di daerah Zud. Dan kekerasan rata-rata terendah pada spesimen dengan sudut *chamfer* 0° yaitu sebesar 67,023 VHN pada daerah Zpl, kekerasan 64,313 VHN pada daerah Zpd, kekerasan 58,35 VHN pada daerah Zud.

Pada spesimen dengan sudut *chamfer* 15° memiliki kekerasan yang lebih tinggi pada daerah Zpl, Zpd maupun Zud dibandingkan dengan spesimen sudut *chamfer* 0°. Hal ini karena pada spesimen dengan sudut *chamfer* 15° mempunyai struktur mikro dengan butiran yang lebih kecil dan rapat, hal inilah yang memungkinkan nilai kekerasannya lebih tinggi. Ukuran diameter butir dapat dilihat pada tabel 4.7 data hasil perhitungan diameter butir dengan metode planimetri.

4.2.3 Hubungan sudut *chamfer* dan kekasaran permukaan kontak 1,0667 μm , 0,9 μm , dan 0,697 μm terhadap kekuatan tarik sambungan las gesek.

Berdasarkan hasil pengujian kekuatan tarik dapat diketahui nilai kekuatan tarik rata-rata dari spesimen. Dengan variasi sudut *chamfer* dan kekasaran permukaan. Hubungan antara kekuatan tarik dengan sudut *chamfer* serta kekasaran permukaan dapat dilihat pada gambar 4.11



Gambar 4.11 Grafik Hubungan Antara Sudut *Chamfer* Dengan Kekasaran Permukaan Kontak Terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Las Gesek.

Dari Gambar 4.11 dapat dilihat bahwa kekuatan tarik tertinggi dari semua variasi tercapai pada sudut *chamfer* 15^0 dengan kekasaran permukaan kontak $0,697 \mu\text{m}$ yaitu sebesar $173,489 \text{ N/mm}^2$ dan kekuatan tarik terendah terdapat pada sudut *chamfer* 0^0 dengan kekasaran permukaan kontak $1,0667 \mu\text{m}$ yaitu sebesar $83,459 \text{ N/mm}^2$.

Jika semakin besar masukan panas, maka HAZ yang terbentuk semakin besar dan mengakibatkan kekuatan tariknya menurun (Kou, 2002). Masukan panas ini disebabkan karena kekasaran permukaan bidang kontak yang berbeda-beda pada saat pengelasan.

Pada variasi sudut *chamfer* 0^0 dengan kekasaran permukaan kontak $1,0667 \mu\text{m}$ terlihat dari hasil foto makro memiliki daerah luasan Zpd yang lebih besar dibandingkan dengan sudut *chamfer* lainnya. Ini disebabkan karena semakin kasar dan lebar bidang kontak maka panas yang dihasilkan akan semakin besar, ini yang mengakibatkan sudut *chamfer* 0^0 memiliki kekuatan tarik terendah. Sedangkan pada variasi sudut *chamfer* 15^0 dengan kekasaran permukaan kontak $0,697 \mu\text{m}$ memiliki kekuatan tarik tertinggi dikarenakan karena memiliki nilai kekasaran permukaan kontak yang lebih kecil dan luas bidang kontak yang kecil pula maka panas yang dihasilkan lebih rendah maka Luas Zpd yang terbentuk akan semakin kecil ini ditunjukkan pada hasil foto makro pada tabel 4.6 Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan sudut *chamfer* dan kekasaran bidang kontak pada sambungan las gesek memberikan pengaruh terhadap kekuatan tarik yang terbentuk.

BAB V

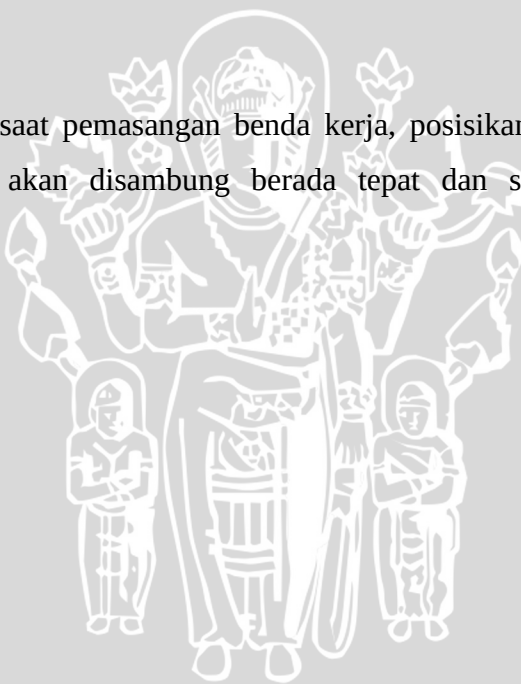
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Dari penelitian didapatkan bahwa kekasaran bidang kontak berpengaruh terhadap kekuatan tarik sambungan las gesek, dengan kekuatan tarik rata-rata tertinggi pada sudut *chamfer* 15° pada kekasaran permukaan bidang kontak $0,697 \mu\text{m}$ sebesar $173,489 \text{ N/mm}^2$ dan kekuatan tarik terendah pada sudut *chamfer* 0° pada kekasaran permukaan bidang kontak $1,0667 \mu\text{m}$ sebesar $83,459 \text{ N/mm}^2$.
2. Kekuatan tarik pada pengelasan gesek aluminium paduan Al-Mg-Si akan meningkat seiring dengan semakin kecilnya luasan bidang kontak dan semakin kecilnya nilai kekasaran bidang kontak.

5.2 Saran

1. Pada proses pengelasan, saat pemasangan benda kerja, posisikan sedemikian mungkin agar benda kerja yang akan disambung berada tepat dan sejajar, sehingga hasil pengelasan dapat sejajar.



DAFTAR PUSTAKA

Aalco (2013). <http://www.aalco.co.uk>. (diakses 27 mei 2014).

Althouse Andre D, dkk, 1980 *Modern welding*. The Hood wincox Company. INC

Astrom, P, and Näsström, M. 2006. Optimization Of Parameter In A Friction Model For Friction Welding Simulation of Ti-6246. Materials Park, Ohio : ASM International. pp. 849-854. Avinash. 2007. *Microstructure and Mechanical Behaviour Of Rotary Friction Welded Titanium Alloys. Proceeding Of World Academy Of Science*.

Can, Ahmet; Şahin, Mümin dan Küçük, Mahmut. 2010. Modeling of Friction Welding. International Science Conference

Harsono, Wiryosumarto; Okumura toshi. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: PT. Pradnya paramita.

Heine, Richard W. 1985. *Principles Of Metal Casting* . New Delhi: Tata Mcgraw Hill, Publishing Company Ltd.

Irawan, Yudy Surya; Marsoedi Wirohardjo, dan Moch. Syamsul Ma'arif 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*.

Kou, Sindo. 2002. *Welding Metallurgy*. Department Of Material Science And Engineering. Universitas Of Wisconsin. New Jersey : John Wiley & Sons, Inc.

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. Departement Og Mechanical Engineering. Tamkang University. Taiwan*.

Manufacturing Tecnology INC. <http://www.mtiwelding.com>. (diakses 25 mei 2014)

Santoso, Eko Budi; Irawan, Yudy Surya, dan Sutikno, Endi. 2012. Pengaruh Sudut Chamfer Dan Gaya Tekan Akhir Terhadap Kekuatan Tarik Dan Porositas Sambungan Las Gesek Pada Paduan Al-Mg-S. Malang: Jurnal Rekayasa Mesin. Vol.03.01,Pp 293-298.

Suardi, Samsi. 2011. Pengembangan FSW Pada Material AC4CH. Universitas Indonesia, Depok, Indonesia.

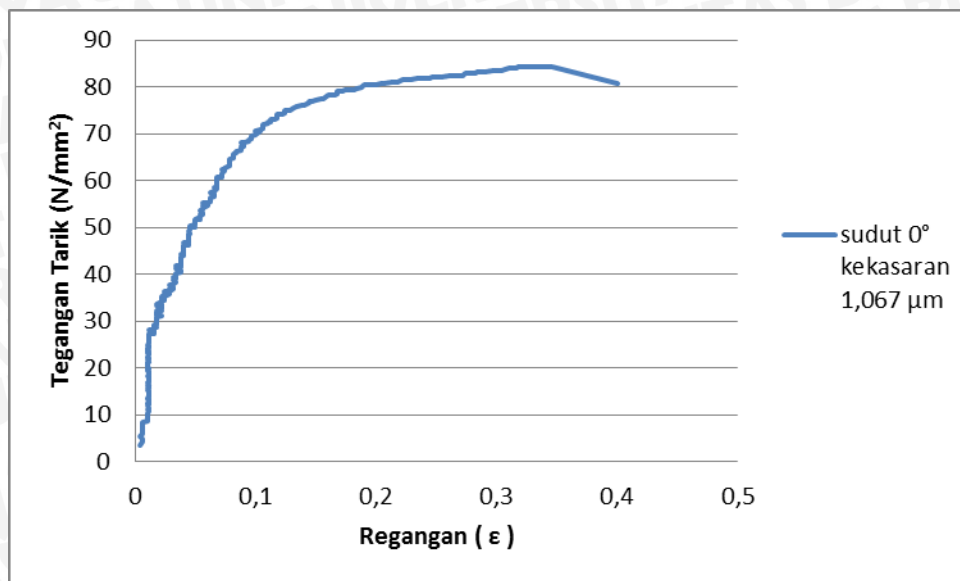
Surdia, Tata. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: PT.Pradnya paramita

Sathiya, P, S. Aravindan . A, Noorul Haq 2006. *Effect Of Friction Welding Parameters On Mechanical And Metallurgical Properties Of Ferritic Stainless Steel*. London: Int J Adv Manuf Technol (2007) 31: 1076–1082
Standart Book Of JIS. 1980 JIS 2201

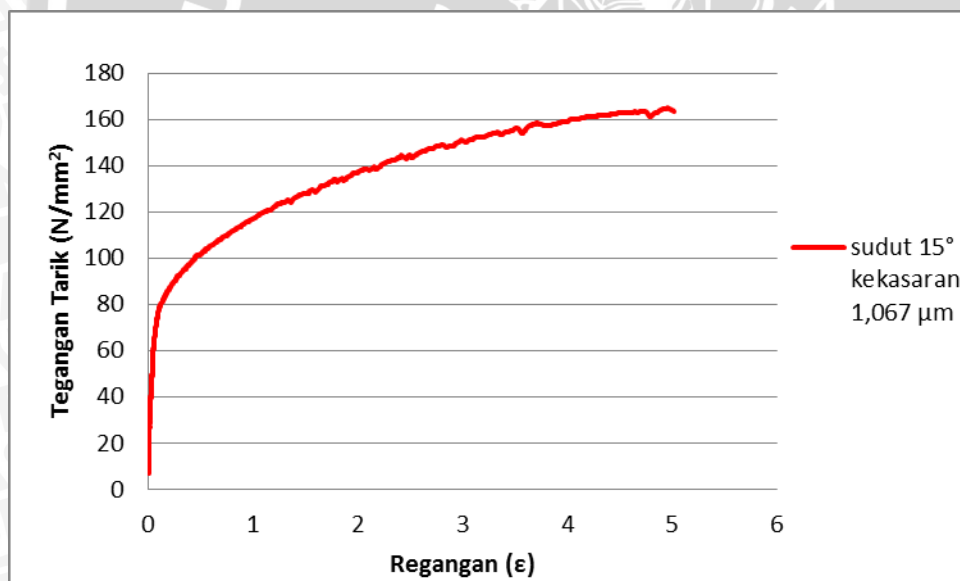


Lampiran 1 Diagram Tegangan Regangan Sambungan Las Gesek Al-Mg-Si

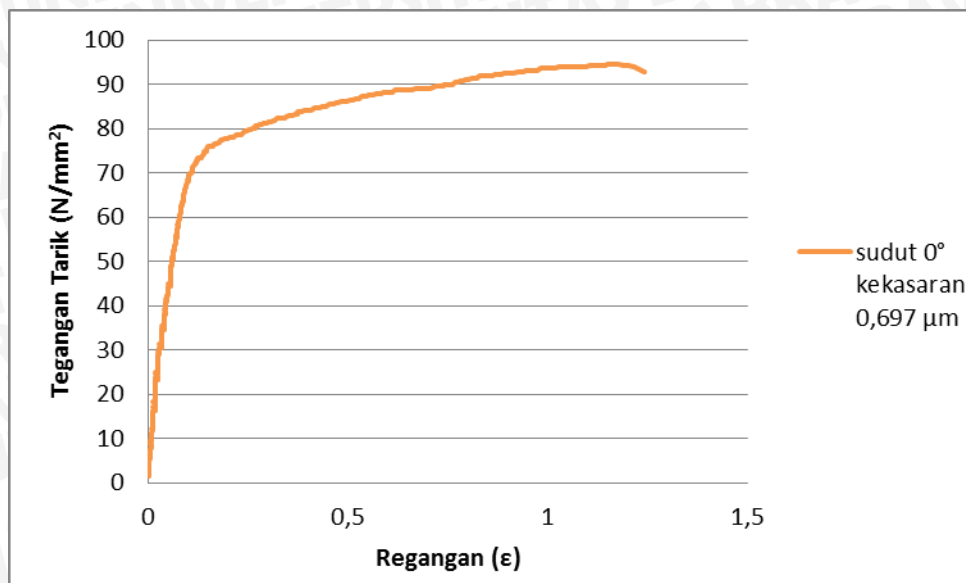
1. Hubungan Tegangan Regangan Sudut *Chamfer* 0° Kekasaran $1,067 \mu\text{m}$



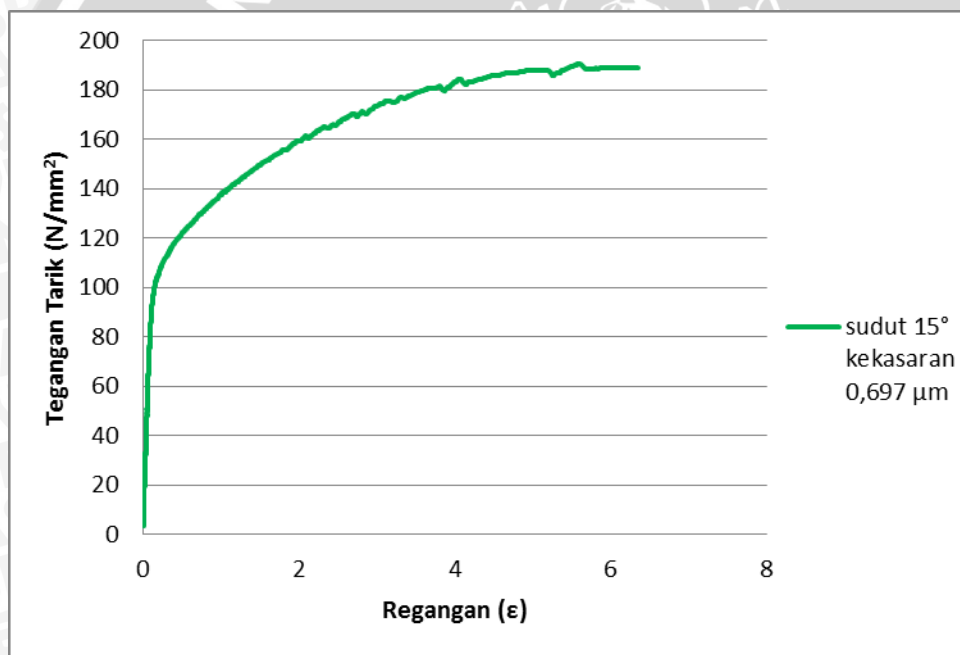
2. Hubungan Tegangan Regangan Sudut *Chamfer* 15° Kekasaran $1,067 \mu\text{m}$



3. Hubungan Tegangan Regangan Sudut *Chamfer* 0° Kekasaran 0,697 μm



4. Hubungan Tegangan Regangan Sudut *Chamfer* 15° Kekasaran 0,697 μm



Lampiran 2 Foto Benda Kerja

a. Sudut *chamfer* 0° kekasaran $1,0667 \mu\text{m}$

Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3
		
Setelah proses pengelasan	Setelah proses pengelasan	Setelah proses pengelasan
		
Sebelum pengujian tarik	Sebelum pengujian tarik	Sebelum pengujian tarik
		
Setelah pengujian tarik	Setelah pengujian tarik	Setelah pengujian tarik

b. Sudut *chamfer* 15° kekasaran 1,0667 μm

Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3
		
Setelah proses pengelasan	Setelah proses pengelasan	Setelah proses pengelasan
		
Sebelum pengujian tarik	Sebelum pengujian tarik	Sebelum pengujian tarik
		
Setelah pengujian tarik	Setelah pengujian tarik	Setelah pengujian tarik

c. Sudut *chamfer* 30° kekasaran 1,0667 μm

Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3
		
Setelah proses pengelasan	Setelah proses pengelasan	Setelah proses pengelasan
		
Sebelum pengujian tarik	Sebelum pengujian tarik	Sebelum pengujian tarik
		
Setelah pengujian tarik	Setelah pengujian tarik	Setelah pengujian tarik

d. Sudut *chamfer* 45° kekasaran 1,0667 μm

Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3
		
Setelah proses pengelasan	Setelah proses pengelasan	Setelah proses pengelasan
		
Sebelum pengujian tarik	Sebelum pengujian tarik	Sebelum pengujian tarik
		
Setelah pengujian tarik	Setelah pengujian tarik	Setelah pengujian tarik

e. Sudut *chamfer* 0° kekasaran 0,9 μm

Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3
		
Setelah proses pengelasan	Setelah proses pengelasan	Setelah proses pengelasan
		
Sebelum pengujian tarik	Sebelum pengujian tarik	Sebelum pengujian tarik
		
Setelah pengujian tarik	Setelah pengujian tarik	Setelah pengujian tarik

f. Sudut *chamfer* 15° kekasaran 0,9 µm

Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3
		
Setelah proses pengelasan	Setelah proses pengelasan	Setelah proses pengelasan
		
Sebelum pengujian tarik	Sebelum pengujian tarik	Sebelum pengujian tarik
		
Setelah pengujian tarik	Setelah pengujian tarik	Setelah pengujian tarik

g. Sudut *chamfer* 30° kekasaran 0,9 µm

Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3
		
Setelah proses pengelasan	Setelah proses pengelasan	Setelah proses pengelasan
		
Sebelum pengujian tarik	Sebelum pengujian tarik	Sebelum pengujian tarik
		
Setelah pengujian tarik	Setelah pengujian tarik	Setelah pengujian tarik

h. Sudut *chamfer* 45° kekasaran 0,9 µm

Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3
		
Setelah proses pengelasan	Setelah proses pengelasan	Setelah proses pengelasan
		
Sebelum pengujian tarik	Sebelum pengujian tarik	Sebelum pengujian tarik
		
Setelah pengujian tarik	Setelah pengujian tarik	Setelah pengujian tarik

i. Sudut *chamfer* 0° kekasaran 0,697 µm

Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3
		
Setelah proses pengelasan	Setelah proses pengelasan	Setelah proses pengelasan
		
Sebelum pengujian tarik	Sebelum pengujian tarik	Sebelum pengujian tarik
		
Setelah pengujian tarik	Setelah pengujian tarik	Setelah pengujian tarik

j. Sudut *chamfer* 15° kekasaran 0,697 µm

Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3
------------	------------	------------

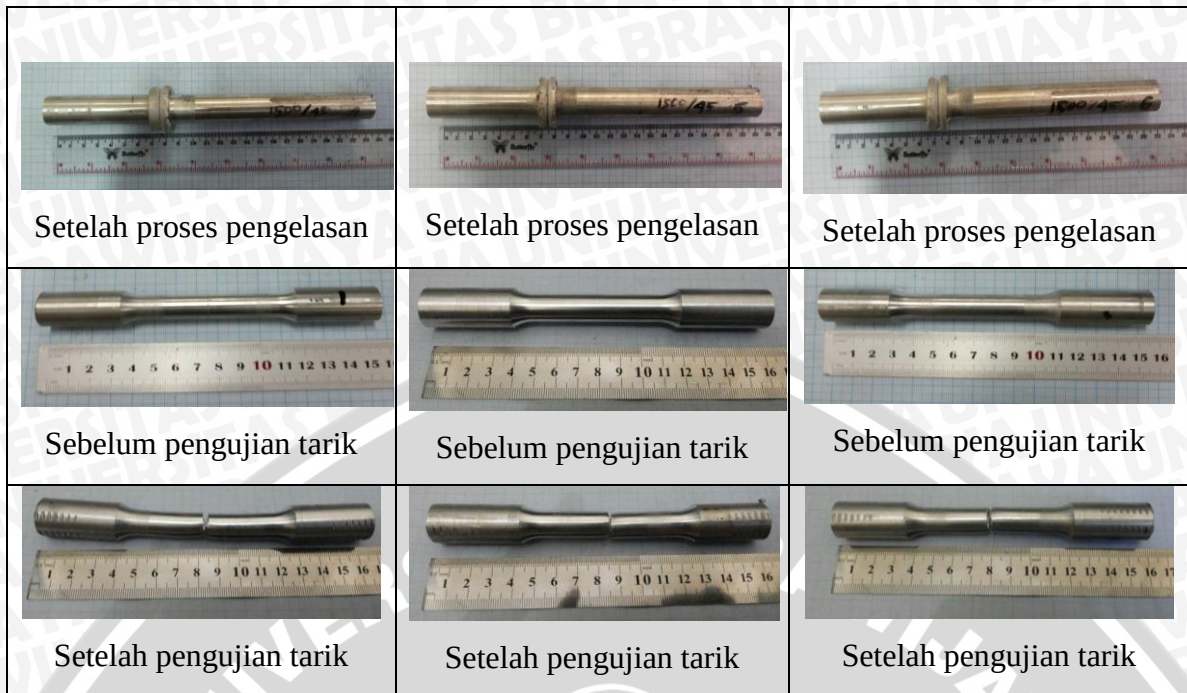
		
Setelah proses pengelasan	Setelah proses pengelasan	Setelah proses pengelasan
		
Sebelum pengujian tarik	Sebelum pengujian tarik	Sebelum pengujian tarik
		
Setelah pengujian tarik	Setelah pengujian tarik	Setelah pengujian tarik

k. Sudut *chamfer* 30° kekasaran 0,697 μm

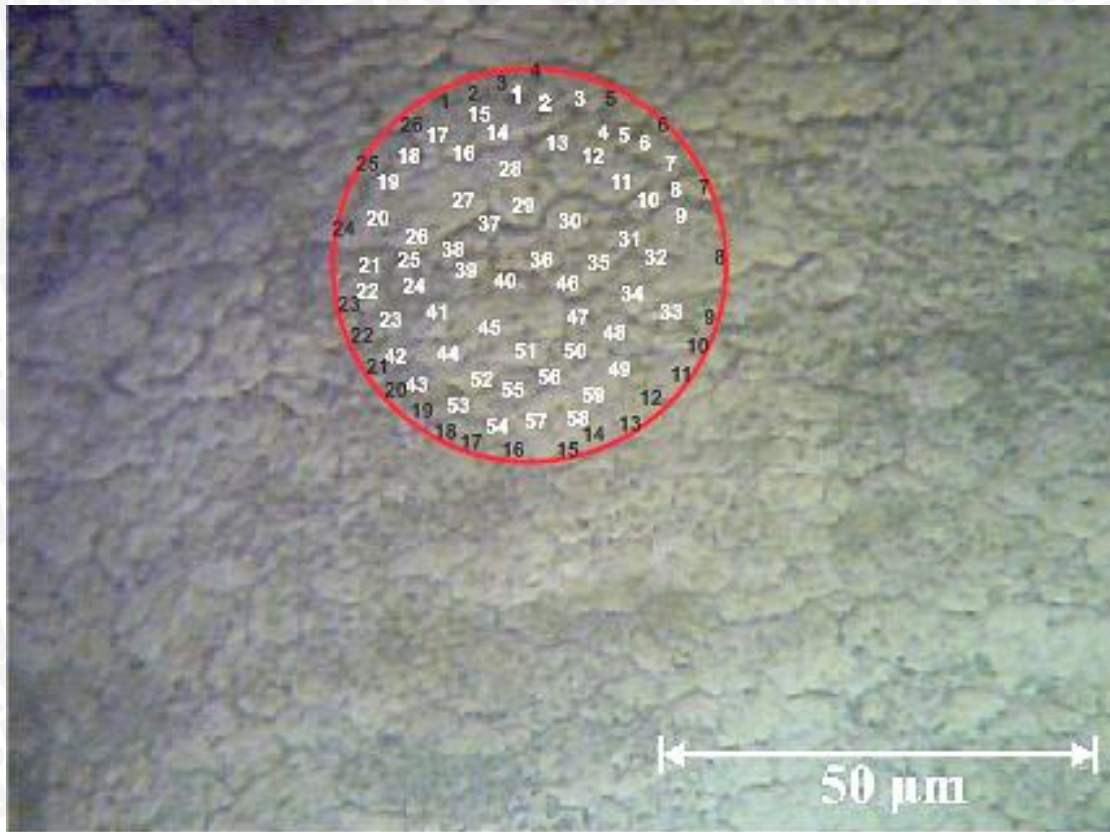
Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3
		
Setelah proses pengelasan	Setelah proses pengelasan	Setelah proses pengelasan
		
Sebelum pengujian tarik	Sebelum pengujian tarik	Sebelum pengujian tarik
		
Setelah pengujian tarik	Setelah pengujian tarik	Setelah pengujian tarik

l. Sudut *chamfer* 45° kekasaran 0,697 μm

Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3
------------	------------	------------



Lampiran 3 Perhitungan Jumlah Butir Sudut Chamfer 0° Dan Kekasaran Permukaan 1,0667 μm .



Lampiran 4 Tabel ASTM E 112



TABLE 4 Grain Size Relationships Computed for Uniform, Randomly Oriented, Equiaxed Grains

Grain Size No. G	$\bar{N}_A$ Grains/Unit Area		$\bar{A}$ Average Grain Area		$\bar{d}$ Average Diameter		$\bar{L}$ Mean Intercept		$\bar{N}_L$
	No./in. ² at 100X	No./mm ² at 1X	mm ²	μm ²	mm	μm	mm	μm	
0.0	0.25	3.88	0.2581	258064	0.5080	508.0	0.4525	452.5	2.21
0	0.50	7.75	0.1290	129032	0.3592	359.2	0.3200	320.0	3.12
0.5	0.71	10.96	0.0912	91239	0.3021	302.1	0.2691	269.1	3.72
1.0	1.00	15.50	0.0645	64516	0.2540	254.0	0.2263	226.3	4.42
1.5	1.41	21.92	0.0456	45620	0.2136	213.6	0.1903	190.3	5.26
2.0	2.00	31.00	0.0323	32258	0.1796	179.6	0.1600	160.0	6.25
2.5	2.83	43.84	0.0228	22810	0.1510	151.0	0.1345	134.5	7.43
3.0	4.00	62.00	0.0161	16129	0.1270	127.0	0.1131	113.1	8.84
3.5	5.66	87.68	0.0114	11405	0.1068	106.8	0.0951	95.1	10.51
4.0	8.00	124.00	0.00806	8065	0.0898	89.8	0.0800	80.0	12.50
4.5	11.31	175.36	0.00570	5703	0.0755	75.5	0.0673	67.3	14.87
5.0	16.00	248.00	0.00403	4032	0.0635	63.5	0.0566	56.6	17.68
5.5	22.63	350.73	0.00285	2851	0.0534	53.4	0.0476	47.6	21.02
6.0	32.00	496.00	0.00202	2016	0.0449	44.9	0.0400	40.0	25.00
6.5	45.25	701.45	0.00143	1426	0.0378	37.8	0.0336	33.6	29.73
7.0	64.00	992.00	0.00101	1008	0.0318	31.8	0.0283	28.3	35.36
7.5	90.51	1402.9	0.00071	713	0.0267	26.7	0.0238	23.8	42.04
8.0	128.00	1984.0	0.00050	504	0.0225	22.5	0.0200	20.0	50.00
8.5	181.02	2805.8	0.00036	356	0.0189	18.9	0.0168	16.8	59.46
9.0	256.00	3968.0	0.00025	252	0.0159	15.9	0.0141	14.1	70.71
9.5	362.04	5611.6	0.00018	178	0.0133	13.3	0.0119	11.9	84.09
10.0	512.00	7936.0	0.00013	126	0.0112	11.2	0.0100	10.0	100.0
10.5	724.08	11223.2	0.000089	89.1	0.0094	9.4	0.0084	8.4	118.9
11.0	1024.00	15872.0	0.000063	63.0	0.0079	7.9	0.0071	7.1	141.4
11.5	1448.15	22446.4	0.000045	44.6	0.0067	6.7	0.0060	5.9	168.2
12.0	2048.00	31744.1	0.000032	31.5	0.0056	5.6	0.0050	5.0	200.0
12.5	2896.31	44892.9	0.000022	22.3	0.0047	4.7	0.0042	4.2	237.8
13.0	4096.00	63488.1	0.000016	15.8	0.0040	4.0	0.0035	3.5	282.8
13.5	5792.62	89785.8	0.000011	11.1	0.0033	3.3	0.0030	3.0	336.4
14.0	8192.00	126076.3	0.000008	7.9	0.0028	2.8	0.0025	2.5	400.0



Lampiran 5 Foto Alat Yang Digunakan

1. MESIN BUBUT



2. POWER HACKSAW



3. MESIN UJI TARIK



4. CENTRIFUGAL SEND PAPER MACHINE



5. Digital Micro Vickers Hardness Tester TH712

