PENGARUH SUDUT *CHAMFER* SATU SISI DAN *FRICTION TIME* TERHADAP KEKUATAN PUNTIR PADA SAMBUNGAN LAS GESEK Al-Mg-Si

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

MUHAMAD AMIRULLAH
NIM. 105060200111042-62

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2015

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LEMBAR PERSETUJUAN

PENGARUH SUDUT *CHAMFER* SATU SISI DAN *FRICTION TIME* TERHADAP KEKUATAN PUNTIR PADA SAMBUNGAN LAS GESEK Al-Mg-Si

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

MUHAMAD AMIRULLAH
NIM. 105060200111042-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II
Dr.Eng.Yudy Surya Irawan, ST., M.Eng	**Ir. Tjuk Oerbandono. Msc., CSE**
NIP. 19750710 199903 1 004	**NIP. 199670923 199303 1 002**

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH SUDUT *CHAMFER* SATU SISI DAN *FRICTION TIME* TERHADAP KEKUATAN PUNTIR PADA SAMBUNGAN LAS GESEK Al-Mg-Si

SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

MUHAMAD AMIRULLAH
NIM. 105060200111042-62

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

Majelis Penguji

Skripsi I

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

Skripsi II

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

Skripsi III

Bayu Satriya Wardhana,ST.,M.Eng.
NIP. 19841007 201212 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* Satu Sisi Dan *Friction Time* Terhadap Kekuatan Puntir Pada 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. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayahnya karena berkatnyalah skripsi ini diberikan kelancaran, kemudahan dan kesempurnaan pada saat proses pembuatan dan pengujiannya.
2. Nabi besar Muhammad SAW
3. Bapak Munadji, Ibu Anik Suprami, kakak saya Anita Puspita Sari dan seluruh anggota keluarga yang telah memberikan banyak dukungan baik berupa doa, semangat, materi dan nasehat hingga terselesaikannya penulisan tugas akhir ini.
4. Bapak Dr.Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
5. Bapak Purnami, ST., MT. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
6. Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, MSc. Selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Produksi Jurusan Mesin Fakultas teknik Universitas Brawijaya dan Dosen Pembimbing II yang dengan sabar memberikan bimbingan dan arahan untuk kesempurnaan penulisan tugas akhir ini..
7. 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.
8. Seluruh Dosen dan Karyawan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang yang bersedia berbagi ilmunya.
9. Teman-teman Asisten Laboratorium Proses Produksi 1 terimakasih atas segala motivasi, semangat dan doa yang senantiasa menghujani keseharianku demi kemudahan-kemudahan yang kudapat hingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini sekarang.

10. Teman-teman Jurusan Mesin, khususnya keluarga besar IMMORTAL (M10) khususnya Agung, Hafid, dan Ramdha yang telah membagi ilmunya dan banyak membantu pelaksanaan penelitian dan seminar, hingga terselesaikannya laporan tugas akhir ini.
11. Teman-Teman seperjuang dalam penyelesaian skripsi ini Dayat,Rama, Alfian dan Bustanul yang selalu memberi semangat dan motivasi setiap hari.
12. Teman-teman Kontrakan Auliya, Adit, dan lainnya 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

KATA PENGANTAR i
DAFTAR ISI iii
DAFTAR TABEL v
DAFTAR GAMBAR vi
DAFTAR LAMPIRAN viii
DAFTAR SIMBOL ix
RINGKASAN x
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Batasan Masalah 2
1.4 Tujuan Penelitian 2
1.5 Manfaat Penelitian 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 4
2.1 Penelitian Sebelumnya 4
2.2 Aluminium 4
2.2.1 Sifat - sifat Aluminium 5
2.2.2 Klasifikasi Paduan Aluminium 6
2.2.3 Sifat Mampu Las Aluminium 7
2.3 Pengelasan 8
2.4 *Friction Welding* 10
2.4.1 *Contionus Drive Friction Welding* 11
2.5 Kelebihan *Friction Welding* 13
2.6 Pengujian Sambungan Las 13
2.6.1 Macam-macam Pengujian 13
2.6.2 Pengujian Puntir 14
2.7 Kegunaan Las Gesek 17
2.8 Energi Input 17
2.9 Daerah *Heat Affcted Zone* (HAZ) 19
2.10 Hipotesis 20
BAB III METODE PENELITIAN 21
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian 21

3.2 Variabel Penelitian 21
3.2.1 Variabel Bebas 21
3.2.2 Variabel Terikat 21
3.2.3 Variabel Terkontrol 22
3.3 Spesifikasi Alat dan Bahan 22
3.3.1 Spesifikasi Alat 22
3.3.2 Bahan 23
3.4 Instalasi Penelitian 24
3.5 Prosedur Penelitian 24
3.5.2 Pengujian Uji Puntir 25
3.6 Diagram Alir Penelitian 26
BAB IV PEMBAHASAN 28
4.1 Data Hasil Pengujian Kekuatan Puntir 28
4.2. Pembahasan 31
4.2.1. Hubungan *friction time* 90 detik dan sudut *chamfer* satu sisi terhadap kekuatan puntir sambungan las. 31
4.2.2. Hubungan *friction time* 120 detik dan sudut *chamfer* satu sisi terhadap kekuatan puntir sambungan las. 34
4.2.3. Hubungan *friction time* 150 detik dan sudut *chamfer* satu sisi terhadap kekuatan puntir sambungan las. 37
4.2.4. Hubungan *friction time* 180 detik dan sudut *chamfer* satu sisi terhadap kekuatan puntir sambungan las. 39
4.2.5. Hubungan *friction time* dan sudut *chamfer* satu sisi 11,5^{o}, 15 ^{o},30 ^{o}, dan 45 ^{o} terhadap kekuatan puntir sambungan las. 42
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 45
5.1 Kesimpulan 45
5.2 Saran 45
DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat Fisik Aluminium 5
Tabel 2.2 Sifat Mekanik Aluminium 5
Tabel 3.1 Kandungan Unsur Paduan 23
Tabel 3.2 Kandungan Komposisi Material Spesimen Yang Akan diuji 23
Tabel 3.3 Jumlah Spesimen Las Gesek 23
Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Kekuatan Puntir Dalam Bentuk Tegangan Geser waktu 90 Detik 29
Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Kekuatan Puntir Dalam Bentuk Tegangan Geser waktu 120 Detik 30
Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Kekuatan Puntir Dalam Bentuk Tegangan Geser waktu 150 Detik 30
Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Kekuatan Puntir Dalam Bentuk Tegangan Geser waktu 180 Detik 31
Tabel 4.5 Luasan Daerah *Fully Plasticized Zone* (Zpl), *Partly Deformed Zone* (Zpd) or HAZ, *Undeformed Zone* (Zud), *Porosity Zone* (Zpr)..... 33
Tabel 4.6 Luasan Daerah *Fully Plasticized Zone* (Zpl), *Partly Deformed Zone* (Zpd) or HAZ, *Undeformed Zone* (Zud), *Porosity Zone* (Zpr)..... 36
Tabel 4.7 Luasan daerah *Fully Plasticized Zone* (Zpl), *Partly Deformed Zone* (Zpd) or HAZ, *Undeformed Zone* (Zud), *Porosity Zone* (Zpr)..... 39
Tabel 4.8 Luasan daerah *Fully Plasticized Zone* (Zpl), *Partly Deformed Zone* (Zpd) or HAZ, *Undeformed Zone* (Zud), *Porosity Zone* (Zpr)..... 42

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Klasifikasi cara pengelasan 9
Gambar 2.2 Klasifikasi cara pemotongan pada pengelasan 9
Gambar 2.3 Mekanisme las gesek 10
Gambar 2.4 *Friction stir welding* 11
Gambar 2.5 *Contionus drive friction welding* 12
Gambar 2.6 Parameter friction welding 12
Gambar 2.7 Alat uji puntir 14
Gambar 2.8 Pengujian puntir pada benda uji silinder 15
Gambar 2.9 Keadaan tegangan pada benda uji silinder pejal yang mengalami uji puntir 16
Gambar 2.10 jenis kegagalan material dalam pembebanan puntir. 16
Gambar 2.11 Aplikasi las gesek pada paduan Al-Mg-Si 17
Gambar 2.12 *friction surface dan friction ring (dr)* 18
Gambar 2.13 Fully plasticized region (zpl)partly deformed region (zpd)dan undeformed region (zud) 19
Gambar 3.1 Bentuk dimensi benda kerja 23
Gambar 3.2 Skema alat pengelasan gesek 24
Gambar 3.3 Dimensi benda kerja uji puntir ASTM E-143 25
Gambar 3.4 Alur penelitian 27
Gambar 4.1 Grafik hubungan antara hubungan antara sudut *chamfer* dengan *friction time* 90 detik terhadap kekuatan puntir sambungan las gesek 32
Gambar 4.2 Foto makrostruktur sudut 11,5° waktu 90 detik 32
Gambar 4.3 Foto makrostruktur sudut 15° waktu 90 detik 33
Gambar 4.4 Foto makrostruktur sudut 30° waktu 90 detik 33
Gambar 4.5 Foto makrostruktur sudut 45° waktu 90 detik 33
Gambar 4.6 Grafik hubungan antara hubungan antara sudut *chamfer* dengan *friction time* 120 detik terhadap kekuatan puntir sambungan las gesek 35
Gambar 4.7 Foto makrostruktur sudut 11,5° waktu 120 detik 35
Gambar 4.8 Foto makrostruktur sudut 15° waktu 120 detik 36
Gambar 4.9 Foto makrostruktur sudut 30° waktu 120 detik 36
Gambar 4.10 Foto makrostruktur sudut 45° waktu 120 detik 36
Gambar 4.11 Grafik hubungan antara hubungan antara sudut *chamfer* dengan friction time 150 detik terhadap kekuatan puntir sambungan las gesek 37

Gambar 4.12 Foto makrostruktur sudut 11,5° waktu 150 detik..... 38
Gambar 4.13 Foto makrostruktur sudut 15° waktu 150 detik..... 38
Gambar 4.14 Foto makrostruktur sudut 30° waktu 150 detik..... 39
Gambar 4.15 Foto makrostruktur sudut 45° waktu 150 detik..... 39
Gambar 4.16 Grafik hubungan antara hubungan antara sudut *chamfer* dengan *friction time* 180 detik terhadap kekuatan puntir sambungan las gesek..... 40
Gambar 4.17 Foto makrostruktur sudut 11,5° waktu 180 detik..... 41
Gambar 4.18 Foto makrostruktur sudut 15° waktu 180 detik..... 41
Gambar 4.19 Foto makrostruktur sudut 30° waktu 180 detik..... 41
Gambar 4.20 Foto makrostruktur sudut 45° waktu 180 detik..... 41
Gambar 4.21 Grafik hubungan antara hubungan antara sudut *chamfer* terhadap kekuatan puntir sambungan las gesek 42
Gambar 4.22 Grafik hubungan antara hubungan antara *friction time* terhadap kekuatan puntir sambungan las gesek..... 43
Gambar 4.23 Foto SEM Patahan Hasil Uji Puntir A) Patahan 11€5• *friction time* 90 detik bagian tengah τmax=145,71 MPa; B) Patahan 15° *friction time* 150 detik bagian tengah τmax= 75,23 MPa; C) Patahan 11,5° *friction time* 90 detik bagian pinggir τmax=145,71 MPa; D) Patahan 15° *friction time* 150 detik bagian pinggir τmax=75,23 MPa 44

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Uji Komposisi Material
Lampiran 2. Foto Benda Kerja
Lampiran 3. Surat Keterangan Pengujian
Lampiran 4. Perhitungan Konstanta Pegas
Lampiran 5. Foto SEM

DAFTAR SIMBOL

Besaran dasar	Satuan dan singkatannya	Simbol
Gaya	kilogram force (kgf)	F
Panjang	Meter (m)	l
Putaran	Radius per menit (rpm)	n
Sudut	Derajat (°)	x
Waktu	Detik	t
Luas penampang	Milimeter persegi (mm^2)	A
Momen torsi	Newton meter (N.m)	T
Tegangan Geser	Megapascal (MPa)	€
kecepatan sudut	revolusi per menit (rpm)	,
Jari-jari	meter (m)	r

repository.ub.ac.id

RINGKASAN

Muhamad Amirullah, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2015, *Pengaruh Sudut Chamfer Satu Sisi dan Friction Time terhadap Kekuatan Puntir Pada Sambungan Las Gesek Al-Mg-Si*, Dosen Pembimbing: Yudy Surya Irawan dan Tjuk Oerbandono.

Aluminium termasuk logam ringan yang mempunyai kekuatan tinggi, tahan terhadap korosi, dan merupakan konduktor listrik yang baik. Tetapi salah satu masalah yang sering ditemukan pada aluminium adalah sulit dalam penyambungannya. Hal ini disebabkan salah satunya oleh sifat penghantar panasnya yang baik, sehingga sulit terjadi pemanasan daerah lasan saat dilakukan pengelasan dengan menggunakan las busur atau las gas. Salah satu alternatif pengelasan yaitu dengan metode las gesek (*friction welding*). Metode penyambungan material dengan memanfaatkan panas yang timbul dari gesekan antara permukaan dua material yang disambung. Penyambungan material terjadi akibat adanya panas yang timbul dari gesekan antara material yang diputar dan material di lain sisi yang ditekankan dengan gaya tekan tertentu. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kekuatan puntir terbesar dari sambungan las gesek ini. Salah satu usaha untuk meningkatkan kekuatan puntir ini dengan cara penggunaan chamfer pada benda yang akan disambung.

Dalam penelitian ini spesimen silinder dibuat dari Aluminium paduan Al-Mg-Si yang mana banyak digunakan sebagai komponen otomotif dan industri perkapalan. Setiap pasang spesimen yang akan disambung diberi sudut *chamfer* pada bagian yang akan disambung dengan sudut 11,5°, 15°, 30°, dan 45°. Kemudian dilakukan pengelasan gesek dengan kecepatan putar sebesar 1600 rpm, dan diberi gaya tekan 123 kgf dengan berbagai variasi *friction time*. *Friction time* yang digunakan pada penelitian ini adalah 90 detik, 120 detik, 150 detik, dan 180 detik. Setelah itu diberi gaya tekan akhir sebesar 156.8 kgf dan ditahan selama 2 menit. Spesimen uji kekuatan puntir dibuat menurut standar ASTM.

Dari penelitian ini ditemukan sudut *chamfer* dan lama waktu pengelasan ini mempengaruhi kekuatan puntir. Hasil penelitian ini diperoleh yaitu kekuatan puntir tertinggi terdapat pada sudut 11,5° pada waktu 90 detik sebesar 194,28 MPa dan kekuatan puntir terendah terdapat pada sudut 15° waktu 120 detik yakni sebesar 100,31 MPa. Kekuatan ini dipengaruhi oleh besarnya luasan *Fully Plasticized Zone* (Zpl), *Partly Deformed Zone* (Zpd) atau HAZ, *Undeformed Zone* (Zud), *Porosity Zone* (Zpr) yang terbentuk. Dari analisa foto makrostruktur sambungan las dapat diketahui bahwa penyebab dari kekuatan puntir maksimal pada sambungan las gesek adalah luas daerah *Heat Afffected Zone* dan porositas di sambungan las gesek yang minimal.

Kata kunci : kekuatan puntir, waktu pengelasan, aluminium, sudut *chamfer*.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

repository.ub.ac.id

SUMMARY

Mohamad Amirullah, *Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, January 2015, Effect Chamfer Angle One Side and Friction Time to Torsional strength In Friction Welding Joint Al-Mg-Si, Academic Supervisor:* Yudy Surya Irawan *and* Tjuk Oerbandono.

Aluminum is lightweight metal which has high strength, corrosion resistant, and is a good conductor of electricity. But one of the problems that are often found in aluminum is difficult in these joint. This is caused in part by the nature of a good conductor of heat, so it is hard going heating time of welding the weld area using arc welding or gas welding. One alternative welding is the method of friction welding. Material joining methods by using the heat arising from friction between the surfaces of two materials to be joined. Joining of material occurs as a result of the heat caused by friction between the material and the material played on the other hand pushed by certain compressive force. The purpose of this research was to determine the greatest torsional strength of this friction welded joints. One of method to increase the torsional strength of this by way of the use of chamfer on the object to be joined.

In this study, cylindrical specimens made of aluminum alloy Al-Mg-Si which is widely used as automotive components and industrial shipbuilding. Every pair specimens to be joined given a corner chamfer on the part to be joined with the angle 11,5°, 15°, 30°, and 45°. Then do the friction welding with a rotating speed of 1600 rpm, and given a compression force 123 kgf with a variety of friction time. Friction time used in this research was 90 seconds, 120 seconds, 150 seconds, and 180 seconds. After it was given a final compression force of 156.8 kgf and hold for 2 minutes. Torsional strength test specimens were made according to ASTM standards.

From this research was found chamfer angle and the length of time this welding affects the torsional strength. The results of this research is obtained that the highest torsional strength are at an angle of 11,5 ° at the time of 90 seconds at 194.28 MPa and torsional strength was lowest for the 15 ° angle within 120 seconds which is equal to 100.31 MPa. This strength is influenced by the amount of area Fully Plasticized Zone (ZPL), Partly Deformed Zone (ZPD) or HAZ, undeformed Zone (Zud), Porosity Zone (ZPR) formed. From the analysis of welded joints makrostruktur picture can be seen that the cause of the maximum torsional strength on friction welded joint is the area Heat Afffected Zone and porosity in the weld joint minimal friction.

***Keywords** : Torsional strength, Friction time, Aluminium, Chamfer angel*

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan jaman, teknologi penyambungan logam semakin berkembang dengan pesat salah satunya dengan teknologi pengelasan yang telah mengalami perkembangan dengan pesat. Ditemukannya metode-metode baru untuk mengatasi permasalahan dalam proses penyambungan material merupakan petunjuk adanya perkembangan dalam teknologi pengelasan. Salah satunya adalah pengelasan gesek (*friction welding*).

Pengelasan gesek (*friction welding*) merupakan salah satu solusi dalam memecahkan permasalahan dalam proses penyambungan logam yang sulit dilakukan dengan *fusion welding* (pengelasan cair). Pada pengelasan gesek (*friction welding*) proses penyambungan logamnya tanpa pencairan (*solid state* proses) yang mana proses pengelasan terjadi sebagai akibat penggabungan antara laju putaran salah satu benda kerja yang berputar yang mengakibatkan terjadinya panas antara dua logam tersebut. Panas yang dihasilkan oleh gesekan tersebut mengakibatkan dua logam ini menyatu.

Penggunaan las gesek sendiri mempunyai beberapa keuntungan dibandingkan dengan pengelasan cair. Pertama hasil pengelasan yang baik karena tidak adanya fluks yang dihasilkan. Kedua memerlukan waktu yang cepat dalam proses penyambungan dua material yang sama maupun berbeda. Ketiga las gesek sendiri dapat menyambung dua material silindris maupun non silindris serta biaya yang murah.

Perkembangan industri saat ini mulai banyak mempertimbangkan penggunaan material alumunium sebagai bahan utama dalam proses produksi dikarenakan sifat dari alumunium yang merupakan logam ringan, yang memiliki kekuatan, ketahanan terhadap korosi, sebagai konduktor panas dan listrik yang sangat baik, dan mudah dalam pembentukan. Penggunaan alumunium dalam industri yang berkembang saat ini tidak lepas dari sifat dan karakteristik dari alumunium itu sendiri. Penggunaan aluminum dalam industri banyak digunakan dalam industri pesawat terbang, perkapalan, peralatan rumah tangga, dan konektor listrik. Tetapi salah satu masalah yang sering ditemukan pada alluminium adalah sulit dalam penyambungannya. Hal ini disebabkan sifat aluminium yang kurang baik dalam penyambungan dengan pengelasan konvesional.

Sahin (2006) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa kekuatan tarik dan sambungan akan meningkat seiring dengan bertambahnya waktu gesekan dan tekanan

yang diberikan ketika pengelasan. Singh (2003) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa semakin besar putaran maka kekuatan tarik akan semakin meningkat sampai kecepatan maksimum dan besarnya gaya tekan sebanding dengan kekuatan tarik. Irawan dkk (2012) dalam penelitiannya mejelaskan bahwa sudut chamfer mempengaruhi besaran kekuatan tarik pada alluminium A 6061. Kekuatan tarik maksimal terdapat pada sudut chamfer 30º. Simamora (2011) dalam penelitiannya mejelaskan bahwa penggunaan gaya tekan akhir pada spesimen pengelasan gesek berpengaruh terhadap kekuatan puntir.

Dalam penelitian yang akan dilakukan ini, digunakan material paduan Aluminium AL-Mg-Si. Dari penelitian diatas maupun sebelumnya belum diteliti bagaimana pengaruh sudut *chamfer* satu sisi dan waktu pengelasan yang baik dari aluminium Al-Mg-Si. Terutama pada sambungan las gesek terhadap kekuatan puntir. Tujuan dari uji puntir adalah untuk menganalisa kekuatan puntir material dalam menerima beban puntir hingga patah biasanya uji puntir ini dilakukan terhadap poros yang berputar. Mengetahui kekuatan puntir maksimal dari suatu poros sangat penting karena poros biasanya digunakan pada benda-benda yang berputar. Maka dalam penelitian ini perlu diteliti bagaimana pengaruh sudut *chamfer* satu sisi dan *Friction Time* terhadap kekuatan puntir pada sambungan las gesek.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang di atas dapat ditarik rumusan masalah yang terjadi yaitu bagaimana pengaruh sudut *chamfer* satu sisi dan *friction time* terhadap kekuatan puntir pada sambungan las gesek Al-Mg-Si.

1.3 Batasan Masalah

1. Permukaan kontak dalam proses las gesek ini diamplas dengan kekasaran rata-rata 0,12µm.
2. Temperatur lingkungan ketika pengelasan dianggap sama.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh sudut *chamfe*r satu sisi dan *friction time* terhadap kekuatan puntir pada aluminium Al-Mg-Si.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah

1. Untuk mengaplikasikan ilmu perkuliahan yang telah dipelajari selama perkuliahan dan bisa memecahkan permasalahan-permasalahan ketika di lapangan.
2. Untuk dapat mengetahui dalam penggunaan material ketika melakukan penyambungan dengan las gesek.
3. Sebagai bahan pertimbangan dalam melakukan pengelasan aluminium agar dapat menghasilkan hasil yang lebih baik.
4. Sebagai acuan dalam industri dalam pengembangan pengelasan gesek.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Simamora (2011) dalam penelitiannya mendapatkan hasil yakni kekuatan puntir maksimal terdapat pada spesimen dengan gaya tekan akhirnya 177 kgf,dengan nilai kekuatan tariknya adalah183,30 MPa dan kekuatan puntir rata-rata terendah terjadi pada sambungan las gesek dengan gaya tekan akhir 156 kgf sebesar 102,54 MPa.

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

Iswar (2012) juga meneliti masalah ini mendapatkan hasil bahwa semakin cepat putaran maka kekuatan tarik dan kekuatan puntir yang dihasilkan akan semakin besar. Ini terjadi karena semakin cepat putaran maka daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) yang dihasilkan semakin kecil karena waktu pengelasan yang semakin singkat.Variasi putaran yang digunakan pada penelitian ini adalah 550 rpm, 1200 rpm dan 1800 rpm. Kekuatan puntir dapat dilihat dari besarnya tegangan geser yang dihasilkan pada waktu pengujian. Kekuatan tarik dan tegangan geser tertinggi pada putaran 1800 rpm yakni sebesar 403,80 N/mm² dan 365,89 N/mm².

2.2 Aluminium

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

Tabel 2.1 Sifat Fisik Aluminium

Sifat - sifat	Kemurnian Al (%)	
	99,996	>99,0
Massa jenis (20^{o}C)	26,989	2,71
Titik cair	660,2	653 - 657
Panas jenis (cal/g.^{o}C) (100^{o}C)	0,2226	0,2297
Hantaran listrik (%)	64,94	59 (dianil)
Tahanan listrik koefisien temperatur (/^{o}C)	0,00429	0,0115
Koefisien pemuaian (20 f 100^{o}C)	23,86 x 10	23,5 x 10

Sumber : Surdia tata,1999 : 134

Tabel 2.2 Sifat Mekanik Aluminium

Sifat - sifat	Kemurnian Al (%)			
	99,996		> 99,0	
	Dianil	75% dirol dingin	Dianil	H18
Kekuatan tarik (kg/mm^2)	4,9	11,6	9,3	16,9
Kekuatan mulur (0,2%) (kg/mm^2)	1,3	11,0	3,5	14,8
Perpanjangan (%)	48,8	5,5	35	5
Kekerasan Brinell	17	27	23	44

Sumber : Surdia tata, 1999 : 134

2.2.1 Sifat - sifat Aluminium

Aluminium memiliki beberapa sifat yaitu :

1. Kekerasan

Kekerasan merupakan kemampuan suatu material untuk menerima beban dari luar. Pada material aluminium murni yang mempunyai kadar 99,99% nilai kekerasan yang didapat adalah sebesar 17 BHN. Tetapi jika ditambahkan unsur paduan maka nilai kekerasan alluminium ini akan meningkat. sebagai contoh, Pada paduan aluminium dengan 4,5% Cu, 1,5% Mg, 0,5% Mn yang biasa disebut paduan 2024 mempunyai kekerasan 220 BHN (surdia,1999:137)

2. Kekuatan Tarik

Kemampuan suatu material untuk menerima gaya sejajar dengan sumbunya dengan arah gaya yang berlawanan tanpa mengalami kerusakan. Untuk aluminium murni dengan kadar aluminium sebesar 99,99% kekuatan tarik maksimum adalah 4,9 Kg/mm².

3. Kekuatan Puntir

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

4. Kekuatan *impact*

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

2.2.2 Klasifikasi Paduan Aluminium

Secara umum paduan aluminium dapat diklasifikasikan menjadi tiga yakni berdasarkan pembuatannya, berdasarkan perlakuannya, dan berdasarkan unsur-unsur paduan. Dari ketiga ini kita dapat membagi aluminium menjadi 7 macam jenis yaitu

1 Al-Murni teknik (seri 1000)

Aluminium murini ini memiliki kadar 99% dan 99,9%. Aluminium ini memilki sifat yang tahan korosi, daya hantar panas yang bagus, daya hantar listrik yang bagus.Kekurangan dari aluminium paduan ini adalah kekuatan aluminium yang rendah.

2 jenis paduan Al-Cu (seri 2000)

Jenis aluminium ini merupakan hasil perlakuan panas. Dengan melakukan perlakuan panas sifat mekanik dari paduan aluminium ini dapat menyamahi karakteristik dari baja lunak, tetapi tahan korosinya rendah dibanding dengan paduan aluminium yang lainnya.Sifat mampu lasnya juga kekurang baik, Biasanya aluminium ini digunakan untuk kontruksi paku keling.

3 Jenis Paduan Al-Mn (seri 3000)

Jenis paduan Al-Mn ini hampir mirip dengan Al-murni dalam hal mampu potong, ketahan terhadap korosi, dan mampu lasnya.Hanya saja paduan ini tidak dapat diperlaku panaskan untuk meningkatkan nilai kekerasannya.

4 Paduan Jenis Al-Si (seri 4000)

Paduan Al-Si termasuk jenis yang tidak dapat diperlak panaskan. Jenis ini dalam keadaan cair mempunytai sifat mampu alir yang baik dan dalam proses pembekuannya hampir tidak terjadi retak (wiryosumarso,2000:114)

5 Paduan Jenis Al-Mg (seri 5000)

Paduan Al-Si termasuk jenis yang tidak dapat diperlaku panaskan seperti paduan Al-Cu tetapi paduan ini mempunyai daya tahan terhadap korosi sangat baik terutama terhadap air laut.

6 Paduan Jenis Al-Mg-Si (seri 6000)

Paduan AL-Mg-Si ini merupakan paduan yang bisa diperlaku panaskan untuk menambah kekuatan dari aluminium ini.Aluminium ini mempunyai sifat mampu potong, mampu las dan daya tahan terhadap korosi yang cukup. Kekurangan dari paduan ini adalah daerah di sekitar pengelasan akan mengalami pelunakan akibat pengelasan ini.

7 Paduan Jenis Al-Zn (seri 7000)

Paduan ini merupakan jenis paduan yang bisa diperlaku panaskan. Kekuatan tarik yang didapat mencapai lebih dari 50 kg/mm², Sehingga paduan ini dinamakan juga ultra duralumin (wiryosumarso,2000:115). Sifat mampu las dan daya tahan terhadap korosi dari paduan ini kurang baik.

2.2.3 Sifat Mampu Las Aluminium

Dalam hal penyambungan dengan metode pengelasan, paduan alumunium mempunyai sifat yang kurang baik bila dibandingkan dengan baja. Sifat *f* sifat yang kurang baik atau merugikan tersebut yaitu :

1. Aluminium mempunyai panas jenis dan daya hantar panasnya tinggi sehingga sulit dipanaskan. Meskipun sudah panas daerah yang meleleh hanya sedikit saja.
2. Mudah teroksidasi dan membentuk oksida alumunium Al_2O_3 yang mempunyai titik cair yang tinggi. Karena sifat ini maka peleburan antara logam dasar dan logam las menjadi terhalang.
3. Mudah terjadi deformasi karena koefisien muai yang besar.ini menyebabkan terjadi retak panas pada paduan-paduan aluminium yang mempunyai sifat getas.

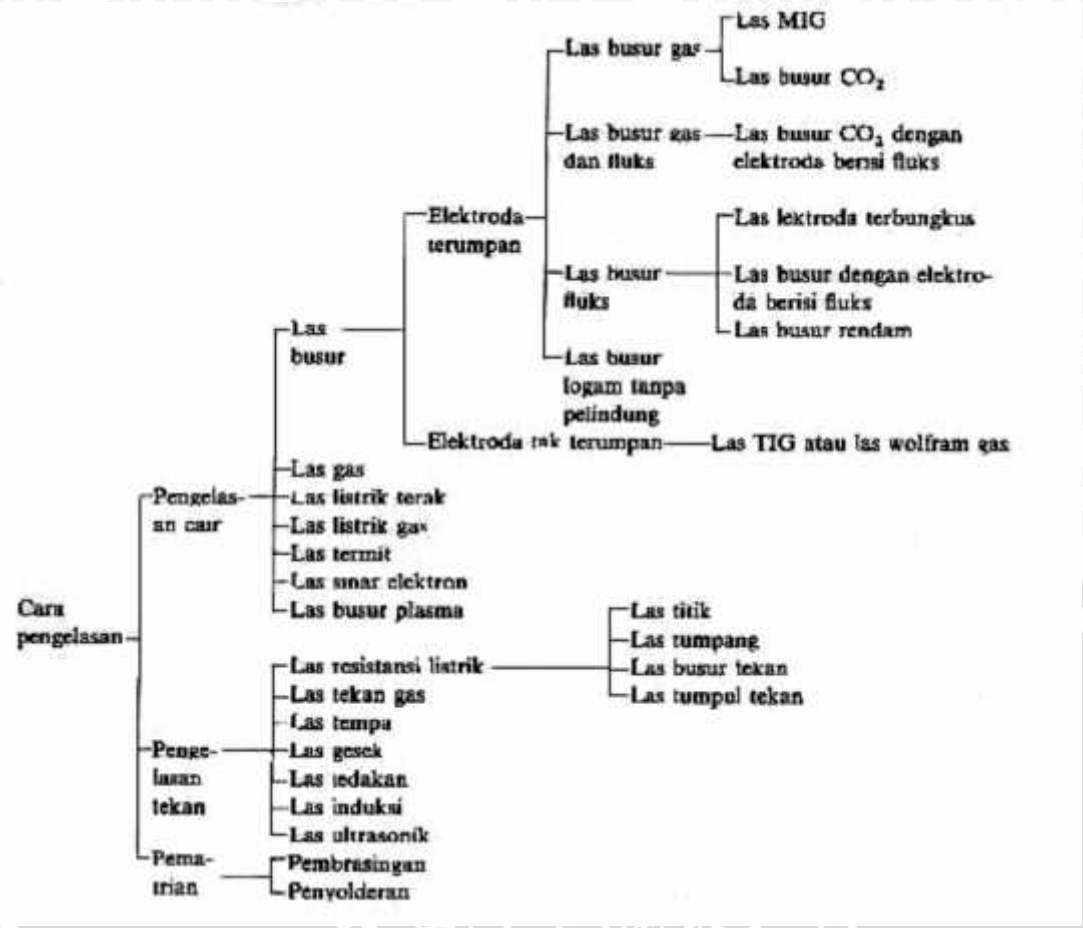
4. Proses pembekuan pada proses pengelasan aluminium sangat cepat dikarenakan perbedaan yang tinggi antara kelarutan hydrogen pada logam cair dan padat sehingga menyebabkan terjadinya rongga halus bekas kantong hydrogen.
5. Paduan alumunium mempunyai berat jenis rendah, sehingga banyak zat *f* zat lain yang terbentuk selama pengelasan akan tenggelam. Keadaan ini memudahkan tergantungnya zat *f* zat yang tidak dikehendaki ke dalamnya.
6. Viskositas aluminium yang rendah sehingga dalam proses pengelasan mudah jatuh ke bawah.

2.3 Pengelasan

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

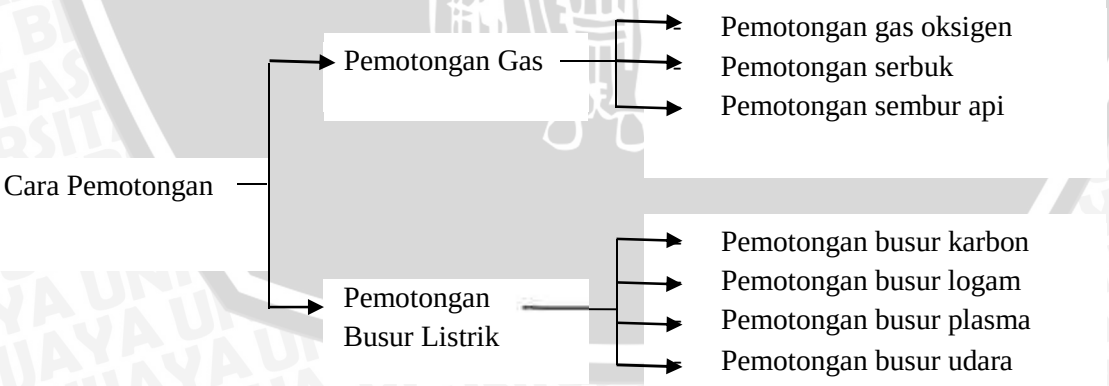
1. Pengelasan cair adalah pengelasan dimana sambungan yang akan dilas akan mencair sehingga dapat menyatu
2. Pengelasan Tekan adalah pengelasan dimana sambungan dipanaskan lalu ditekan tanpa harus mencair hingga menyatu.
3. Pematrian adalah cara dimana sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah. dalam proses ini logam yang akan disambung tidak ikut mencair.

untuk lebih jelasnya dari pengklasifikasian ini dapat dilihat pada gambar 2.1 dibawah ini



Gambar 2.1 Klasifikasi cara pengelasan
Sumber : Wiryosumarto, 2000, 8

Sedangkan menurut klasifikasi cara pemotongan dibagi menjadi dua yaitu pemotongan dengan gas dan pemotongan dengan busur listrik. Lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.2

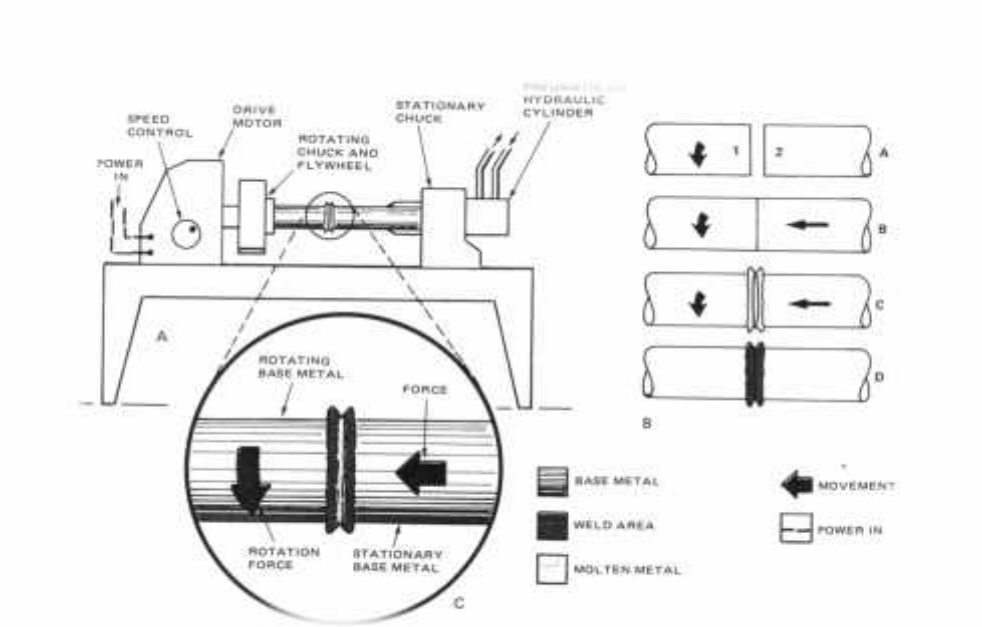


Gambar 2.2 Klasifikasi cara pemotongan pada pengelasan
Sumber : Wiryosumarto, 2000, 8

2.4 *Friction Welding*

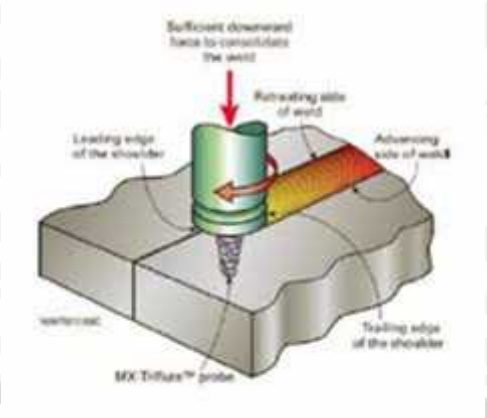
Friction welding adalah salah satu metode dalam pengelasan tekan.Las (welding) adalah suatu cara untuk menyambung benda padat dengan jalan mencairkannya melalui pemanasan(Sriwidharto,1996:1). Dalam metode ini dua buah benda dapat menyatu karena adanya panas yang timbul akibat dari gesekan dua benda tersebut.prinsip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

a. Las gesek dengan sumber panas dari gesekan kedua permukaan benda kerja itu sendiri, contohnya continous drive friction welding.



Gambar 2.3 Mekanisme las gesek
Sumber : *Modern welding*, 1980 : 37

b. Las gesek dengan sumber panas dari gesekan kedua permukaan benda kerja yang akan dilas dengan pahat (*tool*), contohnya *friction stir welding*.



Gambar 2.4 *Friction stir welding*
Sumber : *keytometals AG*

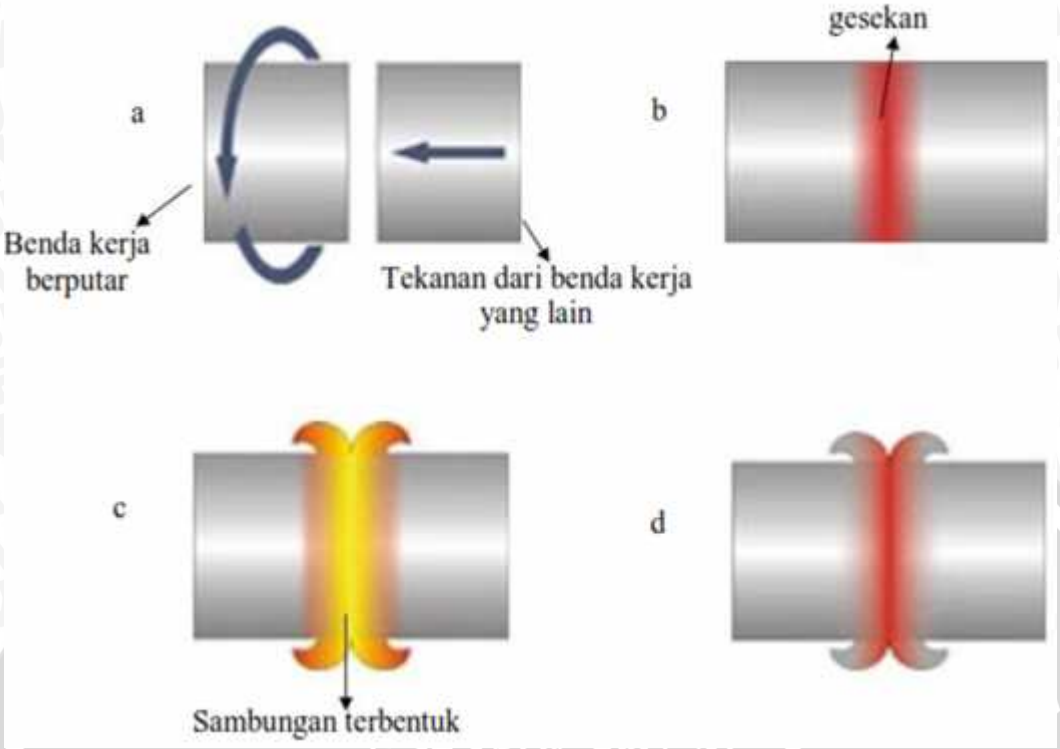
pengelasan ini dapat dilakukan pada penyambungan dua logam yang berbeda jenisnya. Ini merupakan kelebihan dari pengelasan ini.

2.4.1 *Contionus 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.

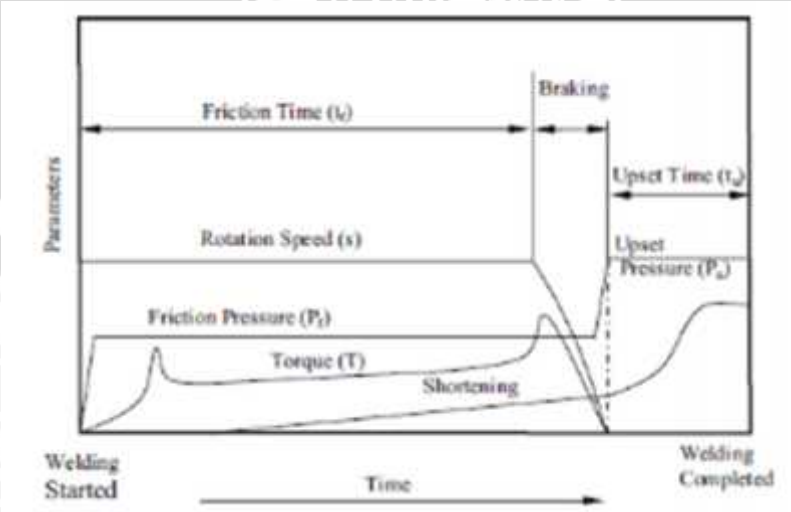
Mekanisme proses ini adalah ketika salah satu benda diputar dengan kecepatan tinggi dan salah satu benda yang lain menekan benda yang berputar tersebut. Akibat dari penekan tersebut timbul panas sehingga partikel dari dua logam dapat saling berikatan dan perputaran yang terjadi mengakibatkan pertikel dari dua benda tersebut teraduk. Sedangkan penekanan menyebabkan partikel terdorong mengisi celah-celah kososng sekaligus mengeluarkan udara. Dari proses ini menghasilkan proses

penyambungan logam tanpa pencairan atau yang dinamakan *solid state process.*



Gambar 2.5 *Contionus drive friction welding*
Sumber : Swanson Industries Inc. 2006

Pada pegelasan las gesek ini terdapat parameter-parameter yang harus diperhatikan ketika proses penyambungan, terutama parameter waktu dan gaya yang diberikan ketika proses pengelasan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar dibawan ini



Gambar 2.6 Parameter friction welding
Sumber: Sahin (2006)

2.5 Kelebihan *Friction Welding*

Ada beberapa hal yang harus menjadi pertimbangan dalam penyambungan logam. Sama halnya ketika *Friction welding* harus dilakukan untuk menyabung 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

2.6 Pengujian Sambungan Las

2.6.1 Macam-macam Pengujian

Pengujian secara garis besar dibagi menjadi 2 yakni :

1. Pengujian *destructive*

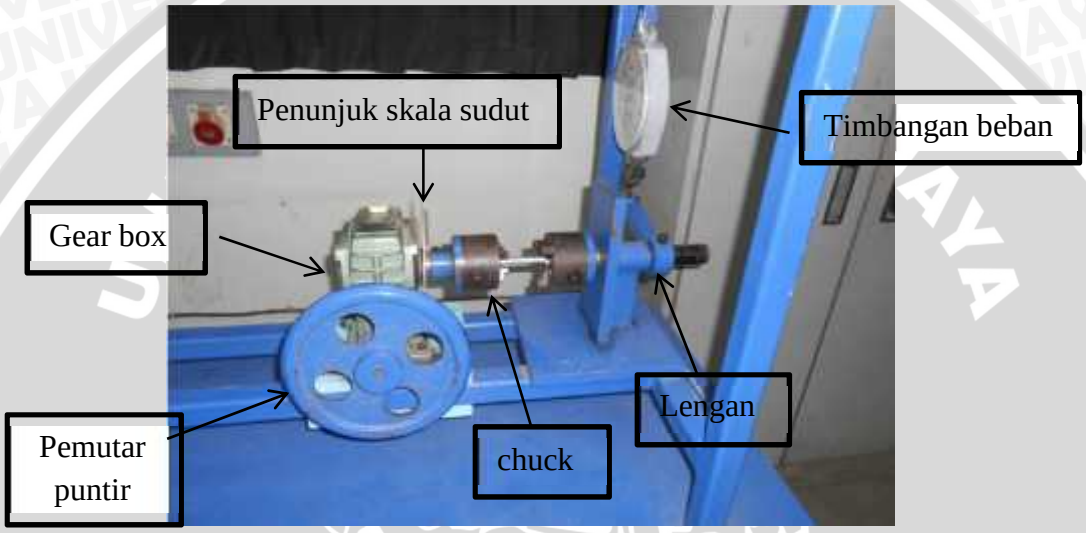
   Pengujian ini merupakan pengujian dengan cara merusak spesimen yang akan diuji. Uji ini biasanya dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik dari seuatu material. Contohnya seperti pengujian tarik, puntir, impak, dan kekerasan.

2. Pengujian *Non destructive*

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

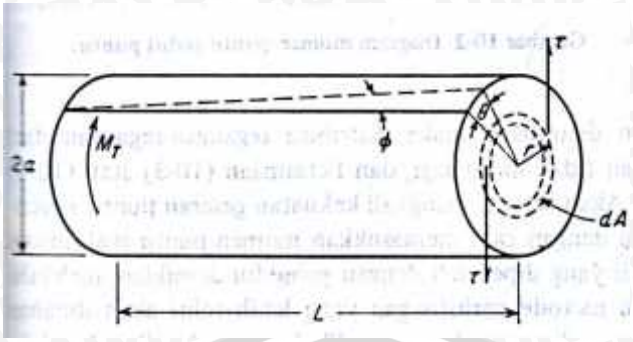
2.6.2 Pengujian Puntir

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



Gambar 2.7 Alat uji puntir

Spesimen uji puntir pada umumnya memiliki penampang lintang silinder karena bentuk ini mewakili geometri paling sederhana dalam perhitungan tegangan yang terjadi pada material. Dalam batas elastis tegangan geser bervariasi secara linier dari nol di bagian pusat lingkaran dengan mencengkam salah satu ujung benda uji silinder pada *chuck.* Sementar ujung lain diberi pembebanan melalui kepala beban. Deformasi diukur dengan alat pengukur sudut puntir (*twisting*) yang dinamakan *troptometer.* Penentuan deformasi berdasarkan perpindahan sudut dari satu titik yang berada dekat ujung benda uji terhadap posisi suatu titik dengan elemen longitudinal yang sama di ujung lainnya. gambar dibawah ini dapat menunjukan deformasi pada spesimen uji puntir.



Gambar 2.8 Pengujian puntir pada benda uji silinder
Sumber : Dieter (1988)

Momen luar yang ditimbulkan pada salah satu ujung dari benda uji mendapat tahanan dari tegangan geser material. Tegangan bernilai nol pada pusat benda uji dan semakin meningkat sebanding dengan penambahan jarak terhadap titik pusat. Kondisi kesetimbangan antara momen puntir luar dan momen reaksi dari material mengahasilkan :

$$M_T = \int_{r=0}^{r=a} \tau r dA = \frac{\tau}{r} \int_0^a r^2 dA \qquad 2\text{-}1$$

Dengan $r^2 d\,A$ adalah moemen inersia polar dari benda uji dan bisa dinotasikan dengan J. Sehingga :

$$M_T = \frac{\tau J}{r} \qquad 2\text{-}2$$

dan

$$„ = \frac{M_T r}{J} \qquad 2\text{-}3$$

Dengan :

τ = tegangan geser (N/mm^2)

M_T = momen puntir (N.mm)

r = jarak radial dari pusat (mm)

J = Momen inersia polar yang tergantung geometris (mm^4)

untuk benda uji silinder pejal dimana J=.D^4/32 maka tegangan maksimum yang terjadi pada permuakaan adalah

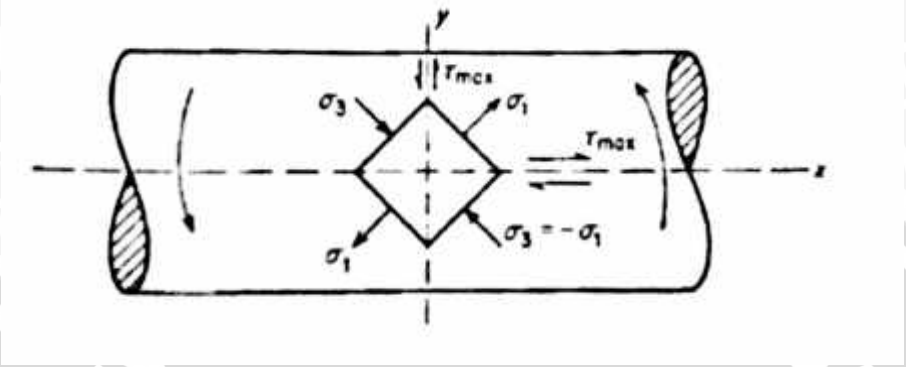
$$\tau_{max} = \frac{M_T\, D/2}{\pi D^4/32} = \frac{16 M_T}{\pi D^3} \qquad 2\text{-}4$$

Besarnya regangan geser † ditentukan oleh sudut puntir ‡ (dalam rad) :

† = tan ‡ = r ‡ /L 2-5

dimana L adalah panjang benda uji pada gambar 2.8 pada pengujian maka pengukuran yang dilakukan adalah momen puntir M_T can sudut puntir ‡.

Keadaan tegangan internal yang terjadi pada suatu titik pada permukaan benda uji puntir pejal ditunjkan oleh gambar dibawah ini :



Gambar 2.9 Keadaan tegangan pada benda uji silinder pejal yang mengalami uji puntir

Sumber : Dieter (1998)

Tegangan geser maksimum terjadi pada dua bidang yang saling tegak lurus, tegak lurus terhadap sumbu longitudinal yy dan sejajar dengan sumbu longitudinal xx. Tegangan utama ˆ1 dan ˆ3 menghasilkan sudut 45º terhadap sumbu longitudinal dan setara nilainya dengan tegangan-tegangan geser. ˆ1 adalah tegangan tarik sementara ˆ3 tegangan tekan. Keadaan tegangan inilah yang dapat dipakai untuk menjelaskan bentuk patahan pada benda uji ulet dang etas.

Logam ulet akan mengalami kegagalan karena mekanisme geser yang terjadi sepanjang salah satu bidang tegangan geser maksimum. Umumnya bidang perpatahan tegak lurus terhadap sumbu longitudinal. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada gambar dibawah ini.

Gambar 2.10 jenis kegagalan material dalam pembebanan puntir.

A) Kegagalan ulet akibat mode geser
B) Kegagalan getas akibat mode tarik

Sumber : Dieter (1988)

Material getas akan mengalami kegagalan dalam pembebanan punter sepanjang bidang yang tegak lurus terhadap arah tegangan tarik maksimum karenaa bidang ini memotong sudut antara dua bidang tegangan geser dan membentuk sudut 45º terhadap arah longitudinal dan transversal, dan patahan akan membentuk heliks seperti pada gambar 2.10b.

2.7 Kegunaan Las Gesek

Penyambungan dengan menggunakan metode ini telah banyak digunakan dalam industri otomotif, indutri perkapalan. Contoh penyambungan dengan mengggunakan metode ini ditunjukkan pada gambar 2.11 berikut.

Gambar 2.11 Aplikasi las gesek pada paduan Al-Mg-Si
Sumber :*Manufacturing Tecnology INC*

2.8 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 didekati dengan persamaan akibat gaya gesek yang ditimbulkan sebagai berikut :

$$dQ = \omega \, . dM \qquad \text{(W)} \qquad \text{(2-6)}$$

Dengan :

- = kecepatan sudut

dM = deferensial dari momen torsi.

dM dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$dM = r \, . dF_{fric} \qquad \text{(Nm)} \qquad \text{(2-7)}$$

Dengan

dF_{fric} = gaya gesekan

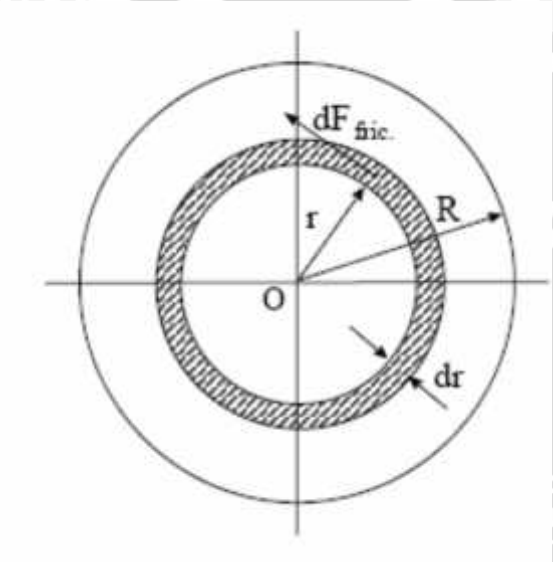
r = jari f jari lingkaran.

$$dF_{fric} = r \,.\, (\mu \,.\, P \,.\, 2\pi r \,.\, dr) \qquad (2\text{-}8)$$

Dari persamaan 2-4 dan 2-5 diperoleh rumusan berikut :

$$dQ = 2\pi \,.\, \mu \,.\, \omega \,.\, P \,.\, r^2 \,.\, dr \qquad \text{(W)} \qquad (2\text{-}9)$$

Hal ini dapat didefinisikan bahwa energi yang terjadi pada permukaan-gesekan adalah panas yang terjadi selama gesekan dengan jarak r dan dr dapat dilihat pada gambar 2.12.



Gambar 2.12 *friction surface dan friction ring (dr)*
Sumber : Can dkk, 2010

Dengan mengintegrasikan dengan r dari persamaan 2-9 panas yang dihasilkan dirumuskan sebagai berikut :

$$\int_0^R dQ = 2 \,.\, \pi \,.\, \mu \,.\, P \,.\, \omega \,.\, r^2 \,.\, dr \qquad (2\text{-}10)$$

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

$$\dot{Q} = \frac{2}{3} \,.\, \pi \,.\, P \,.\, \omega \,.\, R^3 \qquad \text{(w)} \qquad (2\text{-}12)$$

Torsi total dapat dihitung dengan mengintegerasikan dengan R dari persamaan 2-8 sebagai berikut :

$$M = \int_0^R 2\pi \,.\, \mu \,.\, P \,.\, r^2 \, dr \qquad (2\text{-}13)$$

$$M = 2\pi \,.\, \mu \,.\, P \,.\, \frac{R^3}{3}\Big|_0^R \qquad (2\text{-}14)$$

$$M = \frac{2}{3} \,.\, \pi \,.\, \mu \,.\, P \,.\, R^3 \qquad \text{(Nm)} \qquad (2\text{-}15)$$

Jika dibanding dengan persamaan 2-12, panas terjadi pada unit waktu dipermukaan las dirumuskan dengan persamaan berikut :

$$\dot{Q} = \omega . M \qquad (2\text{-}16)$$

Panas yang terjadi pada setiap titik pada jarak r dari sumbu rotasi dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$\dot{Q} = \frac{d\,\dot{Q}}{2 . \pi . r . dr} = \frac{2 . \pi . \mu . \omega . P . r^2 . dr}{2 . \pi . r . dr.} \quad (\mathrm{W/m^2}) \qquad (2\text{-}17)$$

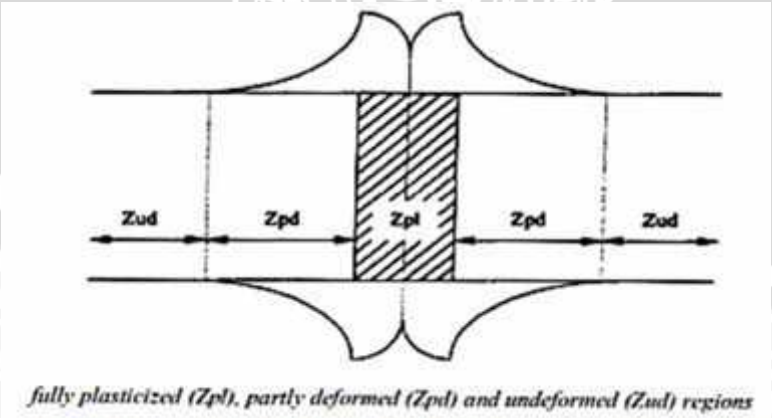
Sehingga panas yang terjadi selama pengelasan pada setiap titik pada jarak r dari sumbu rotasi dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$\dot{Q} = \pi . \omega . P . r \quad (\mathrm{W/m^2}) \qquad (2\text{-}18)$$

2.9 Daerah *Heat Affcted Zone* (HAZ)

Daerah HAZ adalah daerah yang terpengaruh panas ketika proses pengelasan. Akibat dari adanya panas ini struktur mikro dan sifat-sifat mekanisnya berubah dari keadaan semula.

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



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

Gambar 2.13 Fully plasticized region (zpl)partly deformed region (zpd)dan undeformed region (zud)
Sumber : Lin dkk (1999)

Semakin besar panas yang dihasilkan pada proses pengelasan gesek maka daerah HAZ yang terbentuk juga semakin besar. Ini akan menyebabkan kekuatan dari sambungan las tersebut akan semakin menurun. Ini dikarenakan pada daerah HAZ pendinginan yang terjadi lebih lambat sehingga butiran yang terbentuk semakin besar dibandingkan dengan derah *fully plasticized region (zpl)* atau daerah sambungan yang menyatu dengan sempurna.

2.10 Hipotesis

Dugaan sementara berdasarkan teori dan beberapa penelitian bahwa penggunaan variasi sudut *chamfer* dan *friction time* akan meningkatkan kekuatan puntir dari sambungan las gesek Al-Mg-Si. Semakin kecil sudut *chamfer* dan *friction time* maka *heat input* akan semakin kecil sehingga daerah HAZ yang terbentuk juga semakin kecil. Dengan daerah HAZ yang terbentuk semakin sedikit diharapkan dapat meningkatkan kekuatan puntirnya.

BAB III
METODE PENELITIAN

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

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian akan dilakukan pada tanggal 1 Juni 2014 - 30 September 2014. Tempat yang digunakanpada penelitian ini adalah

- Laboratorium Pengujian Bahan, Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang.
- Laboratorium Proses Produksi, Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.

3.2 Variabel Penelitian

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

3.2.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang dapat dirubah-rubah sehingga variabel ini dapat mempengaruhi hasilnya. Nilai dari variabel ini ditentukan oleh peneliti agar memperoleh hubungan antara variabel bebas dan variabel terikatnya. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah :

- Sudut *chamfer* : 11,5º, 15º, 30º, dan 45º
- *friction time* : 90 detik, 120 detik, 150 detik dan 180 detik

3.2.2 Variabel Terikat

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

3.2.3 Variabel Terkontrol

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

1. Gaya penekanan pada proses pengelasan 123 kgf.
2. Gaya penekanan akhir 156,8 kgf.
3. Putaran *spindle* 1600 rpm.
4. Panjang *chamfer* sebesar 2 mm.

3.3 Spesifikasi Alat dan Bahan

3.3.1 Spesifikasi Alat

a) Stopwatch

b) Jangka sorong

c) Mesin bubut

Jenis mesin : Bed Lathe C6232A

Daya motor : 3/4,5 KW

Tegangan : 380 V

Produksi : Guangzhou Machine Tools Gap

d) Mesin *power hacksaw*

e) Mesin *Milling*

f) Kamera digital

g) Mesin uji Puntir

Spesifikasi *gear box*

Model : WPA

Ratio gear : 1 : 60

Produksi : Hangzhou Reducer Factory

3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah aluminium Al-Mg-Si dengan komposisi sebagai berikut :

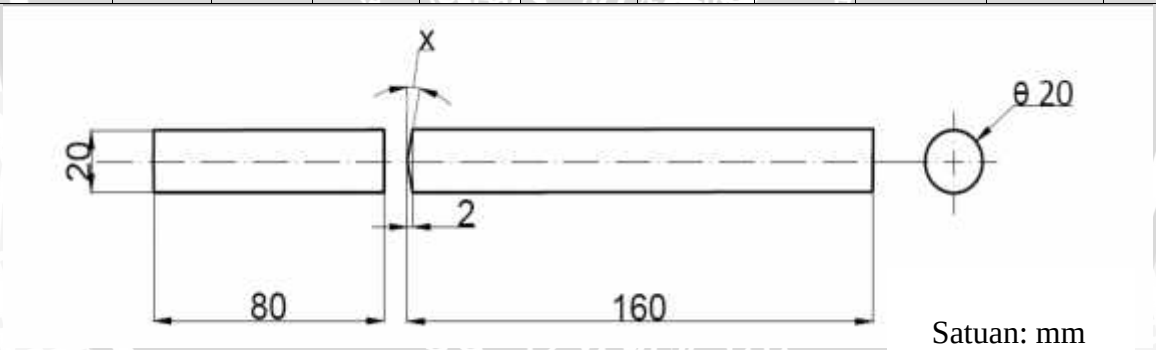
Tabel 3.1 Kandungan Unsur Paduan

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 Kandungan Komposisi Material Spesimen Yang Akan diuji

Paduan	Al (%)	Mg (%)	Si (%)	Fe (%)	Mn (%)	Zn (%)	Cu (%)	Cr (%)	Ti (%)	Kandungan lainnya (%)
6061	97,9	0.823	0,568	0,305	0,0213	0,0424	0,252	0,0833	0,0134	



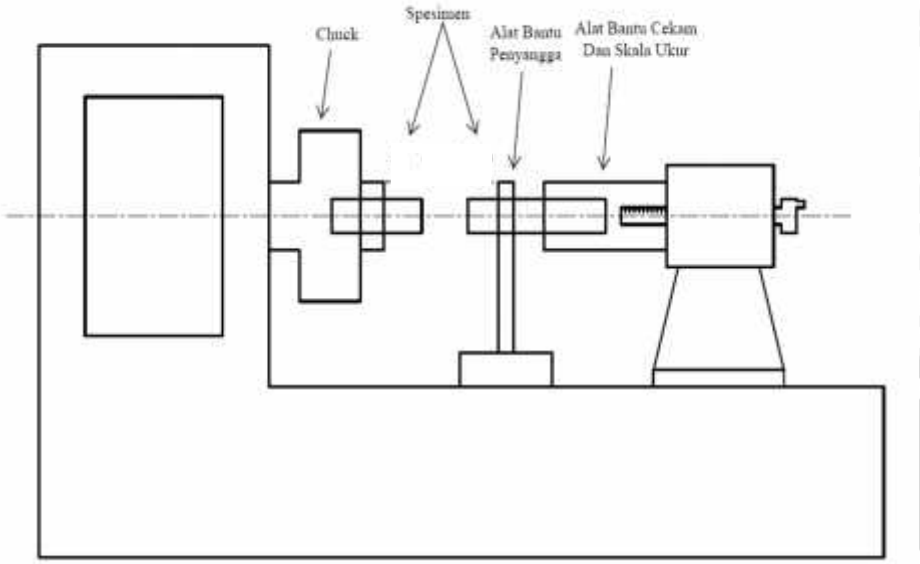
Satuan: mm

Gambar 3.1 Bentuk dimensi benda kerja

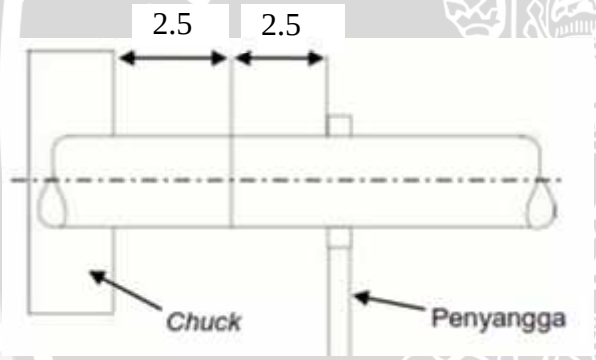
Tabel 3.3 Jumlah Spesimen Las Gesek

No	Kombinsai Sudut *Chamfer* (x)	Jumlah Spesimen
1	11.5º	16
2	15º	16
3	30º	16
4	45º	16

3.4 Instalasi Penelitian



Gambar 3.2 Skema alat pengelasan gesek



Satuan : Cm

Gambar 3.3 Skema pengaturan jarak benda pada mesin bubut

3.5 Prosedur Penelitian

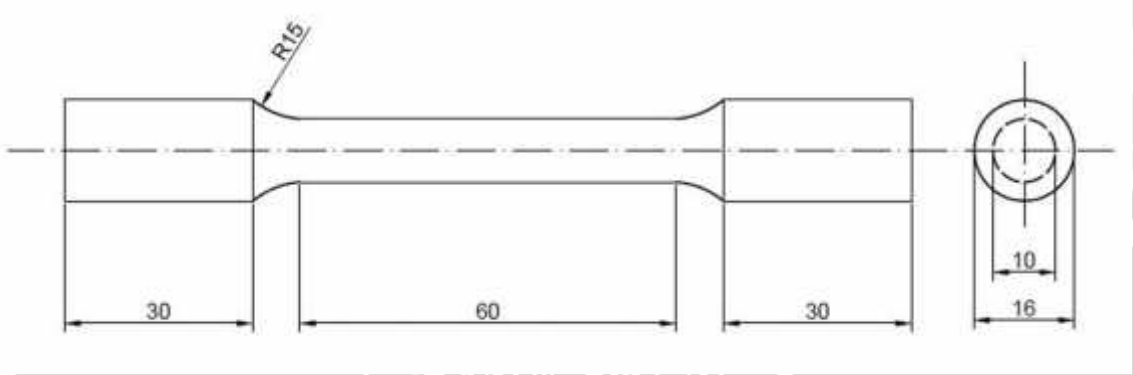
3.5.1 Pengelasan Gesek

a. Pembuatan sudut *chamfer* pada benda kerja
b. Penghalusan permukaan kedua benda kerja
c. Memasang benda kerja pada cekam
d. Pengaturan kecepatan putaran *spindle* yang digunakan
e. Mesin dihidupkan
f. Pengaturan tekanan yang diberikan
g. Proses pengelasan dimulai dengan variasi waktu
h. Mesin dimatikan
i. *Holding* selama 2 menit dengn gaya tekan sebesar 156,8 kgf.

j. Melepaskan benda kerja pada cekam
k. Pengecekan hasil lasan

3.5.2 Pengujian Uji Puntir

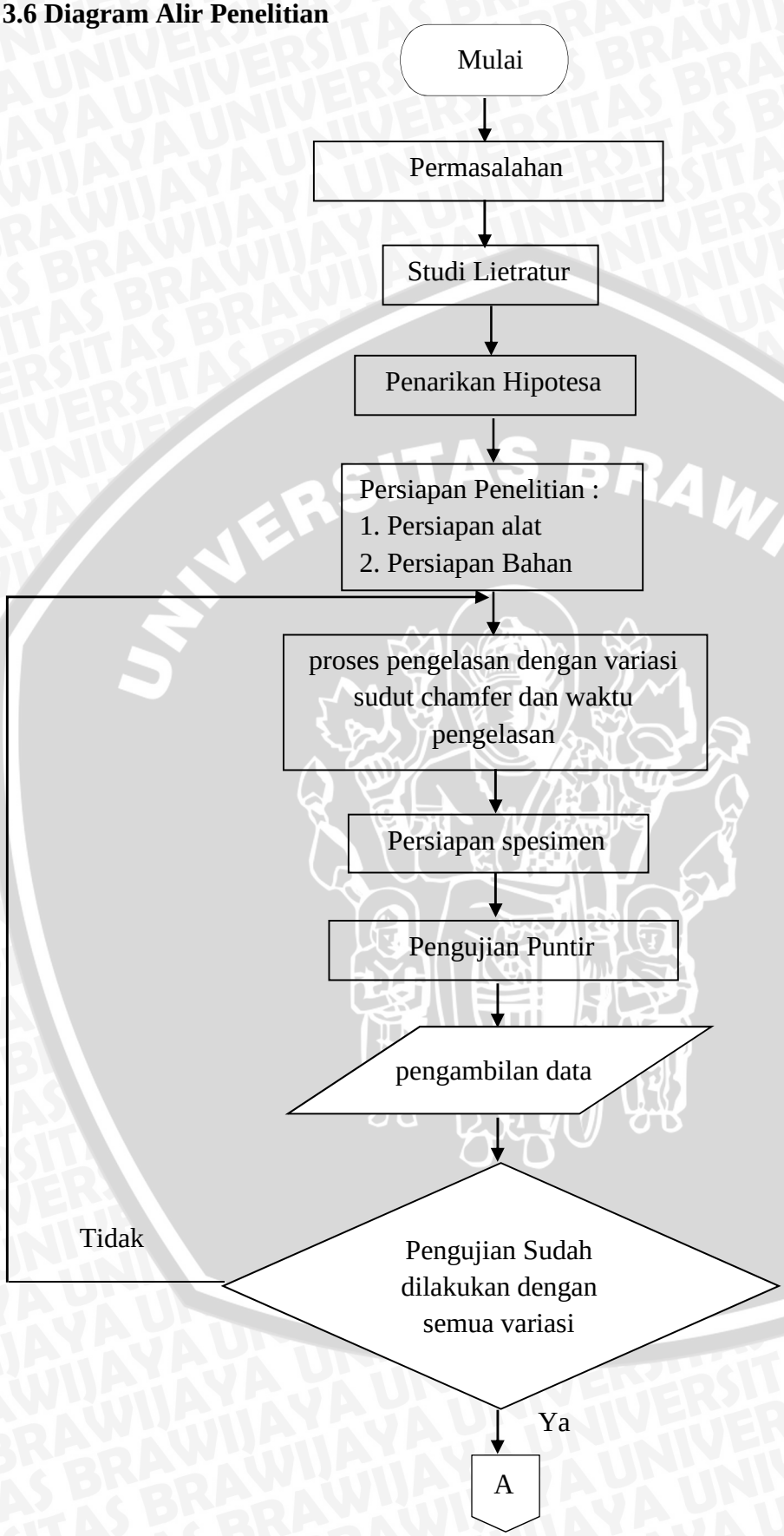
Sebelum melakukan uji puntir spesimen atau benda kerja dibentuk terlebih dahulu menjadi spesimen uji puntir yang sesuai dengan standart internasional. Spesimen uji puntir yang digunakan adalah hasil pengelasan yakni poros dengan diameter 20 mm yang akan dibentuk sesuai standar ASTM sesuai dengan gambar 3.3 di bawah ini.

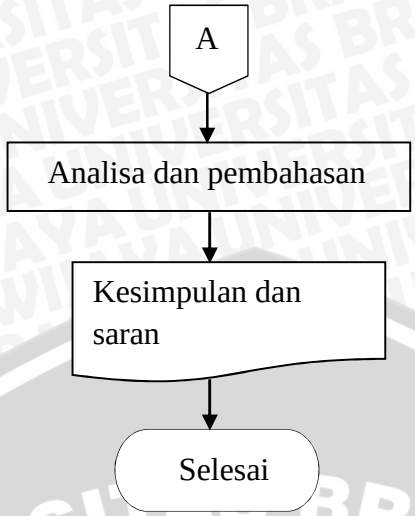


Satuan : mm

Gambar 3.3 Dimensi benda kerja uji puntir ASTM E-143
Sumber : *American Society for Testing and Materials*, 2004

3.6 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.4 Alur penelitian

BAB IV
PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian Kekuatan Puntir

Pengambilan data menggunakan alat uji Puntir yang memiliki panjang lengan 150 mm= 0,15 m setelah spesimen dilakukan pengelasan dan dibentuk sesuai dengan standar uji puntir yang digunakan. Pada setiap perlakuan yang sama dilakukan tiga kali pengelasan dan tiga kali uji puntir yang nantinya didapatkan nilai rata f rata dari ketiga pengujian. Dari pengujian tersebut di dapat beban *Ultimate* saat pengujian punter dan dari beban tersebut didapat momen puntir. Contoh perhitungan kekuatan puntir dapat dilihat dibawah ini.

$$M_T = F \cdot L$$

$$M_T = (18{,}3Kg) \cdot \left(9{,}81 \frac{m}{s^2}\right) \cdot 0{,}15\, m$$

$$M_T = 26{,}93 \text{ N. m}$$

Dengan :

M_T :Momen Torsi (N.m)

F : Gaya (N)

L : Panjang lengan (m)

Setelah mendapatkan momen puntir maksimum pada saat pengujian maka nilai tersebuat akan digunakan untuk menghitung tegangan geser dengan menggunakan persamaan di bawah ini. Berikut ini adalah contoh dari perhitungan tegangan geser :

$$\tau_{max} = \frac{M_T\, D/2}{\pi\, D^4/32} = \frac{16 M_T}{\pi\, D^3}$$

$$= \frac{16.26{,}93}{3{,}14.0{,}01^3} = 137{,}22 \text{ MPa}$$

Dengan :

τ_{max} : Tegangan geser (MPa)

M_T : Momen Torsi (N.m)

D : Diameter (m)

$\pi\, D^4/32$: Momen Inersia polar benda uji pejal (m^4)

Untuk specimen lainnya hasil perhitungan kekuatan puntir dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Kekuatan Puntir Dalam Bentuk Tegangan Geser waktu 90 Detik

Waktu (detik)	sudut	Pengulangan	Beban (kg)	Momen (N.m)	Tegangan Geser (Mpa)	Rata-rata (Mpa)
90	11,5°	1	18,3	26,93	137,22	145,71
		2	20,8	30,61	155,96	
		3	19,2	28,25	143,96	
	15°	1	13,6	20,01	101,97	113,97
		2	15,2	22,37	113,97	
		3	16,8	24,72	125,97	
	30°	1	17	25,02	127,47	115,72
		2	15,3	22,51	114,72	
		3	14	20,60	104,97	
	45°	1	14,2	20,90	106,47	98,22
		2	12	17,66	89,98	
		3	13,1	19,28	98,22	

Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Kekuatan Puntir Dalam Bentuk Tegangan Geser waktu 120 Detik

Waktu (detik)	sudut	Pengulangan	Beban (kg)	Momen (N.m)	Tegangan Geser (Mpa)	Rata-rata (Mpa)
120	11.5°	1	18.6	27.37	139.46	128.97
		2	16	23.54	119.97	
		3	17	25.02	127.47	
	15°	1	16.9	24.87	126.72	139.71
		2	19.2	28.25	143.96	
		3	19.8	29.14	148.46	
	30°	1	12.2	17.95	91.48	95.48
		2	11.8	17.36	88.48	
		3	14.2	20.90	106.47	
	45°	1	16.8	24.72	125.97	124.47
		2	18.3	26.93	137.22	
		3	14.7	21.63	110.22	

Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Kekuatan Puntir Dalam Bentuk Tegangan Geser waktu 150 Detik

Waktu (detik)	sudut	Pengulangan	Beban (kg)	Momen (N.m)	Tegangan Geser (Mpa)	Rata-rata (Mpa)
150	11.5°	1	13	19,13	97,48	82,98
		2	11	16,19	82,48	
		3	9,2	13,54	68,98	
	15°	1	9,6	14,13	71,98	75,23
		2	8,4	12,36	62,98	
		3	12,1	17,81	90,73	
	30°	1	16,2	23,84	121,47	12,47
		2	15,6	22,96	116,97	
		3	18,4	27,08	137,96	
	45°	1	11,3	16,63	84,73	98,22
		2	13	19,13	97,48	
		3	15	22,07	112,47	

Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Kekuatan Puntir Dalam Bentuk Tegangan Geser waktu 180 Detik

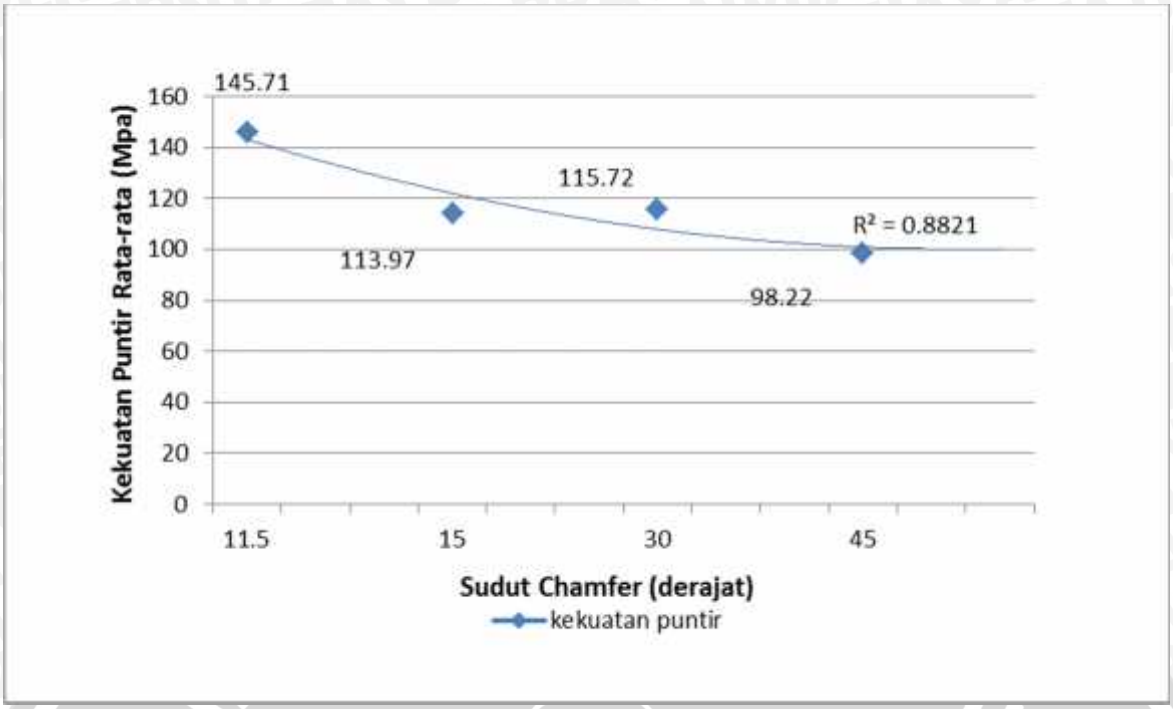
Waktu (detik)	sudut	Pengulangan	Beban (kg)	Momen (N.m)	Tegangan Geser (Mpa)	Rata-rata (Mpa)
150	11.5°	1	11,8	17,36	88,48	100,47
		2	14	20,60	104,97	
		3	14,4	21,19	107,97	
	15°	1	16,2	23,84	121,47	112,47
		2	13	19,13	97,48	
		3	15,8	23,25	118,47	
	30°	1	12,8	18,84	95,98	110,47
		2	15	22,07	112,47	
		3	16,4	24,13	122,97	
	45°	1	12,6	18,54	94,48	100,22
		2	13,4	19,72	100,47	
		3	14,1	20,75	105,72	

Untuk memudahkan dalam pembacaan maka tabel 4.1 sampai tabel 4.4 akan diplot dalam bentuk grafik.

4.2. Pembahasan

4.2.1. Hubungan *friction time* 90 detik dan sudut *chamfer* satu sisi terhadap kekuatan puntir sambungan las.

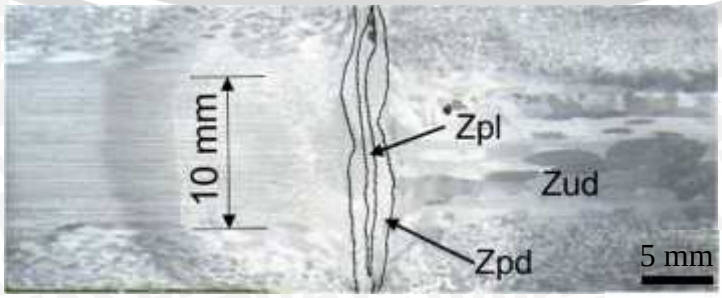
Dari hasil perhitungan variasi data *friction time* 90 detik dan sudut *chamfer* yang berbeda diperoleh besarnya kekuatan tarik sambungan las gesek. Analisis perhitungan data tersebut disajikan dalam bentuk grafik. Grafik tersebut menunjukkan hubungan antara sudut *chamfer* dengan *friction time* 90 detik terhadap kekuatan puntir sambungan las gesek. Kekuatan Puntir merupakan jumlah maksimum dari torsi sebuah benda sebelum benda tersebut rusak oleh momem puntir terjadi(Azom,2006).



Gambar 4.1 Grafik hubungan antara hubungan antara sudut *chamfer* dengan *friction time* 90 detik terhadap kekuatan puntir sambungan las gesek

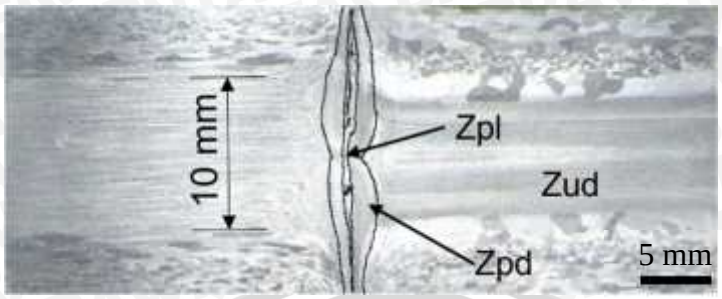
Dari gambar grafik 4.1 hubungan antara besarnya sudut *chamfer* dengan *friction time* 90 detik terhadap kekuatan puntir sambungan las gesek, dapat diketahui bahwa kekuatan puntir tertinggi sambungan las gesek dengan *friction time* 90 detik tercapai pada sudut *chamfer* 11,5^{o} yaitu 145,71 Mpa dan kekuatan puntir terendah pada sudut *chamfer* 45^{o} sebesar 98,22 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kekuatan puntir sambungan las gesek dibandingkan dengan kekuatan puntir sambungan las gesek dengan *friction time* 90 detik dengan sudut yang lebih besar. Hal ini terjadi karena daerah HAZ yang terbentuk dari pengelasan ini lebih sedikit dari pada yang lainnya. Dan pada sudut ini tidak terjadi porositas sehingga meningkatkan kekuatan puntirnya. Besaran luasan setiap daerah pengelasan dapat dilihat dalam spesimen foto makrostruktur dari beberapa sudut dibawah ini.

a. Sudut 11,5°



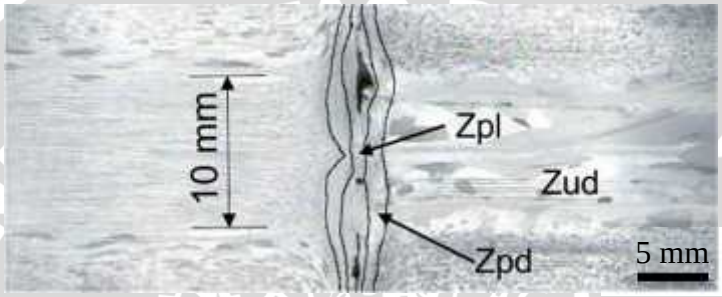
Gambar 4.2 Foto makrostruktur sudut 11,5° waktu 90 detik

b. Sudut 15°



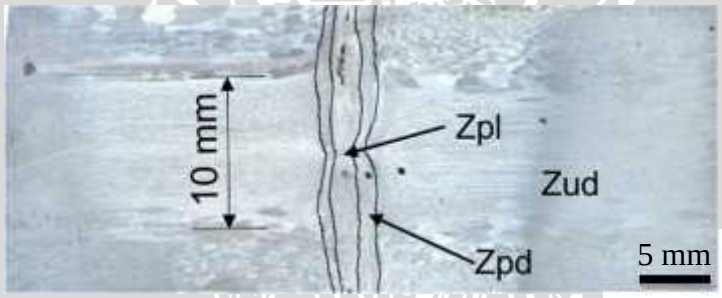
Gambar 4.3 Foto makrostruktur sudut 15° waktu 90 detik

c. Sudut 30°



Gambar 4.4 Foto makrostruktur sudut 30° waktu 90 detik

d. Sudut 45°



Gambar 4.5 Foto makrostruktur sudut 45° waktu 90 detik

Tabel 4.5 Luasan Daerah *Fully Plasticized Zone* (Zpl), *Partly Deformed Zone* (Zpd) or HAZ, *Undeformed Zone* (Zud), *Porosity Zone* (Zpr)

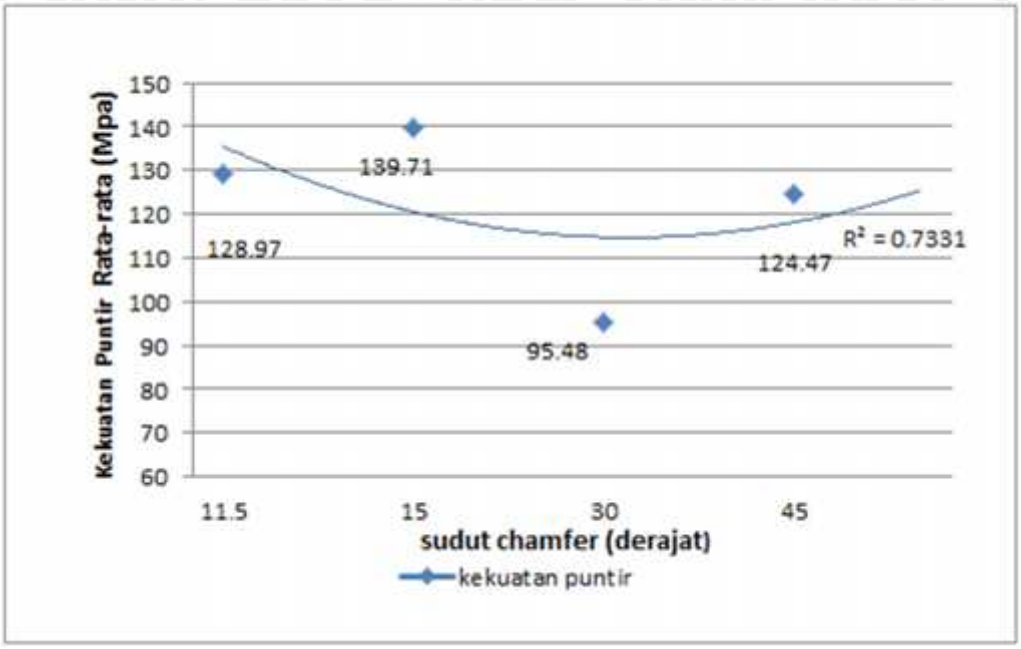
Friction time 90 detik			
Sudut	Zpd(mm^2)	Zpl(mm^2)	Zpr(mm^2)
11,5	19,536	6,12	0
15	42,811	6,017	0,0838
30	25,422	13,836	0,04
45	18,387	16,074	0,265

Dari tabel 4.5 dapat kita lihat luasan daerah *Fully Plasticized Zone (Zpl), Partly Deformed Zone (Zpd)* atau *HAZ, Undeformed Zone (Zud), Porosity Zone (Zpr). Fully plasticized zone* (Zpl) adalah zona pada bidang kontak gesekan spesimen dan yang menimbulkan panas akibat gesekan tersebut, *Partly deformed zone* (Zpd) adalah zona yang mengalami deformasi dan akibat terkena dampak panas (HAZ), *Underformed zone* (Zud) adalah zona yang tidak terkena dampak panas, *Porosity zone* (Zpr) adalah zona yang terdapat cacat akibat pengelasan. semakin besar luas HAZ yang terbentuk maka kekuatannya akan semakin berkurang (Kou,2002). Pada grafik ini dapat dilihat kekuatan puntir tertinggi di capai pada penggunaan sudut *chamfer* 11,5^{o} dengan luasan daerah Zpd (HAZ) sebesar 19,536mm^2, Zpl = 6,12 mm^2 dan luas daerah porositas tidak ada.

Pada sudut 15° nilai kekuatan puntirnya lebih rendah dari sudut 30° ini disebabkan luasan daerah HAZ lebih besar sehingga menurunkan nilai kekuatannya. Dan jika dibandingkan dengan sudut 45° maka nilainya lebih besar walaupun daerah HAZ pada sudut 15° lebih besar dibanding sudut 45 ini disebabkan perbandingan antara daerah HAZ dan Zpl yang lebih besar pada sudut 45°. Pada sudut 45° ini juga memilik porositas yang lebih besar juga sehingga dapat mengurangi kekuatan puntirnya

4.2.2. Hubungan *friction time* 120 detik dan sudut *chamfer* satu sisi terhadap kekuatan puntir sambungan las.

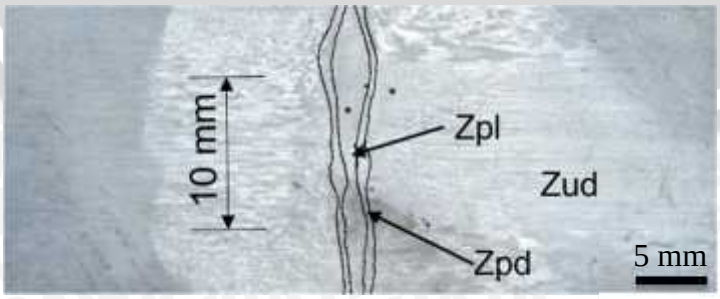
Dari hasil perhitungan variasi data *friction time* 120 detik dan sudut *chamfer* yang berbeda diperoleh besarnya kekuatan tarik sambungan las gesek. Grafik tersebut menunjukkan hubungan antara sudut *chamfer* dengan *friction time* 120 detik terhadap kekuatan puntir sambungan las gesek.



Gambar 4.6 Grafik hubungan antara hubungan antara sudut *chamfer* dengan *friction time* 120 detik terhadap kekuatan puntir sambungan las gesek

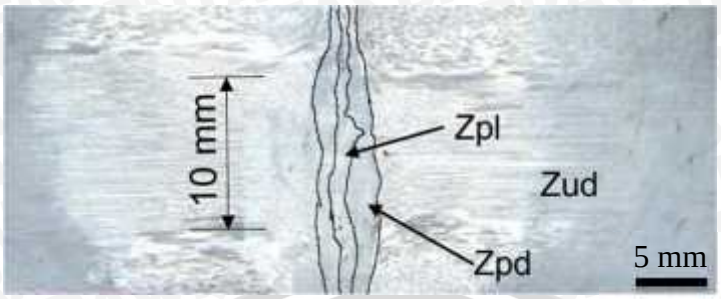
Dari gambar grafik 4.6 hubungan antara besarnya sudut *chamfer* dengan *friction time* 120 detik terhadap kekuatan punti sambungan las gesek, dapat diketahui bahwa kekuatan puntir tertinggi sambungan las gesek dengan *friction time* 120 detik tercapai pada sudut *chamfer* 15^o yaitu 139,71 MPa dan kekuatan puntir terendah pada sudut *chamfer* 30^o sebesar 95,48 MPa. Dimana pada penelitian sebelumnya dengan *friction time* 120 detik dengan sudut *chamfer* 0^o kekuatan puntir rata *f* rata sebesar 102,64 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kekuatan puntir sambungan las gesek dibandingkan dengan kekuatan puntir sambungan las gesek dengan *friction time* 120 detik dengan sudut *chamfer* $0^{o.}$ Besaran luasan setiap daerah pengelasan dapat dilihat dalam spesimen foto makrostruktur dari beberapa sudut dibawah ini.

a. Sudut 11,5°



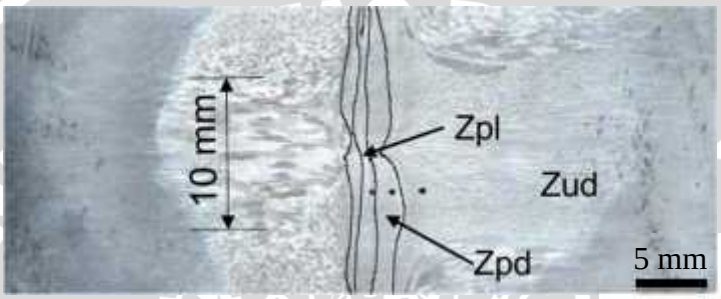
Gambar 4.7 Foto makrostruktur sudut 11,5° waktu 120 detik

b. Sudut 15°



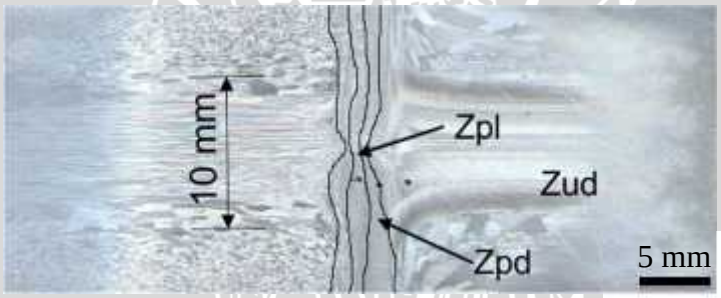
Gambar 4.8 Foto makrostruktur sudut 15° waktu 120 detik

c. Sudut 30°



Gambar 4.9 Foto makrostruktur sudut 30° waktu 120 detik

d. Sudut 45°



Gambar 4.10 Foto makrostruktur sudut 45° waktu 120 detik

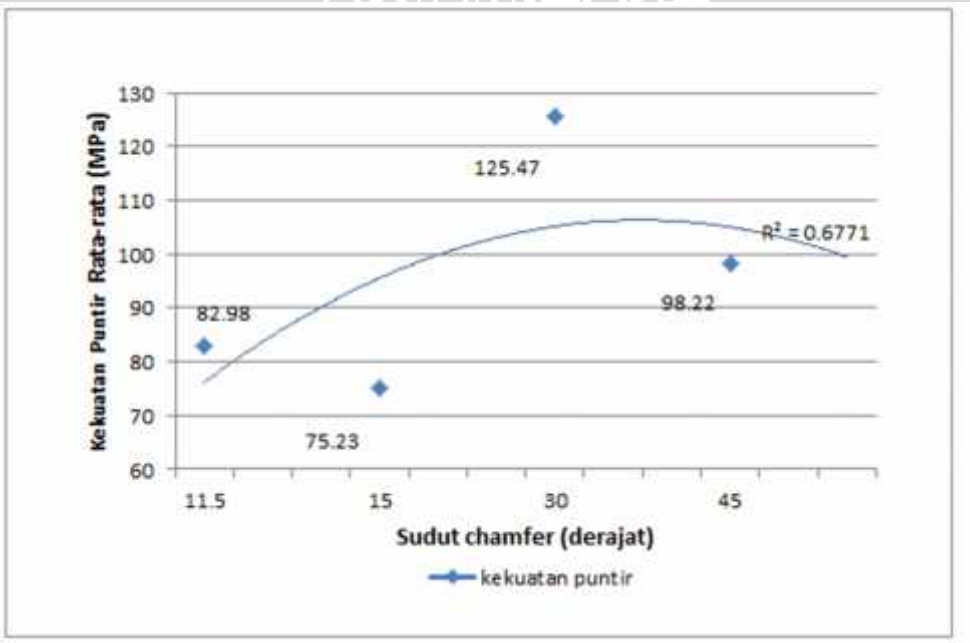
Tabel 4.6 Luasan Daerah *Fully Plasticized Zone* (Zpl), *Partly Deformed Zone* (Zpd) or HAZ, *Undeformed Zone* (Zud), *Porosity Zone* (Zpr)

Friction time 120 detik			
Sudut	Zpd(mm^2)	Zpl(mm^2)	Zpr(mm^2)
11,5	11,729	12,619	0,129
15	28,566	10,03	0
30	23,11	7,743	0,122
45	17,724	9,414	0

Dari tabel 4.6 dapat kita lihat luasan daerah *Fully Plasticized Zone* (Zpl),*Partly Deformed Zone* (Zpd) atau HAZ, *Undeformed Zone* (Zud), *Porosity Zone* (Zpr). Pada grafik ini dapat dilihat kekuatan puntir tertinggi di capai pada penggunaan sudut *chamfer* 15^o dengan luasan daerah Zpd (HAZ) sebesar 28,566 mm^2, Zpd = 10,03 mm^2. Meskipun mempunyai luasan HAZ yang besar tetapi pada sudut ini terbentuk daerah Zpl yang kecil dan tidak terjadi porositas sehingga kekuatan puntirnya besar dibandingkan dengan sudut $11,5^o$ yang memilik daerah HAZ yang besar. Sedangkan nilai kekuatan puntir terendah terdapat pada sudut 30^o dengan luasan daerah Zpd (HAZ) sebesar 23,11 mm^2, Zpl= 7,743 mm^2 dan Zpr =0,122 mm^2. Hal ini disebabkan karena pada sudut ini terbentuk daerah Zpl yang besar sehingga perbandingan antara Zpl dan Zpd lebih besar dari sudut 15^o walaupun luasan HAZ yang lebih kecil dari 15^o. Pada sudut ini juga terjadi porositas sehingga kekuatannya menurun.

4.2.3. Hubungan *friction time* 150 detik dan sudut *chamfer* satu sisi terhadap kekuatan puntir sambungan las.

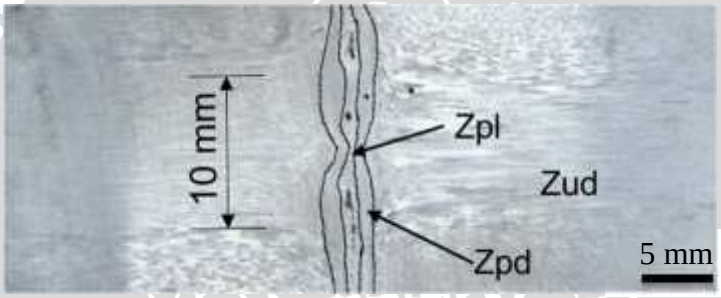
Dari hasil perhitungan variasi data *friction time* 150 detik dan sudut *chamfer* yang berbeda diperoleh besarnya kekuatan tarik sambungan las gesek. Analisis perhitungan data tersebut disajikan dalam bentuk grafik. Grafik tersebut menunjukkan hubungan antara sudut *chamfer* dengan *friction time* 150 detik terhadap kekuatan puntir sambungan las gesek.



Gambar 4.11 Grafik hubungan antara hubungan antara sudut *chamfer* dengan friction time 150 detik terhadap kekuatan puntir sambungan las gesek

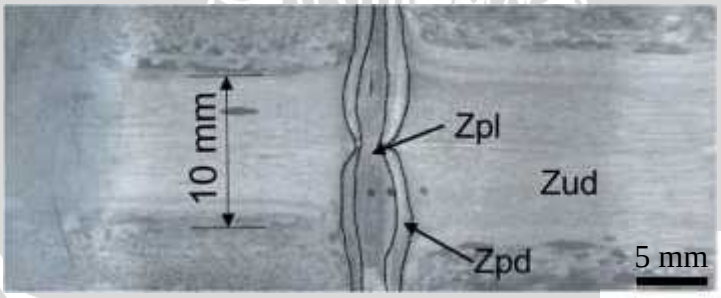
Dari gambar grafik 4.11 hubungan antara besarnya sudut *chamfer* dengan *friction time* 120 detik terhadap kekuatan puntir sambungan las gesek, dapat diketahui bahwa kekuatan puntir tertinggi sambungan las gesek dengan *friction time* 120 detik tercapai pada sudut *chamfer* 30^o yaitu 125,57MPa dan kekuatan puntir terendah pada sudut *chamfer* 15^o sebesar 75,23 MPa. Hal ini disebabkan karena pada sudut 30^o daerah HAZ yang terbentuk kecil sekali dari pada sudut lainnya yakni sebesar 18,918 mm^2 Zpl sebesar 11,044mm^2. Sedangkan kekuatan terendah pada 15^o dikarenakan Zpl yang terbentuk besar sehingga mengurangi kekuatan puntirnya dikarenakan daerah Zpl merupakan daerah dengan kekuatan terendah. Untuk luasan daerah Zpd, Zpl, dan Zpr selengkapnya bisa dilihat pada tabel 4.7. Besaran luasan setiap daerah pengelasan tersebut didapat dengan cara menghitung spesimen foto makrostruktur dari beberapa sudut dibawah ini.

a. Sudut 11,5°



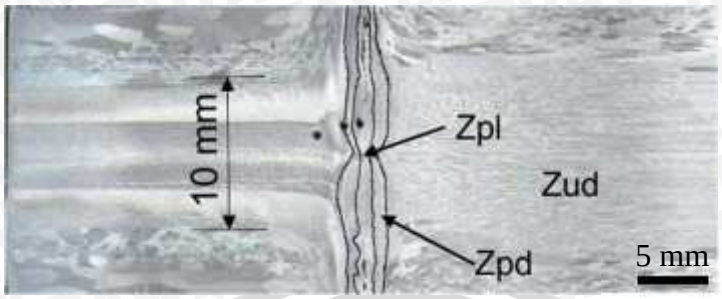
Gambar 4.12 Foto makrostruktur sudut 11,5° waktu 150 detik

b. Sudut 15°



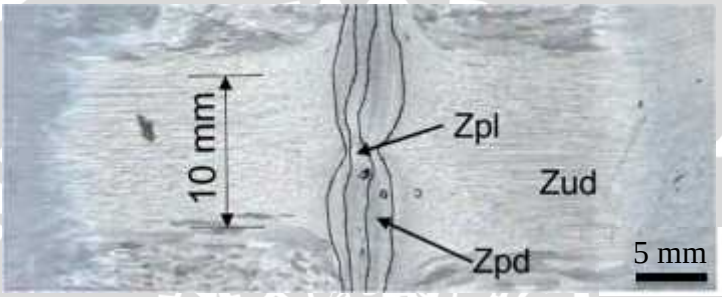
Gambar 4.13 Foto makrostruktur sudut 15° waktu 150 detik

c. Sudut 30°



Gambar 4.14 Foto makrostruktur sudut 30° waktu 150 detik

d. Sudut 45°



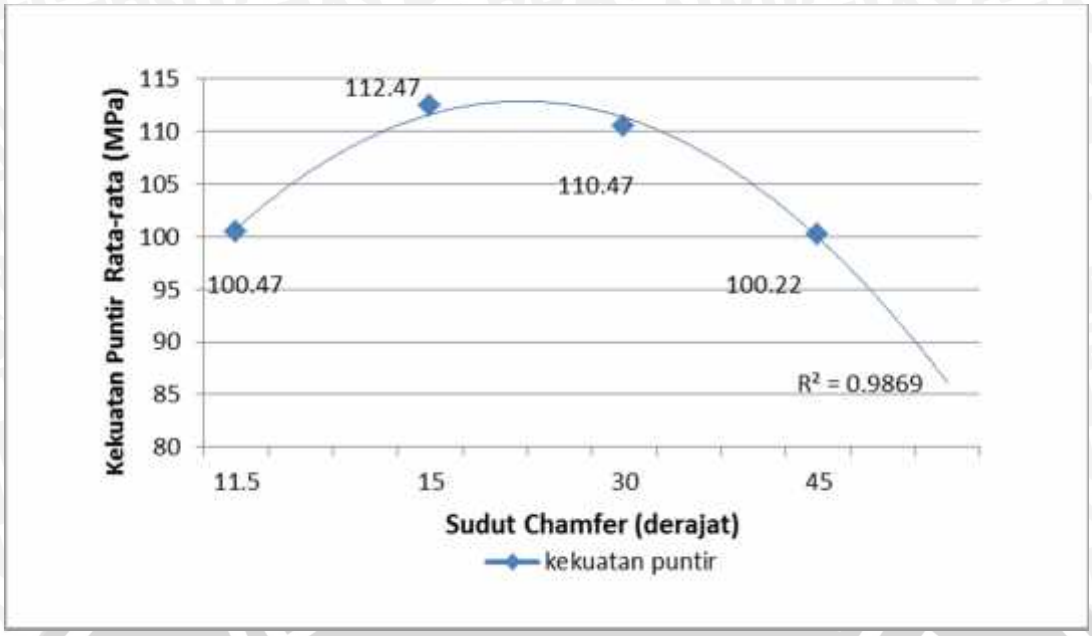
Gambar 4.15 Foto makrostruktur sudut 45° waktu 150 detik

Tabel 4.7 Luasan daerah *Fully Plasticized Zone* (Zpl), *Partly Deformed Zone* (Zpd) or HAZ, *Undeformed Zone* (Zud), *Porosity Zone* (Zpr)

friction time 150 detik			
Sudut	Zpd(mm^2)	Zpl(mm^2)	Zpr(mm^2)
11,5	20,872	9,382	0,724
15	21,302	19,936	0
30	18,918	11,044	0
45	26,928	11,709	0

4.2.4. Hubungan *friction time* 180 detik dan sudut *chamfer* satu sisi terhadap kekuatan puntir sambungan las.

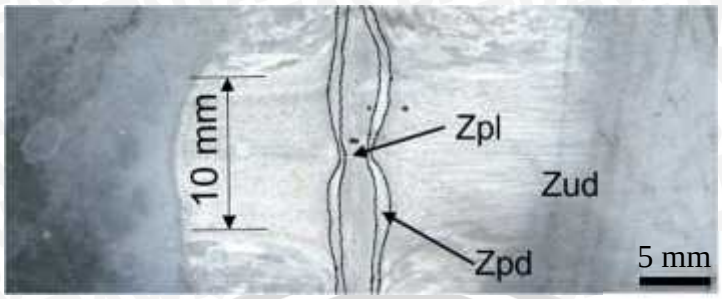
Dari hasil perhitungan variasi data *friction time* 180 detik dan sudut *chamfer* yang berbeda diperoleh besarnya kekuatan tarik sambungan las gesek. Analisis perhitungan data tersebut disajikan dalam bentuk grafik. Grafik tersebut menunjukkan hubungan antara sudut *chamfer* dengan *friction time* 150 detik terhadap kekuatan puntir sambungan las gesek.



Gambar 4.16 Grafik hubungan antara hubungan antara sudut *chamfer* dengan *friction time* 180 detik terhadap kekuatan puntir sambungan las gesek

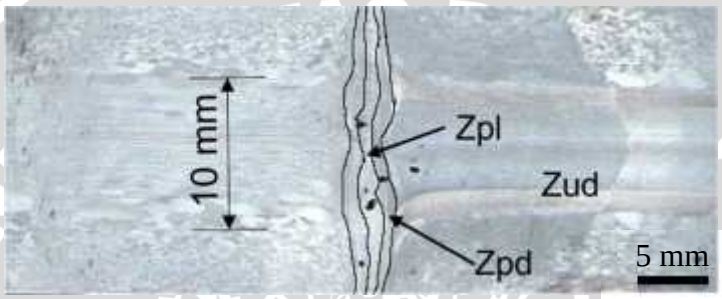
Dari gambar grafik 4.16 hubungan antara besarnya sudut *chamfer* dengan *friction time* 180 detik terhadap kekuatan puntir sambungan las gesek, dapat diketahui bahwa kekuatan puntir tertinggi sambungan las gesek dengan *friction time* 180^{o} detik tercapai pada sudut *chamfer* 15^{o} yaitu 112,47 MPa dan kekuatan puntir terendah pada sudut *chamfer* 45^{o} sebesar 100,22 MPa. Meskipun mempunyai luasan HAZ yang kecil pada sudut 11,5^{o} tetapi luasan Zpl yang terbentuk sangat besar sekali sehingga mereduksi kekuatan puntir ini berbeda dengan yang terjadi pada sudut 15^{o} yang memiliki luasan Zpd dan Zpl yang kecil yaitu sebesar 19,613 mm^{2} dan 9,455 mm^{2}. Pada sudut 30^{o} juga memiliki luasan Zpd dan Zpl yang kecil tetapi nilai kekuatan puntirnya masih kecil dibanding sudut 15^{o} ini disebabkan karena perbandingan antara Zpd dan Zpl pada 15^{o} masih lebih kecil dibandingkan dengan sudut 30^{o}. Besaran luasan setiap daerah pengelasan dapat dilihat dalam spesimen foto makrostruktur dari beberapa sudut dibawah ini. Pada *friction time* 180 detik ini sudut *chamfer* yang ada tidak banyak berpengaruh terhadap kekuatan puntir. Ini disebabkan material yang terbuang banyak dan sudut *chamfer* yang digunakan hanya 2 mm sehingga mengurangi kekuatan puntirnya.

a. Sudut 11,5°



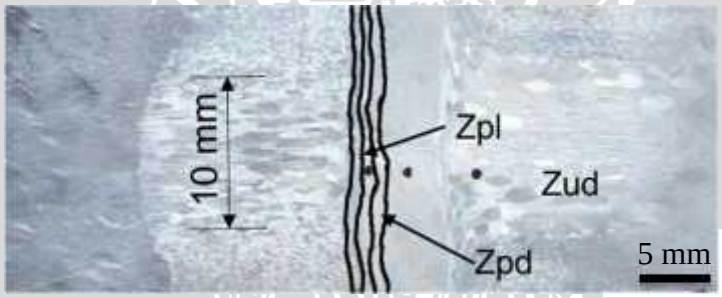
Gambar 4.17 Foto makrostruktur sudut 11,5° waktu 180 detik

b. Sudut 15°



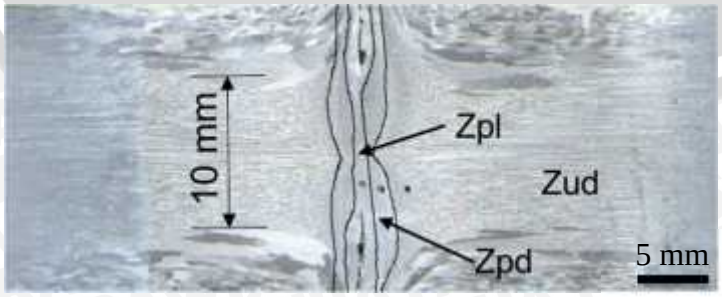
Gambar 4.18 Foto makrostruktur sudut 15° waktu 180 detik

c. Sudut 30°



Gambar 4.19 Foto makrostruktur sudut 30° waktu 180 detik

d. Sudut 45°



Gambar 4.20 Foto makrostruktur sudut 45° waktu 180 detik

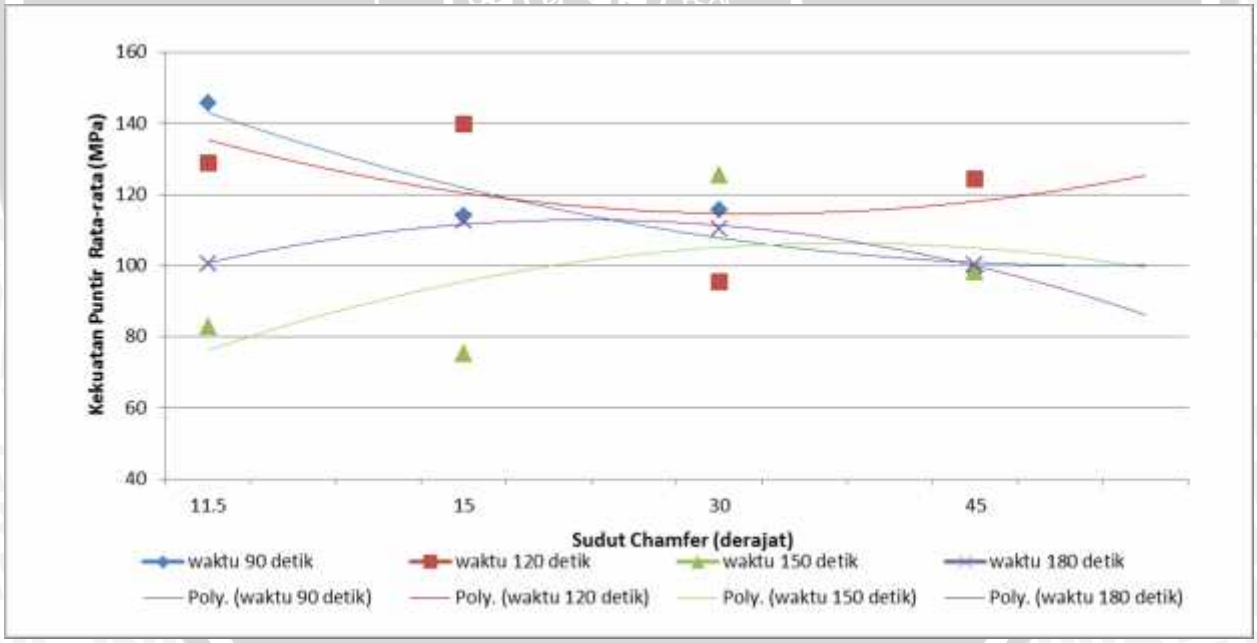
Untuk luasan Zpd dan Zpl dapat dilihat pada tabel 4.8 di bawah ini.

Tabel 4.8 Luasan daerah *Fully Plasticized Zone* (Zpl), *Partly Deformed Zone* (Zpd) or HAZ, *Undeformed Zone* (Zud), *Porosity Zone* (Zpr)

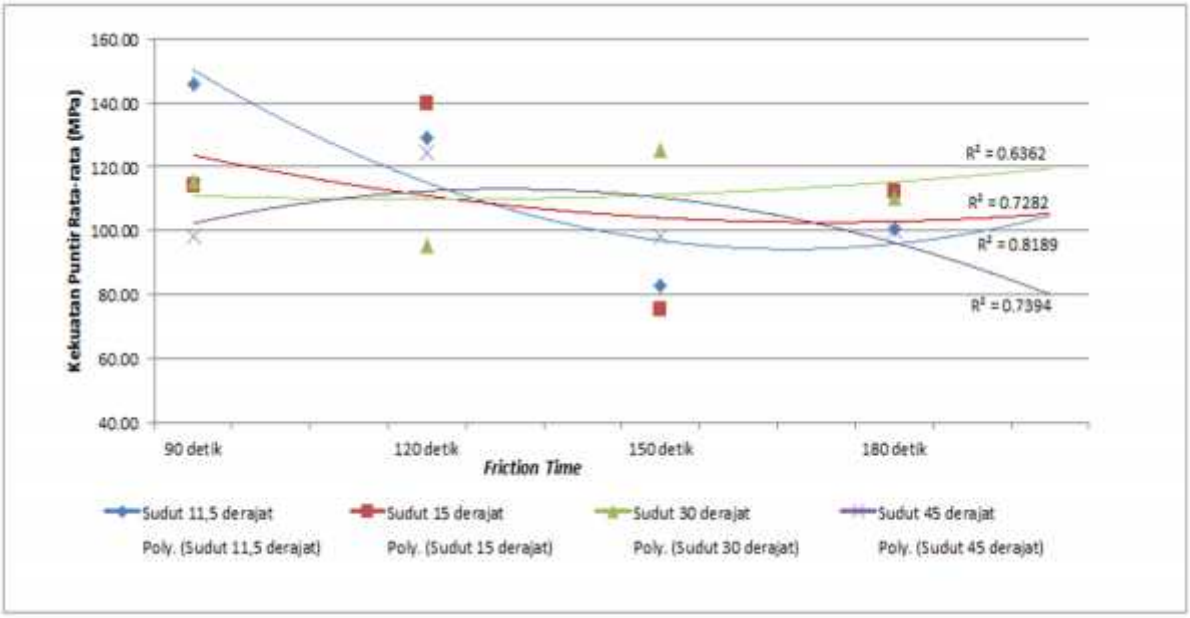
Waktu 180			
Sudut	Zpd(mm²)	Zpl(mm²)	Zpr(mm²)
11,5	13,647	20,759	0
15	19,613	9,455	0
30	15,822	6,49	0
45	26,086	9,778	0

4.2.5. Hubungan *friction time* dan sudut *chamfer* satu sisi 11,5^{o}, 15 ^{o},30 ^{o}, dan 45 ^{o} terhadap kekuatan puntir sambungan las.

Dari gambar 4.21 dan 4.22 di bawah ini bisa dilihat bahwa nilai kekutan puntir tertinggi dari semua variasi terdapat pada sudut 11,5° waktu 90 detik yakni sebesar 145,71 MPa dan kekuatan puntir terendah terdapat pada sudut 15° waktu 150 detik yakni sebesar 75,23 MPa.

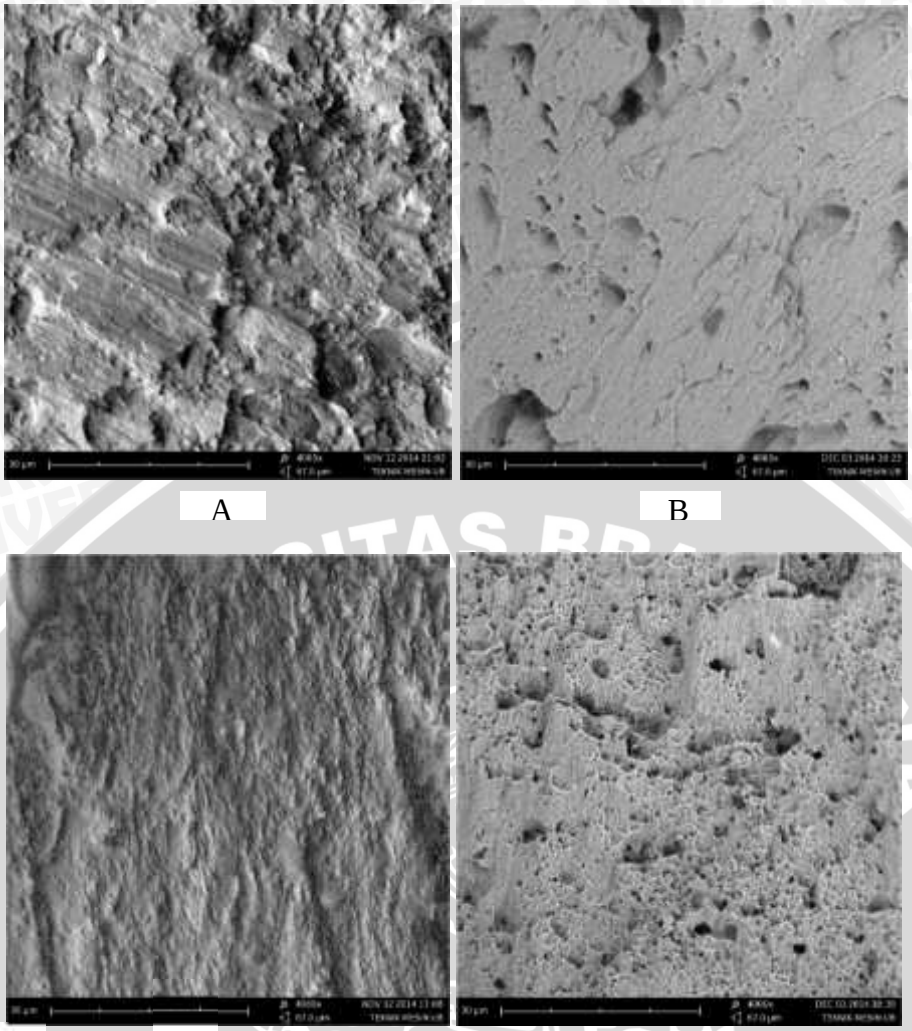


Gambar 4.21 Grafik hubungan antara hubungan antara sudut *chamfer* terhadap kekuatan puntir sambungan las gesek



Gambar 4.22 Grafik hubungan antara hubungan antara *friction time* terhadap kekuatan puntir sambungan las gesek

Besar kecilnya kekuatan puntir ini dipengaruhi oleh daerah luasan *Fully Plasticized Zone (Zpl), Partly Deformed Zone (Zpd).* Selain itu semakin lama waktu pengelasan juga dapat mempengaruhi kekuatan puntir pada sambungan las. Semakin lama waktu pengelasan kekuatan pengelasan juga semakin menurun. Ini dikarenakan flash yang terbentuk juga semakin banyak sehingga dapat mempengaruhi proses pendinginan. Selain itu semakin lama waktu pengelasan daerah HAZ yang terbentuk juga semakin luas dan ini dapat menurunkan kekuatan puntir dari sambungan las gesek tersebut. Ini bisa dilihat juga dari betuk patahan yang terbentuk setelah pengujian uji puntir dilakukan. Untuk gambar lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.23 dibawah ini.



Gambar 4.23 Foto SEM Patahan Hasil Uji Puntir A) Patahan 11€5• *friction time* 90 detik bagian tengah τ_{max}=145,71 MPa; B) Patahan 15° *friction time* 150 detik bagian tengah τ_{max}= 75,23 MPa; C) Patahan 11,5° *friction time* 90 detik bagian pinggir τ_{max}=145,71 MPa; D) Patahan 15° *friction time* 150 detik bagian pinggir τ_{max}=75,23 MPa

Pada 11,5° patahan yang terbentuk adalah patahan getas dimana patahan terjadi tanpa adanya deformasi terlebih dahulu sehingga terbentuk permukaan yang kasar. Ini dapat dilihat pada gambar 4.6a dan 4.6b. Sedangkan pada sudut 15° waktu 150 detik terbentuk patahan ulet. Ini dikarenakan pada saat pengujian sebelum terjadi patahan material tersebut mengalami deformasi terlebih dahulu dan ini mengakibatkan permukaan patahan yang lebih halus. Jenis patahan ini dapat dilihat pada foto sem 4.23c dan 4.23d

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Kekuatan puntir terbesar terdapat pada sudut 11,5° pada waktu pengelasan 90 detik karena daerah HAZ yang terbentuk kecil karena *heat input* yang kecil.
2. Semakin lama waktu pengelasan maka daerah HAZ yang terbentuk akan semakin besar.
3. Semakin besar daerah HAZ yang terbentuk maka kekuatan puntir akan semakin menurun karena HAZ mempengaruhi besar kecilnya kekuatan puntir.

5.2 Saran

1. Pada penelitian selanjutnya diharapkan untuk meneliti pengaruh panjang sudut *chamfer* terhadap kekuatan puntirnya.
2. Pada penelitian selanjutnya diharapkan untuk meneliti pengaruh sudut *chamfer* terhadap kekuatan impak.

DAFTAR PUSTAKA

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

American Society for Testing and Materials. 2004. Standard Test Method for Torsion at Room Temperature, ASTM Designation E143. Annual Book of ASTM Standards. Vol. 03.01. pp 338-342.

Can, Ahmer,dkk.2010.*Modeling of Friction Welding*.International Science Conference

Irawan, Yudy Surya. 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. Switzerland:Trans Tech

Iswar, Muhammad dan Syam, Rafiuddin 2012.*Pengaruh Variasi Parameter Pengelasan (Putaran dan Temperatur) Terhadap Kekuatan Sambungan Las Hasil Friction Welding Pada Baja Karbon Rendah*, Makassar

Kuswandi, Ari.2012.*Pengaruh friction time terhadap kekuatan impak sambungan las gesek pada paduan Al-Mg-Si*. Tidak dipublikasikan, Malang.

Lin,C.B.,Mu,C.K dkk.1999. *the effect of joint design and Volume Fraction on Friction Welding Properties of A360/SiC Composites.* Welding Research Supplement. Departemen og Mechanical Engineering. Tamkang University. Taiwan

Sahin, Mumin. 2006. *Evaluation of the joint-interface properties of austenitic-stainless steels (AISI 304) joined by friction welding.Material and Design (2244-2250.* Edirne: Trakya University

Santoso, Eko Budi. 2012.*Pengaruh Sudut Chamfer Dan Gaya Tekan Akhir Terhadap Kekuatan Tarik Dan Porositas Sambungan Las Gesek Pada Paduan Al-Mg-S*i. Malang: Jurnal Rekayasa Mesin

Simamora. 2011.*Pengaruh gaya tekan akhir terhadap kekuatan puntir sambungan las gesek pada aluminium AA 6061*.Tidak dipublikasikan, Malang

Kou, Sindo.2002. *Welding Metallurgy. Departement of Material Science Engineering.* University of Wisconsin. New Jersey: John Willey and Sons,Inc.

Sonawan, Hery dan Suratu, Rochim. 2006. *Pengantar Untuk Memahami Pengelasan Logam.*Jakarta: Alfabeta.

Sriwidarto. 1996. *Petunjuk Kerja Las*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.

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

Wiryosumarto, Harsono, Okumura Toshi, 2000. *Teknologi Pengelasan Logam.* Jakarta: PT. Pradnya Paramita

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
repository.ub.ac.id

SPECTRO

122804

PT.H.P.METALS INDONESIA

Method: Al-SS-6063 5/8/2014 10:36:53 AM
Comment: Al-Base SS-6063 Element Concentration
Sample No.: Sample ID:
2

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.568	0.311	0.252	0.0212	0.827	0.0835	0.0434	0.0135
2	0.574	0.304	0.255	0.0214	0.828	0.0832	0.0419	0.0134
3	0.562	0.302	0.250	0.0213	0.813	0.0831	0.0418	0.0133

	Na	Ca	Ni	Pb	P	Sn	Sb	Sr
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	0.0043	0.00038	0.0086	0.0031	0.00061	0.00072	0.0012	0.00013
2	0.0035	0.00032	0.0084	0.0030	0.00052	0.00071	0.0011	< 0.00010
3	0.0027	0.00027	0.0084	0.0030	0.00051	0.00071	0.0012	< 0.00010

	Be	Zr	Bi	Cd	Al			
	%	%	%	%	%			
1	0.00006	0.0015	< 0.00030	0.0012	97.9			
2	0.00006	0.0015	< 0.00030	0.0012	97.9			
3	0.00006	0.0015	< 0.00030	0.0011	97.9			

Lampiran 1. Hasil Uji Komposisi Material

Lampiran 2. Foto Benda Kerja

1. Friction Time 90 detik
   Sudut 11,5 °
   Spesimen 1 Spesimen 2 Spesimen 3

Sebelum Pengujian Puntir

Sesudah Pengujian Puntir

Sudut 15°
Spesimen 1 Spesimen 2 Spesimen 3

Sebelum Pengujian Puntir

Sudut 30°
Spesimen 1 Spesimen 2 Spesimen 3

Sebelum Pengujian Puntir

Sesudah Pengujian Puntir

Sudut 45°
Spesimen 1 Spesimen 2 Spesimen 3

Sebelum Pengujian Puntir

Sesudah Pengujian Puntir

2. Friction Time 120 detik
   Sudut 11,5 °
   Spesimen 1 Spesimen 2 Spesimen 3

Sebelum Pengujian Puntir

Sesudah Pengujian Puntir

Sudut 15°

Spesimen 1 Spesimen 2 Spesimen 3

Sebelum Pengujian Puntir

Sesudah Pengujian Puntir

Sudut 30°

Spesimen 1 Spesimen 2 Spesimen 3

Sebelum Pengujian Puntir

Sesudah Pengujian Puntir

Sudut 45°

Spesimen 1 Spesimen 2 Spesimen 3

Sebelum Pengujian Puntir

Sesudah Pengujian Puntir

3. Friction Time 150 detik

Sudut 11,5 °

Spesimen 1 Spesimen 2 Spesimen 3

Sebelum Pengujian Puntir

Sesudah Pengujian Puntir

Sudut 15°

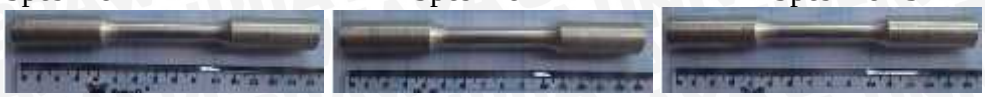
Spesimen 1 Spesimen 2 Spesimen 3

Sebelum Pengujian Puntir

Sesudah Pengujian Puntir

Sudut 30°

Spesimen 1 Spesimen 2 Spesimen 3



Sebelum Pengujian Puntir

Sesudah Pengujian Puntir

Sudut 45°

Spesimen 1 Spesimen 2 Spesimen 3

Sebelum Pengujian Puntir

Sesudah Pengujian Puntir

4. Friction Time 180 detik

Sudut 11,5 °

Spesimen 1 Spesimen 2 Spesimen 3

Sebelum Pengujian Puntir

Sesudah Pengujian Puntir

Sudut 15°

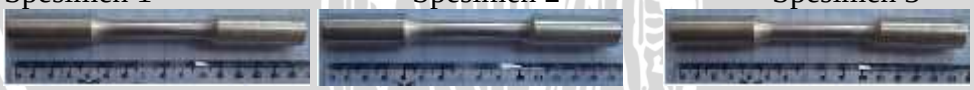
Spesimen 1 Spesimen 2 Spesimen 3

Sebelum Pengujian Puntir

Sesudah Pengujian Puntir

Sudut 30°

Spesimen 1 Spesimen 2 Spesimen 3



Sebelum Pengujian Puntir

Sesudah Pengujian Puntir

Sudut 45°

Spesimen 1 Spesimen 2 Spesimen 3

Sebelum Pengujian Puntir

Sesudah Pengujian Puntir

Lampiran 3. Surat Keterangan Pengujian

KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
POLITEKNIK NEGERI MALANG
JURUSAN TEKNIK MESIN
Terakreditasi A, Sesuai Kpts BAN No.:014/BAN-PT/Ak-VI/Dpl-III/VI/2006
Jl. Veteran PO. Box 04 Malang 65145 Telp/Fax. (0341)550180
http://www.poltek-malang.ac.id

SURAT KETERANGAN
NOMOR :152/PL2.TM/KM/2014

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama	:	Dr.Eng. Anggit Murdani, ST., M.Eng.
N I P	:	197109151999031001
Jabatan	:	Kepala Laboratorium Uji Bahan Teknik Jurusan Teknik Mesin - Politeknik Negeri Malang

Menerangkan dengan sesungguhnya bahwa mahasiswa :

Nama	:	Muhamad Amirullah
Nim	:	105060200111042
Jurusan	:	Teknik Mesin (S1)
Fakultas	:	Teknik Universitas Brawijaya

Benar benar telah melaksanakan Uji Puntir di Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang pada tanggal 26 September 2014 sampai selesai, guna keperluan penyusunan skripsi.

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Malang, 26 September 2014

Kepala Laboratorium Uji Bahan Teknik
Jurusan Teknik Mesin

Dr.Eng. Anggit Murdani, ST., M.Eng.
197109151999031001

FRM.RME.02.01.00

Lampiran 4. Perhitungan Konstanta Pegas

Prosedur perhitungan konstanta pegas

1. Berikan gaya tekan pada pegas sebesar 156,8 kgf
2. Setelah diberikan gaya, maka pegas akan mengalami penyusutan
3. Hitung perubahan panjang pegas
4. Hitung nilai konstanta pegas dengan menggunakan rumus F=k.c

Perhitungan konstanta pegas

Diketahui : - Gaya yang diberikan (F) : 156,8 kgf

- penyusutan panjang pegas (€x) : 28 mm

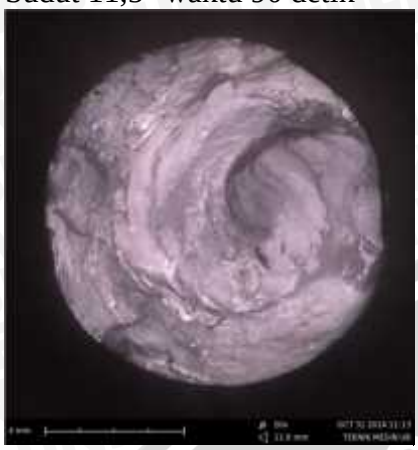
$F=k.\Delta x$

$K=\frac{k}{\Delta x}=\frac{156,8}{28}=5,6$ kgf/mm

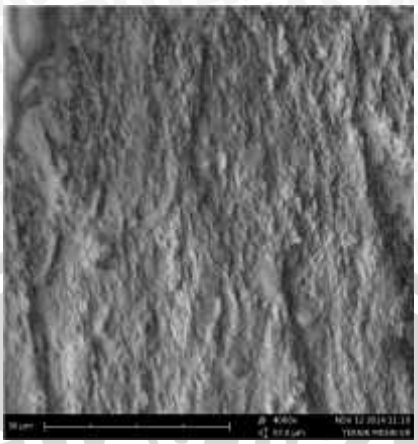
Jadi besarnya nilai konstanta pegas adalah sebesar 5,6 kgf/mm

Lampiran 5. Foto SEM

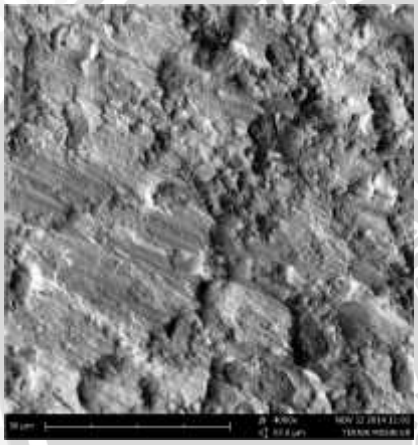
Sudut 11,5° waktu 90 detik



Tampak keseluruhan

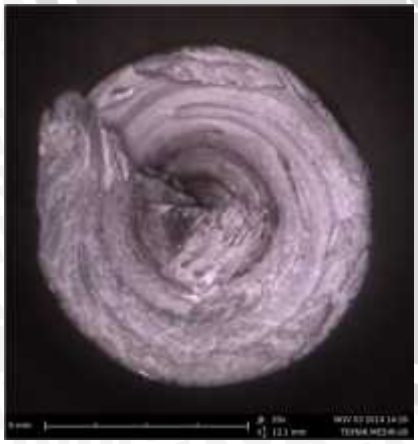


Daerah pinggir

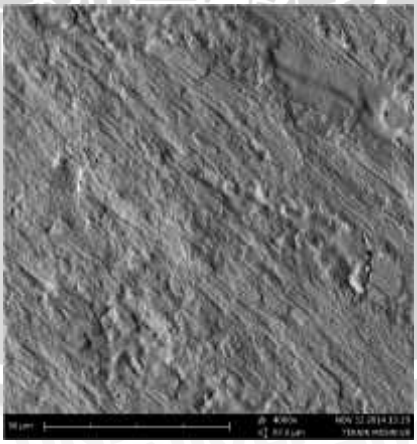


Daerah tengah

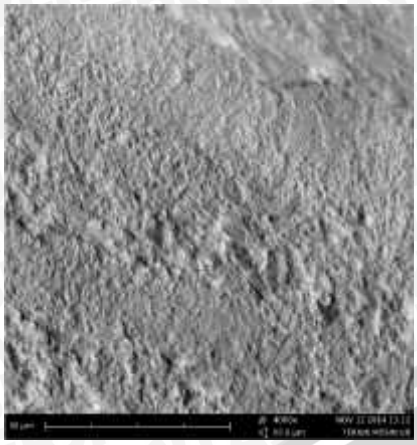
Sudut 45° waktu 90 detik



Tampak keseluruhan

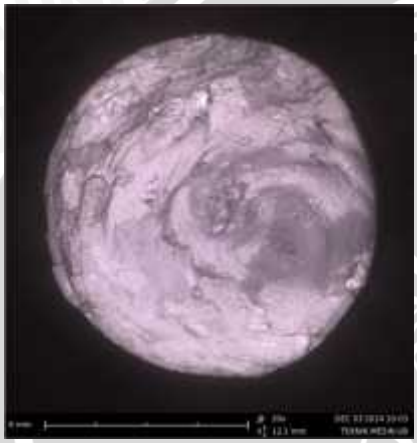


Daerah pinggir

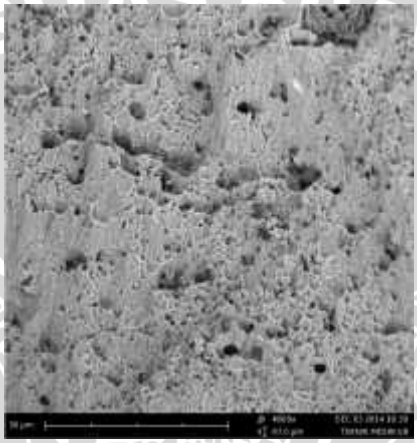


Daerah tengah

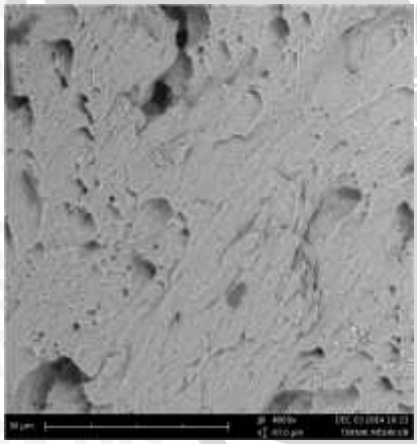
Sudut 15° waktu 150 detik



Tampak keseluruhan



Daerah pinggir



Daerah tengah