KEKUATAN TARIK PADA SAMBUNGAN LAS GESEK ALUMINIUM *A6061* MENGGUNAKAN TINGGI *CHAMFER* KONTAK LAS 1 mm DENGAN VARIASI *FRICTION TIME*

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

MOHAMAD YANUAR

NIM. 105060200111062 - 62

KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN MESIN

MALANG

2015

repository.ub.ac.id

LEMBAR PERSETUJUAN

KEKUATAN TARIK PADA SAMBUNGAN LAS GESEK ALUMINIUM *A6061* MENGGUNAKAN TINGGI *CHAMFER* KONTAK LAS 1 mm DENGAN VARIASI *FRICTION TIME*

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

MOHAMAD YANUAR

NIM. 105060200111062 - 62

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II
Dr. Eng. Yudy Surya Irawan, ST., M.Eng	**Rudianto Raharjo, ST., MT**
NIP. 19750710 199903 1 004	**NIP. 19820225 201212 1 002**

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LEMBAR PENGESAHAN

KEKUATAN TARIK PADA SAMBUNGAN LAS GESEK ALUMINIUM *A6061* MENGGUNAKAN TINGGI *CHAMFER* KONTAK LAS 1 mm DENGAN VARIASI *FRICTION TIME*

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

MOHAMAD YANUAR
NIM. 105060200111062 - 62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 03Agustus 2015

Majelis Penguji

Skripsi I

Ir. Djarot B. Darmadi, MT, Ph.D
NIP. 19670518 199412 1 001

Skripsi II

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

Skripsi III

Ir. Agustinus Ariseno, MT
NIP. 19510822 198701 1 001

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1
Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

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

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah segala puji dan syukur penulis ucapkan kepada ALLAH S.W.T, yang telah senantiasa melimpahkan rahmat, berkah, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini yang berjudul **"Kekuatan Tarik Pada Sambungan Las Gesek Aluminium *A6061* Menggunakan Tinggi *Chamfer* Kontak Las 1 mm dengan Variasi *Friction Time*".**

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

1. Ayah dan Mamah : Bapak Amir Fatah dan Ibu Umi Hasanah. Adik : Sri Fatmi Kurnia Sari, serta seluruh anggota keluarga besar yang telah memberikan banyak sekali dukungan baik berupa doa, motivasi semangat, nasihat, dan materi sehingga tugas akhir skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
2. Bapak Dr.Eng. Yudy Surya Irawan, ST., M.Eng., sebagai Dosen Pembimbing Skripsi I yang telah banyak memberikan segala bimbingan, nasihat, pengarahan, motivasi, doa, dan masukan yang telah diberikan.
3. Bapak Rudianto Raharjo, ST., MT., sebagai Dosen Pembimbing Skripsi II yang telah banyak memberikan segala bimbingan, nasihat, pengarahan, motivasi, doa, dan masukan yang telah diberikan.
4. Bapak Dr.Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
5. Bapak Purnami ST., MT., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
6. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang telah banyak memberikan ilmu selama perkuliahan.
7. Seluruh pegawai Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang terlibat secara langsung dan tidak langsung selama proses penelitian ini.
8. Saudari Djanthi Kumala Puri sebagai wanita terdekat setelah Ibu penulis, yang selalu ada untuk memberikan dukungan, motivasi semangat, dan doa.
9. Teman – teman Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, khususnya keluarga besar angkatan 2010 (IMMORTAL / M'10) dan lebih khususnya Teguh Aris Santoso dan Gigih Ramdhan Kusuma, juga para pendahulu yang sudah

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

melakukan penelitian ini Alfian dan Busthanul yang telah membagi ilmu, pengalaman, dan bantuannya dalam pelaksanaan penelitian dan seminar skripsi ini.

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

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

Malang, Juli 2015

Penulis

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR ..... **i**
DAFTAR ISI ..... **iii**
DAFTAR GAMBAR ..... **vi**
DAFTAR TABEL ..... **viii**
DAFTAR LAMPIRAN ..... **ix**
RINGKASAN ..... **x**
SUMMARY ..... **xi**

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA
2.1 Penelitian Sebelumnya 5
2.2 Aluminium 5
2.2.1 Aluminium Dan Paduan 7
2.2.2 Klasifikasi Aluminium Paduan 8
2.2.3 Paduan Aluminium *A6061* 9
2.2.4 Kekuatan Mekanik Aluminium 10
2.2.5 Sifat Mampu Las Aluminium 11
2.3 Pengelasan 12
2.4 Pengelasan Gesek (*Friction Welding*) 13
2.4.1 *Linear Friction Welding* 14
2.4.2 Kelebihan Las Gesek 15
2.4.3 Aplikasi Las Gesek 16
2.5 Daerah Hasil Pengelasan Gesek dan *HAZ* 16
2.6 Cacat Pengelasan 17
2.7 Hubungan Antara Gaya Gesek dengan Energi Panas 18

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

2.8 *Chamfer* 21
2.9 Pengujian Tarik 21
2.10 Pengujian Kekerasan 24
2.11 Hipotesis 25

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Variabel Penelitian 26
3.1.1 Variabel Bebas 26
3.1.2 Variabel Terikat 26
3.1.3 Variabel Kontrol 26
3.2 Waktu Dan Tempat Penelitian 27
3.3 Alat Dan Bahan Yang Digunakan 27
3.3.1 Alat Yang Digunakan 27
3.3.2 Bahan Yang Digunakan 28
3.4 Dimensi Benda Kerja 28
3.5 Instalasi Alat Pengelasan Gesek 29
3.6 Prosedur Penelitian 29
3.6.1 Proses Persiapan Benda Kerja 29
3.6.2 Pengelasan Gesek 30
3.6.3 Pengujian Kekuatan Tarik 31
3.6.4 Pengambilan Foto Makrostruktur 32
3.6.5 Pengujian Kekerasan *Vickers* 32
3.6.6 Analisa Hasil Pengujian 32
3.7 Diagram Alir Penelitian 33

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian Tarik 35
4.1.1 Hasil Pengujian Tarik Spesimen Tinggi *Chamfer* 1 mm 35
4.1.2 Hasil Pengujian Tarik Spesimen Tanpa *Chamfer* 36
4.2 Pembahasan 36
4.2.1 Hubungan *Friction Time* Pada Spesimen Tinggi *Chamfer* 1 mm 36
4.2.1.1 Analisa Luasan Daerah Hasil Pengelasan 37
4.2.1.2 Hasil Pengujian Kekerasan Pada Daerah Pengelasan 40
4.2.2 Hubungan *Friction Time* Pada Spesimen Tanpa *Chamfer* 42

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

4.2.2.1 Analisa Luasan Daerah Hasil Pengelasan 42
4.2.2.2 Hasil Pengujian Kekerasan Pada Daerah Pengelasan 44
4.2.3 Hubungan *Friction Time* Pada Spesimen Tinggi *Chamfer* 1 mm dan Tanpa *Chamfer* 46

BAB V PENUTUP
5.1 Kesimpulan 48
5.2 Saran 48

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Aluminium 6
Gambar 2.2 Klasifikasi Cara Pengelasan 13
Gambar 2.3 Mekanisme *Linear Friction Welding* 13
Gambar 2.4 Mekanisme *Friction Stir Welding* 14
Gambar 2.5 Simulasi *Linier Friction Welding* 14
Gambar 2.6 Parameter *Friction Welding* 15
Gambar 2.7 Aplikasi Las Gesek 16
Gambar 2.8 Zona Hasil Pengelasan Gesek 17
Gambar 2.9 *Friction Surface* 19
Gambar 2.10 Geometri *Chamfer* 21
Gambar 2.11 Grafik Pembebanan dan Pertambahan Panjang 22
Gambar 2.12 Grafik Hubungan Tegangan – Regangan dan Fenomena Benda Kerja ... 22
Gambar 2.13 Spesimen Uji Tarik Standard *ASTM E-8* 23
Gambar 2.14 Mesin Uji Tarik 23
Gambar 2.15 Indentor Piramid Intan Pada Metode *Microvickers* 24
Gambar 3.1 Dimensi Benda Kerja 28
Gambar 3.2 Skema Alat Pengelasan Gesek yang Digunakan 29
Gambar 3.3 Parameter Pengelasan Gesek yang Digunakan 30
Gambar 3.4 Spesimen Uji Tarik Standard *ASTM E-8* 31
Gambar 3.5 Diagram Alir Penelitian 34
Gambar 4.1 Grafik Hubungan *Friction Time* Terhadap Kekuatan Tarik Rata-Rata Sambungan Las Gesek Spesimen Tinggi *Chamfer* 1 mm 36
Gambar 4.2 Foto Makrostruktur Spesimen Tinggi *Chamfer* 1mm *Friction Time* 40 detik 37
Gambar 4.3 Foto Makrostruktur Spesimen Tinggi *Chamfer* 1mm *Friction Time* 45 detik 38
Gambar 4.4 Foto Makrostruktur Spesimen Tinggi *Chamfer* 1mm *Friction Time* 60 detik 38
Gambar 4.5 Foto Makrostruktur Uji Kekerasan Spesimen Tinggi *Chamfer* 1mm *Friction Time* 40 detik 40
Gambar 4.6 Foto Makrostruktur Uji Kekerasan Spesimen Tinggi *Chamfer* 1mm *Friction Time* 45 detik 40

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Gambar 4.7 Foto Makrostruktur Uji Kekerasan Spesimen Tinggi *Chamfer* 1mm *Friction Time* 60 detik 40
Gambar 4.8 Grafik Hubungan *Friction Time* Terhadap Kekuatan Tarik Rata-Rata Sambungan Las Gesek Spesimen Tanpa *Chamfer* 42
Gambar 4.9 Foto Makrostruktur Spesimen Tanpa *Chamfer Friction Time* 40 detik .. 43
Gambar 4.10 Foto Makrostruktur Spesimen Tanpa *Chamfer Friction Time* 60 detik .. 43
Gambar 4.11 Foto Makrostruktur Uji Kekerasan Spesimen Tanpa *Chamfer Friction Time* 40 detik 44
Gambar 4.12 Foto Makrostruktur Uji Kekerasan Spesimen Tanpa *Chamfer Friction Time* 60 detik 44
Gambar 4.13 Grafik Hubungan *Friction Time* Pada Spesimen Tanpa *Chamfer* dan Spesimen Tinggi *Chamfer* 1 mm Terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Las 46

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat Fisik Aluminium 6
Tabel 2.2 Sifat Mekanik Aluminium 7
Tabel 2.3 Komposisi Kimia Aluminium *A6061* 9
Tabel 2.4 Sifat – Sifat Aluminium *A6061* 10
Tabel 2.5 Sifat Mekanik Aluminium *A6061* 10
Tabel 3.1 Komposisi Kimia Paduan aluminium *A6061* 28
Tabel 3.2 Komposisi Kimia Paduan aluminium *A6061* Hasil Pengujian Komposisi . 28
Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Tarik Spesimen *Chamfer* 1 mm 35
Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Tarik Spesimen Tanpa *Chamfer* 36
Tabel 4.3 Luasan Daerah Logam Las, *HAZ*, dan *Zpr* Spesimen Tinggi *Chamfer* 1 mm 38
Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Kekerasan *Vickers* Spesimen Tinggi *Chamfer* 1 mm 41
Tabel 4.5 Luasan Daerah Logam Las, *HAZ*, dan *Zpr* Spesimen Tanpa *Chamfer* 43
Tabel 4.6 Data Hasil Pengujian Kekerasan *Vickers* Spesimen Tanpa *Chamfer* 45
Tabel 4.7 Data Luasan Daerah Logam Las, *HAZ*, dan *Zpr* Berdasarkan Nilai Kekuatan Tarik Terendah dan Tertinggi 46
Tabel 4.8 Data Nilai Kekerasan Daerah Logam Las, *HAZ*, dan *Zpr* Berdasarkan Nilai Kekuatan Tarik Terendah dan Tertinggi 47

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Keterangan Pengujian Konstanta Pegas di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya

Lampiran 2 Data Hasil Pengujian Konstanta Pegas

Lampiran 3 Surat Keterangan Pengujian Tarik di Laboratorium Struktur Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Malang

Lampiran 4 Sertifikat Kalibrasi Universal Testing Machine Milik Laboratorium Struktur Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Malang

Lampiran 5 Hasil Pengujian Tarik Spesimen Tinggi *Chamfer* 1 mm

Lampiran 6 Hasil Pengujian Tarik Spesimen Tanpa *Chamfer* dan Logam Induk

Lampiran 7 Surat Keterangan Pengujian Kekerasan *Microvickers,* Foto Makro, dan Foto Mikrostruktur di Laboratorium Pengujian Bahan Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya

Lampiran 8 Data Hasil Pengujian Kekerasan *Microvickers*

Lampiran 9 Standar *AWS* & *ASTM-E8* untuk Spesimen Uji Tarik

Lampiran 10 Tabel dan Grafik Distribusi Panas Pengelasan pada Spesimen Tinggi *Chamfer* 1mm dengan *Friction Time* 40 detik & 45 detik

Lampiran 11 Hasil Pengujian Kekasaran Permukaan Kontak Las

Lampiran 12 Foto Spesimen Hasil Las, Uji Tarik, Patah/*Fracture*, dan Patahan

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

repository.ub.ac.id

RINGKASAN

Mohamad Yanuar Fatah, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juli 2015, *Kekuatan Tarik Pada Sambungan Las Gesek Aluminium A6061 Menggunakan Tinggi Chamfer Kontak Las 1 mm dengan Variasi Friction Time*, Dosen Pembimbing : Yudy Surya Irawan dan Rudianto Raharjo.

Pengelasan gesek (*friction welding*) merupakan salah satu metode modern untuk penyambungan aluminium. Metode pengelasan ini bertujuan untuk memaksimalkan daya guna dari aluminium yang semakin banyak digunakan di berbagai bidang dalam kehidupan manusia mulai dari peralatan rumah tangga hingga transportasi canggih seperti perkapalan dan pesawat terbang. Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah *Linear Friction Welding* yang merupakan metode pengelasan yang sumber panasnya berasal dari gesekan kedua permukaan benda itu sendiri tanpa memerlukan bahan tambahan apapun dari luar.

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan mengetahui bagaimana pengaruh variasi waktu gesek/*friction time* dengan menggunakan tinggi *chamfer* kontak las sebesar 1 mm dan tanpa *chamfer* terhadap kekuatan tarik pada sambungan las gesek aluminium *A6061*. Variasi *friction time* yang digunakan pada penelitian ini, yaitu 40 detik, 45 detik, 50 detik, 55 detik, dan 60 detik. Dengan menggunakan kecepatan putaran *spindle* 1600 *rpm*, penekanan gesek yang digunakan sebesar 150 Kgf, dan penekanan tempa/penekanan akhir sebesar 200 Kgf dengan waktu 2 menit. Dengan mengontrol kekasaran permukaan kontak las sebesar $\pm$ 0,64 µm. Spesimen pengujian tarik menggunakan standar yang digunakan oleh *AWS (American Welding Society),* standard tersebut mengacu pada *ASTM E-8/ASTM E-8M.*

Hasil dari penelitian ini menunjukan bahwa luasan daerah *HAZ (Heat Affected Zone)* dan luasan daerah porositas *(Zpr)* pada hasil sambungan las sangat mempengaruhi nilai kekuatan tarik sambungan las tersebut, karena jika luasan *HAZ* dan *Zpr* semakin besar maka nilai kekuatan tarik semakin menurun, dan begitu pula dengan sebaliknya. Nilai kekuatan tarik rata-rata tertinggi sebesar 175,120 N/mm^2 terdapat pada spesimen tinggi *chamfer* kontak las 1 mm dengan *friction time* 45 detik. Sedangkan nilai kekuatan tarik terendah sebesar 121,861 N/mm^2 terdapat pada spesimen tanpa *chamfer* dengan *friction time* 60 detik.

Kata Kunci : *Friction Welding*, *Friction Time, Chamfer*, Kekuatan Tarik, dan Aluminium *A6061*.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

repository.ub.ac.id

SUMMARY

Mohamad Yanuar Fatah, *Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, in July 2015, The Tensile Strength on Friction Weld Joint of Aluminium A6061 by Using High of Chamfer 1 mm with a Various Friction Time. Supervisor :* Yudy Surya Irawan *and* Rudianto Raharjo.

Friction welding is one of the modern methods for connecting aluminium metal. This welding method is purpose to maximize usefulness of aluminium which much used in various fields of human life began from household appliances and until high-tech transportation such as ship and airplane. In this research the used method was linear friction welding which the source of heat come from the friction of both objects surface without requiring additional material from the outside.

This research was conducted to determine the effects of various friction time by using high of chamfer 1 mm and without chamfer toward tensile strength on friction weld joint of aluminium A6061. Various friction time which used in this study are 40 second, 45 second, 50 second, 55 second and 60 second. By using a spindle rotation 1600 rpm, the pressure of friction used was 150 Kgf and the forging pressure used was 200 Kgf for during 2 minutes. By controlling the surface roughness of welding contact ± 0,64 µm. The tension test speciment using standard which is used by AWS (American Welding Society), the standard refer to ASTM E-8/ASTM E-8M.

The result of this study showed that the area of HAZ (Heat Affected Zone) and area of porosity zone (Zpr) on weld joint highly significant toward tensile strength values of weld joint it self, because when the area of HAZ and Zpr are increased then the tensile strength would decreased and so did the opposite. The highest value of tensile strength on average was 175,120 N/mm^2 exist on speciment by high of chamfer 1mm with 45 second a frciton time. While the lowest value of tensile strength was 121,861 N/mm^2 exist on speciment without chamfer by 60 second a friction time.

Keywords : *Friction Welding, Friction Time, Chamfer, Tensile Strength, and Aluminium A6061.*

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam menghadapi era modern saat ini ilmu pengetahuan dan teknologi yang berhubungan dengan dunia industrial sudah semakin berkembang pesat seiring dengan kebutuhan manusia akan benda atau barang yang dapat menunjang dan membantu kehidupan manusia. Pada dunia industrial saat ini mulai banyak mempertimbangkan penggunaan aluminium sebagai bahan utama dalam proses produksi suatu benda.

Penggunaan aluminium sebagai bahan utama dikarenakan logam ini mempunyai beberapa kelebihan seperti, berbobot ringan, memiliki kekuatan terhadap beban yang tinggi, tahan terhadap korosi dari berbagai bahan kimia, sebagai konduktor yang sangat baik, memiliki sifat kilau atau memantulkan cahaya, mudah dalam proses pembentukan atau machining, dan tidak bersifat magnet. Penggunaan aluminium dalam dunia industri banyak digunakan, mulai dari industri peralatan rumah tangga, industri kelistrikan, industri konstruksi bangunan, industri otomotif, hingga industri perkapalan dan pesawat terbang.

Aluminium pertama kali ditemukan oleh Sir Humphrey Davi pada tahun 1809 masih sebagai unsur dan orang yang pertama kali mereduksi unsur tersebut menjadi logam ialah H.C.Oested pada tahun 1825. Aluminium dan paduannya merupakan logam ringan yang mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan logam besi maupun baja, tetapi logam aluminium dan paduannya memang masih di bawah logam besi maupun baja dalam hal kekuatan dan modulus elastisitasnya. (Surdia, 1999 : 129)

Dengan semakin berkembangnya penggunaan aluminium dalam industri, berbagai proses dilakukan untuk menambah daya guna dari aluminium. Salah satunya adalah proses penyambungan dengan pengelasan. Namun proses penyambungan aluminium menggunakan pengelasan belum dapat dilakukan dengan baik karena masih adanya beberapa masalah yang disebabkan karena aluminium memiliki sifat penghantar panasnya yang baik, sehingga sulit terjadi pemanasan pada daerah pengelasan dengan menggunakan metode pengelasan yang sudah umum seperti las busur atau las gas. Oleh sebab itu dikembangkanlah metode pengelasan yang dapat memecahkan masalah tersebut, yakni metode pengelasan gesek (*friction welding)* yang merupakan salah satu metode penyambungan material dengan memanfaatkan panas yang dihasilkan dari gesekan antara permukaan dua material itu sendiri yang akan disambung.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Pengelasan gesek ditemukan sejak tahun 1891, sejak hak paten yang pertama untuk proses pengelasan ini dikeluarkan oleh Amerika Serikat. Pengelasan gesek dikembangkan lebih lanjut di AS oleh *AMF*, *Caterpilar*, dan *Rockwell International*. *AMF* memproduksi mesin untuk pengelasan batang worm steering, Caterpilar untuk pengelasan *turbocharger*, sedangkan Rockwell International menggunakannya untuk pengelasan *spindle* untuk *differential bearing truck*.

Pengelasan gesek (*friction welding*) merupakan proses penyambungan yang terjadi akibat penggabungan antara laju putaran salah satu benda kerja dengan gaya tekan yang dilakukan oleh benda kerja yang lain terhadap ujung benda kerja yang berputar, gesekan yang diakibatkan oleh pertemuan kedua permukaan benda kerja tersebut akan menghasilkan panas yang dapat melumerkan kedua ujung benda kerja yang bergesekan hingga akhirnya terjadi proses penyambungan (Kuswandi, 2010).

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

Ada beberapa parameter-parameter penting dalam pengelasan gesek (*friction welding*), yaitu kecepatan putar, waktu gesekan, tekanan gesekan, waktu tempa, dan tekanan tempa. Parameter-parameter tersebut akan berpengaruh terhadap sifat mekanik hasil sambungan las gesek. Salah satu sifat mekanik yang penting dalam aplikasinya terutama pada hasil sambungan las gesek adalah kekuatan tarik. Kekuatan tarik pada sambungan las perlu diketahui sebagai gambaran bagaimana material ketika mendapatkan tegangan tarik dan juga dapat membantu dalam menentukan pengaplikasian material untuk penggunaan – penggunaan teknik.

Ada beberapa penelitian yang sudah dilakukan terhadap metode pengelasan gesek ini dengan cara memvariasikan beberapa parameter - parameter yang digunakan, seperti contoh penelitian berikut ini :

- Irawan, Yudy.S., *et.al* (2012), "*Tensile strength of weld joint produced by spinning friction welding of round aluminium A6061 with various chamfer angles*". Dari hasil penelitiannya didapatkan bahwa kekuatan tarik aluminium paduan Al-Mg-Si

dengan variasi sudut 15°,30°,45°,60°,dan 75° dengan gaya penekanan 123 *Kgf* dan gaya tekan akhir 157 *Kgf* dengan waktu penekanan 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.

- Ardhiyanto, B. (2010), "Pengaruh *friction time cycle* terhadap kekuatan tarik sambungan las gesek untuk paduan Al-Mg-Si". Pada penelitiannya menggunakan spesimen tanpa *chamfer* atau variasi bentuk pada bidang kontak las. Hasil yang didapat pada penelitiannya kekuatan tarik rata – rata tertinggi pada *friction time* 60 detik dengan nilai kekuatan tarik 136,92 N/mm^2 dan kekuatan taik terendah pada *friction time* 180 detik sebesar 74,74 N/mm^2. Dari hasil foto makrostruktur, kekuatan tarik sambungan dipengaruhi oleh sempit luasnya *HAZ* (*Heat Affected Zone*) yang dihasilkan, sedikit tidaknya porositas, dan besarnya luasan daerah *fully plasticized (Zpl)*.
- Rochman, Yova. A. (2010), dalam penelitiannya "Penggunaan sudut *chamfer* pada sisi kontak las gesek paduan aluminium A6061 " yang menggunakan *friction time* 120 detik didapatkan hasil luasan *HAZ* (*Heat Affected Zone*) terbesar dimiliki pada benda kerja yang tanpa sudut *chamfer* yaitu 74,53 mm^2. Sedangkan untuk luasan daerah las terbesar terdapat pada benda kerja yang menggunakan sudut *chamfer* 30^0 yaitu 39,78 mm^2.
- Santoso, Eko. (2012), dalam penelitiannya "Pengaruh sudut *chamfer* dan gaya tekan akhir terhadap kekuatan tarik sambungan las gesek pada paduan aluminium Al-Mg-Si". Dapat disumpulkan bawha hasil kekuatan tarik akan meningkat seiring dengan semakin kecilnya sudut *chamfer* dan semakin besar gaya tekan akhir. Kekuatan tarik tertinggi terdapat pada sudut 15^0 dan gaya tekan akhir 213 *Kgf* dengan nilai kekuatan tarik sebesar 140,45 Mpa.

Dari pembahasan di atas perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui bagaimana pengaruh *friction time* terhadap kekuatan tarik pada sambungan las gesek Aluminium *A6061* dengan tinggi *chamfer* kontak las 1 mm.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah diuraikan wtersebut, permasalahan yang akan dirumuskan dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh variasi *friction*

time dengan menggunakan tinggi *chamfer* kontak las di satu sisi/spesimen sebesar 1 mm terhadap kekuatan tarik pada sambungan las gesek aluminium *A6061*.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pengelasan yang digunakan adalah *linier friction welding*.
2. Pengelasan dilakukan pada dua material yang sama.
3. Material yang digunakan adalah aluminium seri 6061.
4. Tinggi *chamfer* yang digunakan adalah 1 mm pada satu sisi spesimen (spesimen penekan).
5. Kecepatan putaran *spindle* 1600 rpm.
6. *Friction time* yang digunakan 40 detik ; 45 detik ; 50 detik ; 55 detik ; 60 detik.
7. Gaya tekan gesek/pengelasan 150 *Kgf*.
8. Gaya tekan akhir/tempa 200 *Kgf*.
9. Sifat mekanis yang diuji pada bagian sambungan hasil pengelasan gesek, yaitu kekuatan tarik sebagai hasil utama dan kekerasan sebagai data pendukung.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana hasil kekuatan tarik sambungan las gesek pada aluminium *A6061* menggunakan tinggi *chamfer* kontak las 1 mm di satu sisi/spesimen dengan variasi *friction time*.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Dapat mengaplikasikan teori yang sudah dipelajari selama perkuliahan khususnya yang berhubungan dengan pengelasan logam khususnya logam aluminium.
2. Sebagai tambahan pengetahuan untuk mahasiswa dan peneliti mengenai hal-hal yang dapat mempengruhi kekuatan tarik pada sambungan las gesek aluminium *A6061*.
3. Sebagai acuan dalam dunia industri atau aplikasi sebenarnya untuk pengembangan pada proses pengelasan gesek yang optimal dan efisien.
4. Dapat digunakan sebagai acuan bagi mahasiswa dan peneliti yang akan mengembangkan dan melanjutkan penelitian ini.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Irawan, Yudy.S., *et.al* (2012), "*Tensile strength of weld joint produced by spinning friction welding of round aluminium A6061 with various chamfer angles*". Dari hasil penelitiannya disimpulkan bahwa kekuatan tarik aluminium paduan Al-Mg-Si dengan menggunakan variasi sudut 15°,30°,45°,60°,dan 75° dan penekanan gesek 123 *Kgf* dan gaya tekan tempa 157 *Kgf* dengan waktu penekanan 2 menit didapat nilai kekuatan tarik terbesar pada sudut 30°. Dari hasil foto mikrostruktur kekuatan tertinggi pada spesimen ini disebabkan oleh luas maksimum zona *plastis*, porositas minimum dan luas minimum zona yang terkena dampak panas.

Ardhiyanto, B. (2010), "Pengaruh *friction time cycle* terhadap kekuatan tarik sambungan las gesek untuk paduan Al-Mg-Si". Pada penelitiannya menggunakan spesimen tanpa *chamfer* pada bidang kontak las. Hasil yang didapat pada penelitiannya kekuatan tarik rata – rata tertinggi terdapat pada *friction time* 60 detik dengan nilai kekuatan tarik 136,92 N/mm^2 dan kekuatan taik terendah pada *friction time* 180 detik sebesar 74,74 N/mm^2. Dari hasil foto makrostruktur, kekuatan tarik tersebut dapat dianalisa bahwa sempit luasnya *HAZ* (*Heat Affected Zone*) yang dihasilkan, sedikit tidaknya porositas, dan besarnya luasan daerah *fully plasticized (Zpl).*

Rochman, Yova. A. (2010), dalam penelitiannya "Penggunaan sudut chamfer pada sisi kontak las gesek paduan aluminium A6061 " yang menggunakan friction time 120 detik didapatkan hasil luasan HAZ (Heat Affected Zone) terbesar dimiliki pada benda kerja yang tanpa sudut chamfer yaitu 74,53 mm2. Sedangkan untuk luasan daerah las terbesar terdapat pada benda kerja yang menggunakan sudut chamfer 300 yaitu 39,78 mm2.

2.2 Aluminium

Aluminium adalah unsur logam yang paling banyak terkandung di bumi. Aluminium sendiri mempunyai beberapa keuggulan jika dibandingkan dengan logam lain yakni termasuk logam ringan yang mempunyai kekuatan tinggi, tahan terhadap korosi, dan merupakan konduktor listrik yang baik dan sifat-sifat baik lainnya sebagai logam. (Surdia, 1999 : 129)

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Gambar 2.1 Aluminium
Sumber : *Swanson Industries* Inc. 2006

Aluminium merupakan logam yang paling banyak digunakan setelah baja. Karakteristik utamanya ringan (berat jenis = 2,7 gr/cm^3) dibandingkan dengan baja (berat jenis = 7,8 gr/cm^3), memiliki konduktifitas panas dan listrik yang tinggi, ketahanan korosi yang baik, serta memiliki keuletan yang cukup tinggi. Karena sifat mekanik yang dimilikinya sangat baik, material ini banyak digunakan dalam bidang yang luas bukan hanya peralatan rumah tangga saja, tapi juga dipakai untuk keperluan material *kelling*, pesawat terbang, mobil, kapal laut, dan konstruksi. (Sofyan, 2010 : 59)

Tabel 2.1 Sifat Fisik Aluminium

Sifat - Sifat	Kemurnian Aluminium	
	99,99 %	> 99 %
Massa Jenis (20 ^oC)	26,99	2,71
Titik Lebur (^oC)	660	653 - 657
Panas Jenis (Kal/g ^oC) (100 ^oC)	0,2226	0,2297
Hantaran Listrik (%)	64,94	59,03 (dianil)
Tahanan Listrik Koefisien Temperatur (/ ^oC)	0,0043	0,0115
Koefisien Muai (20 - 100 ^oC)	23,86 x 10	23,50 x 10

Sumber : Surdia, 1999 : 134

Tabel 2.2 Sifat Mekanik Aluminium

Sifat - Sifat	Kemurnian Aluminium			
	99,99 %		< 99 %	
	Dianil	75% dirol dingin	Dianil	H18
Kekuatan Tarik (kg/mm^2)	4,9	11,6	9,3	16,9
Kekuatan Elastis (0,2%) (kg/mm^2)	1,3	11,0	3,5	14,8
Regangan (%)	48,8	5,5	35	5
Kekerasan *Brinell*	17	27	23	44

Sumber : Surdia, 1999 : 134

4.2.1 Aluminium Dan Paduan

Adanya penambahan unsur paduan pada aluminium dapat meningkatkan kekuatan mekanik dari aluminium itu sendiri seperti penambahan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni dan sebagainya. Paduan aluminium secara umum diklasifikasikan menjadi dua kategori adalah sebagai berikut :

1. Berdasarkan dapat atau tidak dapat diperlaku – panaskan dikategorikan menjadi dua yaitu :
   a. Paduan yang dapat diperlaku – panaskan (*Heat Treatable Alloys*) artinya paduan jenis ini merupakan paduan yang kekuatannya dapat ditingkatkan dengan cara pengerasan dan penemperan.
   b. Paduan yang tidak dapat diperlaku – panaskan (*Non-heat Treatable Alloys*) artinya paduan jenis ini merupakan paduan yang kekuatannya hanya dapat ditingkatkan dengan pengerjaan dingin.
2. Berdasarkan cara pengolahan produk yang dihasilkan dikategorikan menjadi dua kategori yaitu :
   a. Paduan hasil pengerjaan logam (*Wrought Alloys*) artinya paduan ini dihasilkan dengan proses *forming* untuk menghasilkan bentuk yang diinginkan seprti pelat, lembaran, atau kawat.
   b. Paduan aluminium cor (*Casting Alloys*) artinya paduan dikerjakan dengan pengecoran (paduan tuang) yang kemudian dituang pada cetakan dengan bentuk benda yang diinginkan untuk kemudian di *finishing*.

(Wiryosumarto, 2008 : 113)

4.2.2 Klasifikasi Aluminium Paduan

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. 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. 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. Paduan Al - Mn (seri 3000)

   Jenis paduan ini merupakan jenis yang tidak dapat diperlaku – panaskan sehingga penaikan 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 kekuatannya jenis paduan ini lebih unggul dari pada jenis Al – murni.

4. Paduan 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 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 Al - Mg - Si (seri 6000)

   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 Al - Zn (seri 7000)

   Paduan ini termasuk jenis yang dapat diperlaku – panaskan. Biasanya ke dalam paduan pokok Al-Zn ditambhakan Mg, Cu, dan Cr. Kekuatan tarik yang dapat dicapai oleh paduan ini sangat baik, sehingga paduan ini dinamakan juga ultra duralumin. Berlawanan dengan kekuatan tariknya, sifat mampu-las dan daya tahannya terhadap korosi kurang menguntungkan. Pada saat 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. (Wiryosumarto, 2008 : 114)

4.2.3 Paduan Aluminium *A6061*

Aluminium *A6061* atau disebut Aluminium – Magnesium - Silicon merupakan paduan aluminium yang dapat diperlakupanaskan dan memiliki sifat mampu potong, mampu bentuk yang baik pada temperatur kamar, mampu bentuk yang baik pada proses ekstruksi, dan daya tahan terhadap korosi yang sangat baik. Dalam aplikasinya aluminium *A6061* banyak digunakan untuk bahan *kelling* dan komponen kendaraan seperti pada mobil. (Surdia, 1999 : 140)

Tabel 2.3 Komposisi Kimia Aluminium *A6061*

Paduan	Al (%)	Mg (%)	Si (%)	Fe (%)	Mn (%)	Zn (%)	Cu (%)	Cr (%)	Ti (%)	Unsur Lain (%)
6061	95,8 - 98,6	0,80 - 1,20	0,40 - 0,80	*Max* 0,70	*Max* 0,15	*Max* 0,25	0,15 - 0,40	0,04 - 0,35	*Max* 0,15	*Max* 0,150

Sumber : *ASM Aero Space Metal Inc.*

Tabel 2.4 Sifat – Sifat Aluminium *A6061*

Sifat	Nilai
Massa Jenis	2,70 g/cm^3
Titik Lebur / Cair	650 ^{0}C
Ekspansi Termal	23,4 x 10^{-6} / K
Modulus Elastisitas	70 Gpa
Konduktivitas Termal	166 W/m.K
Ketahanan Listrik	0,04 x 106 Ω.m
Kekuatan Tarik	310 MPa

Sumber : *Aalco* (2007)

Tabel 2.5 Sifat Mekanik Aluminium *A6061*

Paduan	Keadaan	Kekuatan Tarik (kgf/mm^2)	Kekuatan Elastis (kgf/mm^2)	Regangan (%)	Kekuatan Geser (kgf/mm^2)	Kekerasan *Brinell*	Batas Luluh (kgf/mm^2)
6061	0	12,6	5,6	30,0	8,4	30,0	6,3
	T4	24,3	14,8	28,0	16,9	65,0	9,5
	T6	31,6	28,0	15,0	21,0	95,0	9,5

Sumber : Surdia, 1999 : 140

4.2.4 Kekuatan Mekanik Aluminium

Aluminium memiliki beberapa kekuatan mekanik 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 alluminium 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. Dengan kata lain kemampuan suatu material untuk menahan tegangan tarik maksimum sebelum

mengalami patah/*fracture*. 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 beban kejut yang dapat menyebabkan benda mengalami rusak atau patah.

4.2.5 Sifat Mampu Las Aluminium

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

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

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

1. Retak las, merupakan retak panas yang terjadi pada proses pembekuan dan pencairan. Retak pada proses pembekuan disebabkan karena adanya penyusutan butir logam yang membeku dan dapat menimbulkan retak manik membujur, retak

manik melintang, dan retak kawah. Retak pada proses pencairan disebebkan karena danya pengendapan dari unsur bertitik cair rendah seperti Mg, Si, Cu, dan Zn.

2. Lubang – lubang halus, hal ini disebabkan oleh gas – gas hidrogen yang larut dan terjebak di dalam aluminium pada saat cair. Karena batas kelarutan turun pada saat pendinginan maka proses pembekuan yang cepat menyebabkan gas tersebut terperangkap dan membentuk gelembung halus.
3. Pengaruh panas pengelasan, hal ini dapat menyebabkan terjadinya pencairan sebagian, rekristalisasi butir, pelarutan padat, dan pengendapan. Perubahan struktur butir tersebut biasanya mengakibatkan manurunnya kekuatan mekanik dan ketahanan korosi pada aluminium, dapat juga menjadikan daerah pengelasan menjadi bersifat getas. (Wiryosumarto, 2008 : 115 & 116)

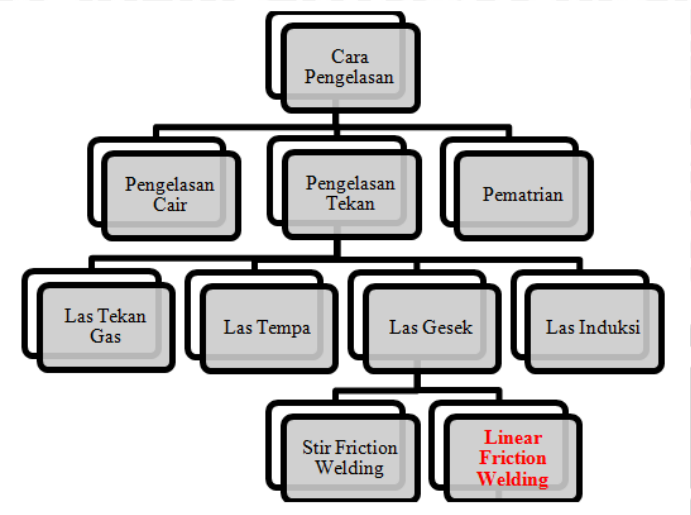
2.3 Pengelasan

Pengelasan merupakan salah satu cara untuk menyambungan dua logam. Menurut definisi dari *Deutche Industrie Normen* (DIN) las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dari definisi tersbut dapat disimpulkan bahwa dalam pengelasan dibutuhkan energi panas untuk melumerkan atau mencairkan bagian logam yang akan dilakukan pengelasan, (Wiryosumarto, 2008 : 1). Berdasarkan cara kerjanya, pengelasan dapat dibagi dalam tiga klasifikasi, yaitu :

1. Pengelasan cair adalah cara pengelasan dimana pada bagian sambungan dipanaskan hingga mencair dengan menggunakan sumber panas dari busur listrik atau semburan api gas yang terbakar, contohnya : Las busur, las gas, las listrik terak, las listrik gas, las termit, las sinar elektron, dan las busur plasma.
2. Pengelasan tekan adalah cara pengelasan dimana pada bagian yang akan disambung dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menyatu, contohnya : Las tekan gas, las tempa, las gesek, dan las induksi.
3. Pematrian adalah metode pengelasan dengan cara megikat dan menyatukan bagian yang akan disambung dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah, contohnya : pembrasingan dan penyolderan.

(Wiryosumarto, 2008 : 7)

Berdasarkan cara pengelasannya klasifikasi pengelasan dapat dijelaskan pada gambar 2.2 berikut.



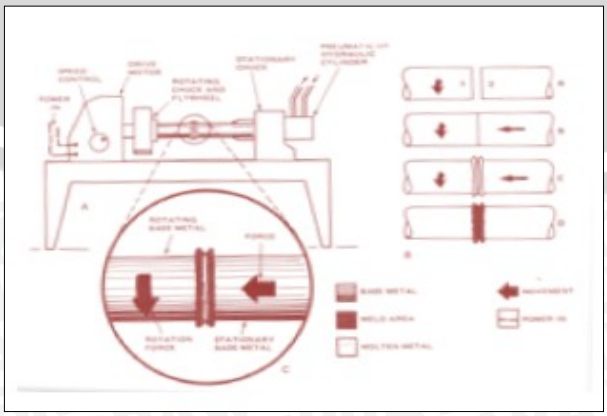
Gambar 2.2 Klasifikasi Cara Pengelasan
Sumber : Wiryosumarto, 2008 : 8

2.4 Pengelasan Gesek (*Friction Welding*)

Friction welding adalah salah satu metode dalam klasifikasi pengelasan tekan. 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 :

1. *Linear Friction Welding*

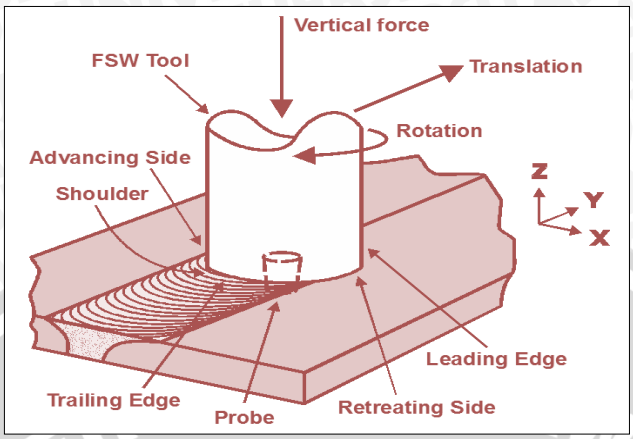
   Las gesek dengan sumber panas berasal dari gesekan kedua permukaan benda kerja itu sendiri.



Gambar 2.3 Mekanisme *Linear Friction Welding*
Sumber : *Modern Welding*, 1980 : 37

2. *Friction Stir Welding*

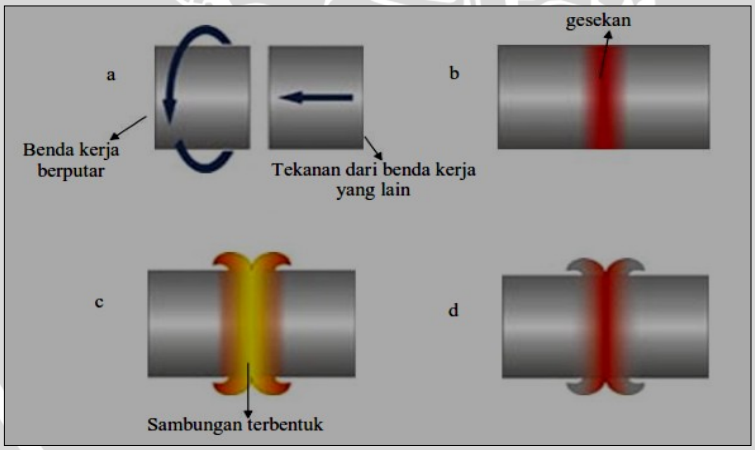
Las gesek dengan sumber panas berasal dari gesekan antara benda kerja dan pahat (*tools*).



Gambar 2.4 Mekanisme *Friction Stir Welding*
Sumber : *Modern Welding*, 1980 : 37

2.4.1 *Linear Friction Welding*

Linear friction welding merupakan metode pengelasan gesek yang memanfaatkan sumber panas/kalor berasal dari hasil gesekan kedua permukaan benda kerja itu sendiri, dimana salah satu benda kerja berputar dan satu benda lainnya tidak berputar namun menekan.



Gambar 2.5 Simulasi *Linier Friction Welding*
Sumber : *Swanson Industries* Inc. 2006

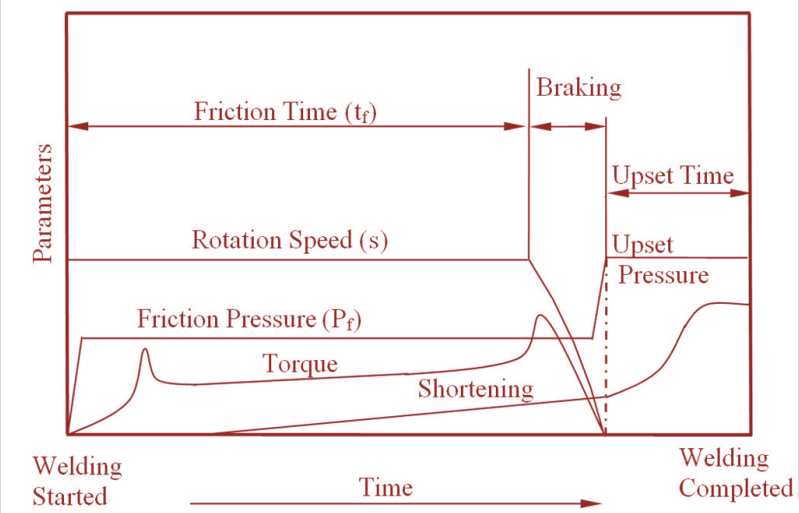
Mekanisme pengelasan ini menggunakan dua buah benda kerja (logam), dimana salah satu benda kerja berputar dengan kecepatan tertentu dan relatif tinggi dan salah satu benda kerja yang lain tidak ikut berputar tetapi memberikan tekanan terhadap benda kerja yang berputar. Adanya gesekan pada ujung kedua benda kerja tersebut maka timbul panas/kalor sehingga melelehkan kedua permukaan yang bersentuhan

tersebut dimana partikel dari kedua logam dapat saling berikatan. Dengan berputarnya salah satu benda kerja akan mengakibatkan partikel dari kedua logam tersebut tercampur aduk, sedangkan penekanan yang diberikan akan menyebabkan partikel terdorong dan saling mengisi celah-celah kosong yang sekaligus dapat mengeluarkan udara yang terjebak. Dari proses ini akan menghasilkan penyambungan kedua benda kerja (logam) tanpa proses pencairan atau yang disebut dengan *solid state process*.

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

- *Rotation speed* (kecepatan putaran)
- *Friction pressure* (tekanan penggesekan)
- *Friction time* (waktu penggesekan)
- *Upset pressure* (tekanan akhir/tekanan tempa)
- *Upset time* (waktu penekanan tempa)

Parameter – parameter tersebut lebih jelasnya akan ditampilkan pada gambar grafik 2.6 di bawah ini.



Gambar 2.6 Parameter *Friction Welding*
Sumber : Sahin, 2006 : 136

2.4.2 Kelebihan Las Gesek

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

1. Biaya yang murah dalam pelaksanaannya.
2. Waktu yang digunakan relatif cepat.
3. Hasil pegelasan presisi.
4. Prosesnya meminimalisasi energi yang dibutuhkan.
5. Tidak menghasilkan asap, gas, dan berkas sampah.
6. Dapat dilakukan untuk logam yang berbeda jenis.
7. Kekuatan yang dihasilkan pada sambungan *friction welding* hampir sama dengan kekuatan logam induk.
8. Pengelasan pada temperatur yang rendah dapat mempertahankan mikrostruktur dan sifat material.

2.4.3 Aplikasi Las Gesek

Penyambungan dengan menggunakan metode *friction welding* ini telah banyak digunakan dalam industri otomotif dan industri perkapalan. Contoh aplikasi penyambungan dengan mengggunakan metode *liniear friction welding* ini ditunjukkan pada gambar 2.7 berikut ini.

Gambar 2.7 Aplikasi Las Gesek
Sumber : *Manufacturing Tecnology INC*

2.5 Daerah Hasil Pengelasan Gesek dan *HAZ*

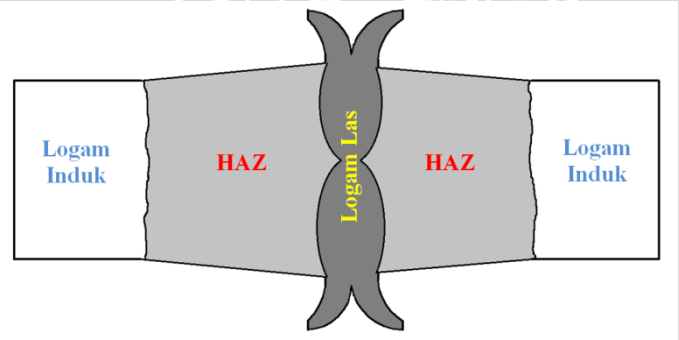
Panas yang dihasilkan oleh proses pengelasan pada aluminium akan menyebabkan terjadinya pencairan sebagian benda kerja dan pelarutan padat atau pengendapan, tergantung pada tingginya suhu yang ada pada daerah las tersebut. Ketika pengelasan berlangsung logam induk di sekitar logam las mengalami siklus *thermal*

berupa pemanasan sampai mendekati titik leleh kemudian seiring waktu diikuti dengan pendinginan. Dalam hal ini tingginya suhu tersebut akan mengakibatkan struktur mikro dan sifat-sifat mekanisnya tidak sama dengan logam induk. Dan daerah atau zona ini dinamakan *Heat Affected Zone (HAZ)*.

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

Pada pengelasan gesek terdapat dareah/bagian yang dipengaruhi oleh pengelasan tersebut, dimana daerah/bagian tersebut dibagi menjadi tiga yaitu, *fully plasticized region (zpl)* atau Logam Las yaitu daerah sambungan hasil pengelasan yang menyatu dengan sempurna ; *partly deformed region (zpd)* ini merupakan daerah *heat affected zone (HAZ)* karena pada daerah ini mengalami panas sebagian yang diakibatkan oleh efek panas dari hasil proses pengelasan ; *undeformed region (zud)* atau Logam Induk, yaitu daerah yang tidak terpengaruh panas sama sekali ketika proses pengelasan.

Untuk mengetahui daerah-daerah tersebut maka dapat dilihat dari foto makrostruktur atau ditampilkan seperti skema pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.8 Zona Hasil Pengelasan Gesek
Sumber : Dokumen Peneliti, Referensi : Lin et al (1999)

2.6 Cacat Pengelasan

Cacat pengelasan adalah suatu keadaan dimana terjadi terjadi penurunan kualitas hasil dari pengelasan. Kualitas tersebut yakni penurunan kekuatan dibandingkan dengan kekuatan bahan dasar, dan juga tidak baiknya performa/tampilan dari suatu hasil pengelasan. Cacat las akan mengakibatkan banyak hal yang tidak diinginkan dan pada bidang konstruksi hal ini mengarah pada turunnya tingkat

keselamatan kerja. Macam-macam cacat pengelasan pada umumnya yang dapat terjadi antara lain sebagai berikut :

1. Porositas

   Merupakan cacat las yang diakibatkan karena terjebaknya gas *hydrogen* dan udara dalam logam las. *Hydrogen* dan udara akan mudah menyusup saat logam dalam fase cair. Pada saat logam mulai membeku dalam waktu yang relatif cepat, maka gas tersebut akan terjebak dan membentuk lubang-lubang kecil seperti pori.

2. *Lock of Fusion*

   Merupakan cacat las yang disebabkan akibat panas yang masuk ke dalam spesimen tidak terdistribusi sempurna yang akan menyebabkan sebagian logam tidak melebur dan berakibat pada adanya luasan permukaan yang tidak tersambung.

3. Inklusi

   Merupakan cacat pengelasan yang terjadi akibat adanya *slug* yang terjebak dalam hasil lasan. Cacat ini biasa terjadi pada pengelasan *TIG (tungsten inert gas)*.

4. Retak/*Cracking*

   Merupakan cacat pengelasan akibat kecepatan pendinginan dan jenis logam yang disambungkan yang dapat mengakibatkan putusnya sambungan las. Retakan dibagi menjadi 3 jenis yaitu retakan panas, retakan dingin, dan *macrofissure*.

5. *Undercut*

   Yakni cacat las yang disebabkan karena pemakanan salah satu dari kedua sisi lasan. Cacat ini dapat disebabkan karena kurangnya peleburan pada bagian sisi las.

2.7 Hubungan Antara Gaya Gesek dengan Energi Panas

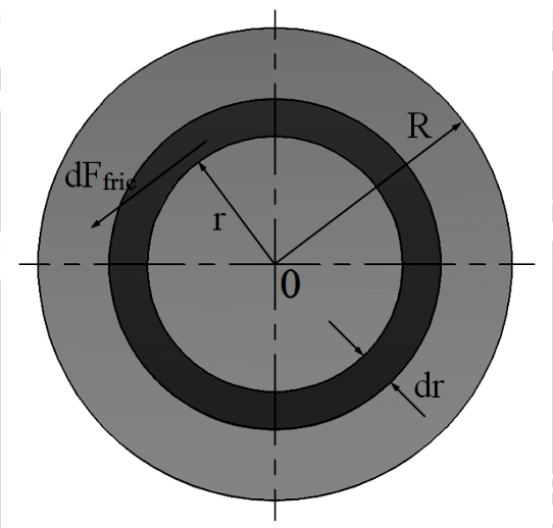
Pada proses *friction welding* terdapat energi panas yang dihasilkan akibat proses gesekan antara dua permukaan logam aluminium. Hal tersebut dapat diasumsikan bahwa tekanan gesek yang homogen akan menyebar pada benda kerja yang berputar. Energi panas yang dihasilkan oleh gesekan tersebut dapat dinyatakan dengan persamaan-persamaan rumus berikut ini.

$$d\dot{Q} = \omega . dM_t \quad ; \ (Watt) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2 - 1)$$

dimana ω adalah kecepatan sudut dan dM_t adalah nilai momen torsi pada tebal lingkaran (dr). Maka, nilai torsi dapat dihitung dengan rumus :

$$dM_t = r . dF_{friction} \quad ; \ (Nm) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2 - 2)$$

Dimana nilai $dF_{friction}$ adalah gaya gesek pada ketebalan lingkaran (dr) dan, (r) adalah jari-jari lingkaran. Kemudian, hal tersebut dapat dikatakan bahwa gaya gesek ($dF_{friction}$) setara dengan koefisien gesek dikalikan dengan gaya tekan aksial (p), hal ini karena gesekan ditimbulkan akibat adanya putaran dan gaya penekanan pada permukaan benda. Karena gesekan terjadi pada pipa dengan tebal lingkaran (dr), maka gaya gesek dikalikan dengan luas ketebalan pipa.



Gambar 2.9 *Friction Surface*
Sumber: Mumin Sahin, (2010)

$$dF_{friction} = \mu \,.\, p \,.\, 2\pi r \,.\, dr \quad \text{.....} \quad (2 - 3)$$

Substitusikan persamaan (2 - 3) ke dalam persamaan (2 – 2), maka :

$$dM_t = r \,.\, (\mu \,.\, p \,.\, 2\pi r \,.\, dr) \quad \text{.....} \quad (2 - 4)$$

substitusikan persamaan (2 – 4) ke dalam persamaan (2 – 1), maka didapatkan :

$$d\dot{Q} = \omega \,.\, (\mu \,.\, p \,.\, 2\pi r^2 \,.\, dr)$$

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

Untuk mencari nilai kalor yang dihasilkan oleh gaya gesekan pada silinder pejal, maka rumus untuk mencari nilai kalor silinder pipa pada persamaan (2 – 5) diintegralkan dengan menggunakan nilai jari-jari (R), sebagai berikut :

$$\int_0^R d\dot{Q} = \int_0^R (2\pi \,.\, r^2 \,.\, \omega \,.\, p \,.\, dr)$$

$$= \omega \,.\, p \,.\, \int_0^R (2\pi \,.\, r^2 \,.\, dr)$$

$$= \omega \,.\, p \left[\left(\frac{1}{3} \,.\, 2\pi \,.\, r^3 \right)_0^R \right] \quad \text{.....} \quad (2-6)$$

Dengan menjabarkan persamaan integral (2 – 6) di atas, maka didapatkan persamaan berikut :

$$\dot{Q} = \frac{2}{3} . \pi . \mu . P . \omega . R^3 \quad \text{.....} \quad (2-7)$$

Persamaan (2 – 7) di atas merupakan persamaan hubungan antara gaya gesekan dengan energi panas yang dihasilkan oleh gesekan yang terjadi pada permukaan benda silinder pejal (permukaan lingkaran penuh). Hubungan tersebut dapat dibuktikan dengan penjabaran besaran satuan dari setiap variabel rumus persamaan di atas, sebagai berikut :

$$\dot{Q} = \frac{2}{3} . \pi . \mu . P . \omega . R^3$$

dengan :

$\dot{Q}$: **(*Watt*),** yakni jumlah energi mekanik per satuan waktu yang terjadi pada permukaan las gesek

p : **(N/m^2)**, yakni tekanan gesek

ω : **(rad/s)**, yakni kecepatan sudut

R : **(m)**, yakni jari-jari benda kerja/permukaan yang bergesekan

μ : Koefisien gesek

Substitusikan setiap variabel satuan di atas ke dalam masing-masing variabel pada persamaan rumus (2 – 7), sebagai berikut :

$$\dot{Q} = \frac{N}{\cancel{m^2}} \,.\, \frac{rad}{s} \,.\, \cancel{m^3}^{\,1}$$

$$\dot{Q} = \cancel{rad} \,.\, \frac{Nm}{s}$$

$$\dot{Q} = \frac{Nm}{s}$$

Dengan :

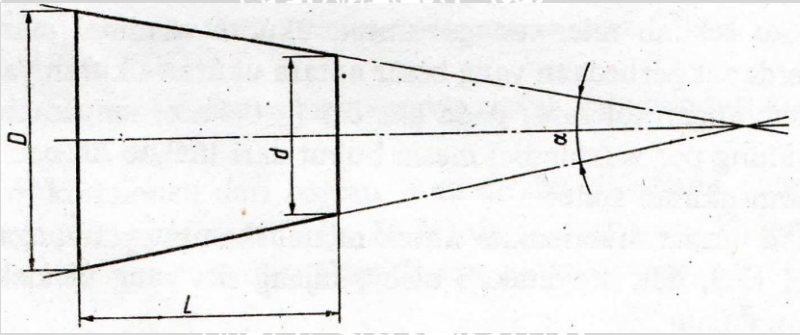
$$1\frac{\text{Nm}}{\text{s}} = 1\frac{\text{Joule}}{\text{s}}$$

$$1\frac{\text{Joule}}{\text{s}} = 1\ \text{Watt}$$

Maka energi panas yang dihasilkan dari gaya gesekan permukaan benda pada pengelasan gesek dapat ditentukan dengan rumus persamaan (2–7) dengan hasil besaran satuan " Joule/s" atau "watt", dimana besaran satuan tersebut merupakan salah satu besaran energi panas.

2.8 *Chamfer*

Chamfer adalah suatu bentuk geometri benda kerja yang dibuat dengan memotong tepi benda kerja secara simetris dengan sudut tertentu sampai dengan 90^0. Geometri sudut *chamfer* ditunjukkan pada gambar berikut.

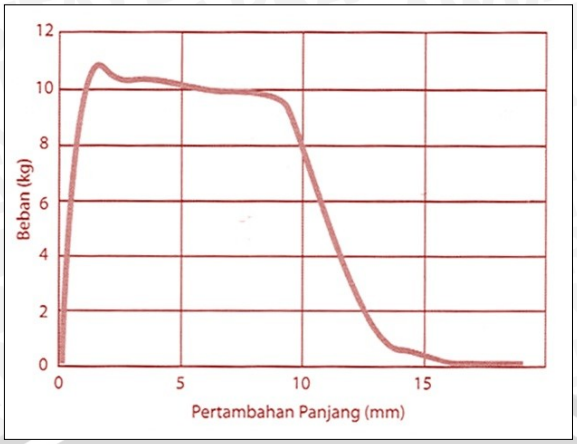


Gambar 2.10 Geometri *Chamfer*
Sumber : Sato, G (2008 : 140)

2.9 Pengujian Tarik

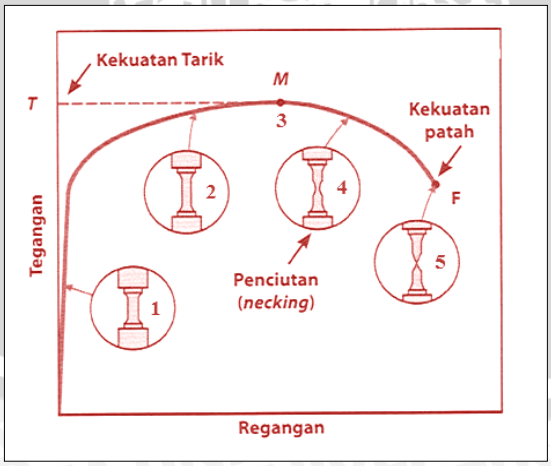
Kekuatan tarik merupakan kemampuan suatu bahan untuk menerima beban tarik tanpa mengalami kerusakan dan dapat dinyatakan sebagai tegangan tarik maksimum yang dapat dicapai oleh suatu benda sebelum patah. Pengujian tarik merupakan cara umum untuk mengetahui sifat mekanik dari material pada saat mendapatkan tegangan tarik.

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 material induk/material itu sendiri. Pembebanan tarik adalah pembebanan yang diberikan kepada benda uji dengan memberikan gaya tarik berlawanan arah pada salah satu ujung benda uji tersebut.



Gambar 2.11 Grafik Pembebanan dan Pertambahan Panjang
Sumber : Sofyan, 2010 : 29

Pada pengujian tarik diberikan beban statik yang meningkat secara perlahan sampai spesimen mengalami patah. Selama pembebanan dilakukan alat perekam pertambahan beban dan perpanjangan yang terjadi pada spesimen ditampilkan dalam bentuk grafik seperti dicontohkan pada gambar 2.11. Grafik tersebut kemudian dikonversi ke dalam garfik tegangan dan regangan dengan menggunakan persamaan (2-8) untuk mencari nilai tegangan dan untuk mencari nilai regangan menggunakan rumus persamaan (2-9). Dari grafik tegangan-regangan pada gambar 2.12 kita dapat menganalisis sifat mekanik (tarik) material, yang dapat dibagi dalam (1) daerah deformasi elastis, (2) deformasi plastis, (3) tegangan tarik maksimum, (4) daerah *necking*, dan (5) tengangan patah. (Sofyan, 2010 : 28)



Gambar 2.12 Grafik Hubungan Tegangan – Regangan dan Fenomena Benda Kerja
Sumber : Sofyan, 2010 : 33

Tegangan tarik yang diterima benda uji tarik dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{F}{Ao} \; ; \; (N/mm^2) \quad \text{.....} \quad (2-8)$$

dengan :

σ = Tegangan tarik (N/mm^2)

F = Beban tarik (N)

Ao = Luas penampang awal spesimen (mm^2)

Sedangkan regangan (persentase pertambahan panjang) dapat dirumuskan sebagai berikut :

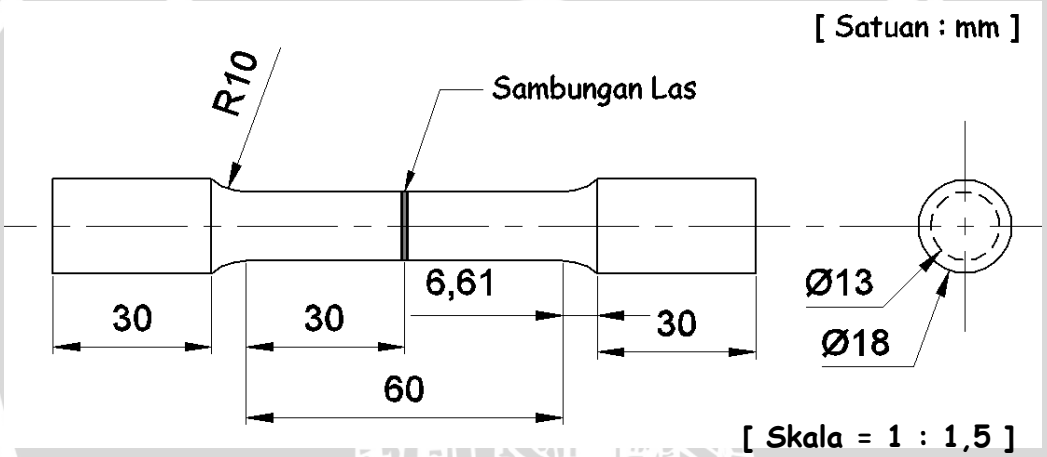
$$\varepsilon = \frac{(L - Lo)}{Lo} \times 100\ \% \quad \text{.....} \quad (2-9)$$

dengan :

ε = Regangan (%)

Lo = Panjang awal lengan uji / ukur (mm)

L = Panjang akhir lengan uji / ukur (mm)



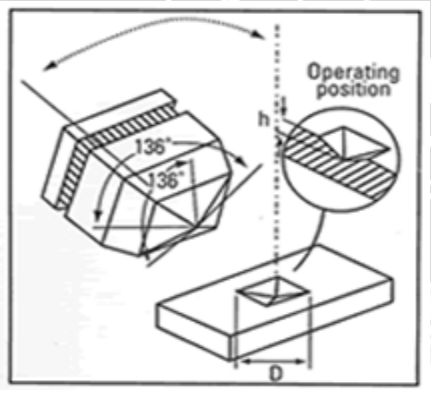
Gambar 2.13 Spesimen Uji Tarik Standard *ASTM E-8*
Sumber : *ASTM E-8* : 2004 : 6

Gambar 2.14 Mesin Uji Tarik
Sumber : Laboratorium Struktur Teknik Sipil Universitas Negeri Malang

2.10 Pengujian Kekerasan

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

Pada penelitian ini, pengujian kekerasan yang digunakan adalah pengujian kekerasan *vickers* dengan alasan karena besaran penamang (permukaan kontak indentor) atau daerah yang akan diambil titik sampel uji tidak memiliki luasan yang luas, beban penekanannya juga relatif ringan. Pengujian kekerasan digunakan sebagai data pendukung untuk menganalisa nilai kekuatan tarik.



Gambar 2.15 Indentor Piramid Intan Pada Metode *Microvickers*
Sumber : Sofyan, 2010 : 21

Pengujian kekerasan *vickers* menggunakan penumbuk piramida intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besarnya sudut antara permukaan – permukaan piramid yang saling berhadapan adalah 136^0. Beban yang biasanya digunakan pada uji *vickers* berkisar antara 1 – 10 *Newton*. Kelebihan uji kekerasan *vickers* ini banyak dilakukan pada penelitian karena metode tersebut memberikan hasil berupa skala kekerasan yang kontinu untuk suatu beban tertentu.

Kekurangan menggunakan uji *vickers* ini yaitu tidak dapat digunakan untuk pengujian rutin karena pengujian tersebut lamban, memerlukan persiapan benda uji yang hati-hati, dan terdapat pengaruh kesalahan manusia yang besar pada penentuan panjang diagonal. Nilai kekerasan metode *vickers* dapat dihitung dengan rumus persamaan (2-10) berikut ini :

$$VHN = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{L^2} = \frac{1.854\,P}{L^2} \quad \text{.....} \quad (2-10)$$

dengan :

P = Beban (Kg)

L = Panjang diagonal indentasi rata - rata (mm)

θ = Sudut antara permukaan intan yang berlawanan (136^0)

2.11 Hipotesis

Didasari oleh teori dan mengacu pada beberapa penelitian yang sudah dilakukan, maka dapat ditarik hipotesa bahwa penggunaan variasi *friction time* pada pengelasan gesek aluminium *A6061* dengan tinngi *chamfer* 1 mm pada salah satu sisi bidang kontak las akan mempengaruhi besar masukan panas (*heat input*) yang juga akan mempengaruhi lebar daerah *HAZ (Heat Affected Zone)*. Semakin lama *friction time* yang digunakan pada pengelasan gesek, maka heat inputnya akan semakin besar sehingga daerah *HAZ* yang terbentuk semakin luas, sehingga mempengaruhi sifat mekaniknya yakni kekuatan tarik dari sambungan las tersebut. Dengan menggunakan variasi *friction time* diharapkan dapat menghasilkan nilai kekuatan tarik yang tinggi.

BAB III
METODE PENELITIAN

Metode Penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah metode penelitian nyata (*True Experimental Research*) dan langsung pada objek yang akan diteliti. Metode ini dipakai supaya dapat mengetahui secara langsung pengaruh tinggi *chamfer* 1 mm pada satu sisi/spesimen pengelasan gesek terhadap kekuatan tarik dari material aluminium *A6061*. Disamping itu juga dilakukan pengkajian terhadap dasar teori yang ada dari sumber literatur beberapa buku dan jurnal.

3.1 Variabel Penelitian

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

3.1.1 Variabel Bebas

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

- *Friction time*/waktu gesek : 40 detik, 45 detik, 50 detik, 55 detik, dan 60 detik.

3.1.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besar nilainya dihasilkan karena terpengaruh oleh nilai variabel bebas. Variabel terikat pada penelitian ini yakni nilai kekuatan tarik pada sambungan las yang dihasilkan dari pengujian tarik.

- Nilai kekuatan tarik (N/mm^2).

3.1.3 Variabel Kontrol

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

1. Kecepatan putaran *spindle* 1600 rpm.
2. Gaya tekan gesek/pengelasan 150 *Kgf*.
3. Gaya tekan akhir/tempa 200 *Kgf*.
4. Waktu *uppset*/tempa 2 menit.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

5. Tinggi *chamfer* 1 mm.
6. D_1 = 2 mm dan D_2 = 20 mm. (keterangan ada pada gambar 3.1)
7. Kekasaran permukaan kontak las ± 0,64 µm.

3.2 Waktu Dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan November 2014 – Juli 2015. Tempat yang digunakan pada penelitian ini adalah :

1. Laboratorium Proses Produksi 1
   (Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya Malang).
2. Laboratorium Pengujian Bahan
   (Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya Malang).
3. Laboratorium Metrologi Industri
   (Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya Malang).
4. Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi
   (Jurusan Teknik Sipil, Universitas Brawijaya Malang).
5. Laboratorium Struktur
   (Jurusan Teknik Sipil, Universitas Negeri Malang).

3.3 Alat Dan Bahan Yang Digunakan

3.3.1 Alat Yang Digunakan

Pada penelitian ini alat yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Mesin *Power Hacksaw*
- Mesin Bubut (Pembuatan Spesimen)
- Mesin Bubut (Pengelasan)
- Mesin *Milling*
- Mesin Uji Tarik/*Universal Testing Machine*
- *Microvickers Hardness Testing Machine*
- *Vernier Caliper*
- *Stopwatch*
- Penggaris
- Spidol
- Kamera Digital
- *Thermo Gun*

3.3.2 Bahan Yang Digunakan

Sesuai dengan judul penelitian ini, maka bahan yang akan digunakan adalah paduan aluminium seri *A6061* dengan komposisi unsur paduan sebagai berikut :

Tabel 3.1 Komposisi Kimia Paduan aluminium *A6061*

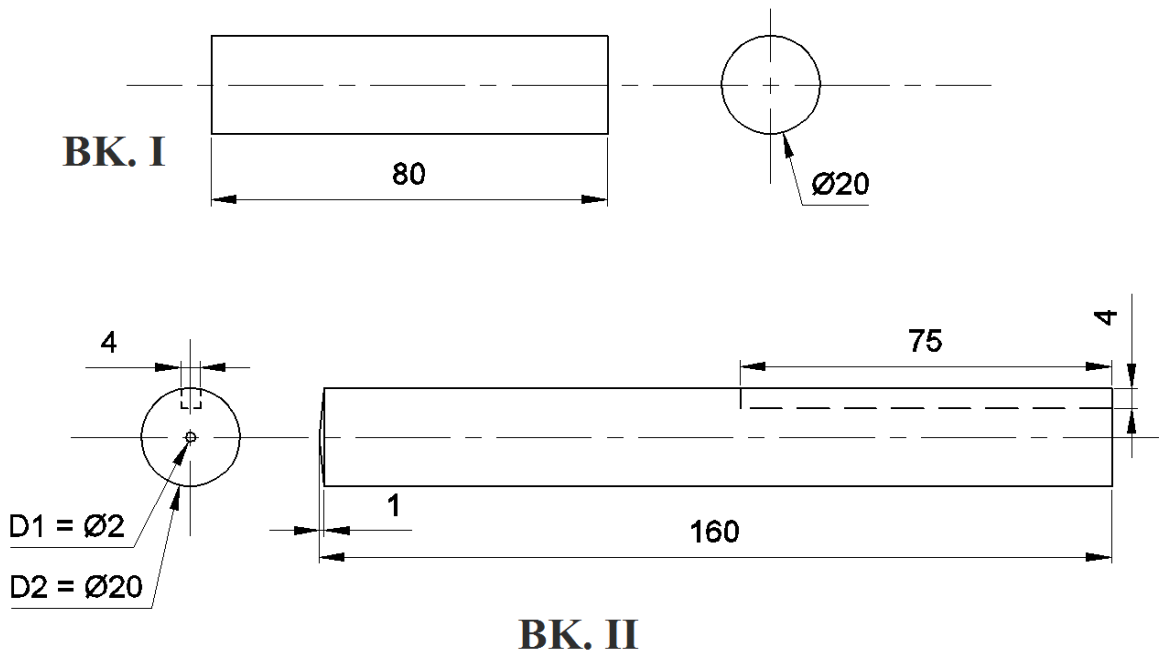
Paduan	Al (%)	Mg (%)	Si (%)	Fe (%)	Mn (%)	Zn (%)	Cu (%)	Cr (%)	Ti (%)	Unsur Lain (%)
6061	95,8 - 98,6	0,80 - 1,2	0,40 - 0,80	*Max* 0,70	*Max* 0,15	*Max* 0,25	0,15 - 0,40	0,04 - 0,35	*Max* 0,15	*Max* 0,15

Sumber : Sumber : ASM Aero Space Metal Inc.

Tabel 3.2 Komposisi Kimia Paduan aluminium *A6061* Hasil Pengujian Komposisi

Paduan	Al (%)	Mg (%)	Si (%)	Fe (%)	Mn (%)	Zn (%)	Cu (%)	Cr (%)	Ti (%)	Unsur Lain (%)
6061	97,90	0,82	0,57	0,31	0,022	0,042	0,25	0,083	0,013	*Max* 0,0085

3.4 Dimensi Benda Kerja

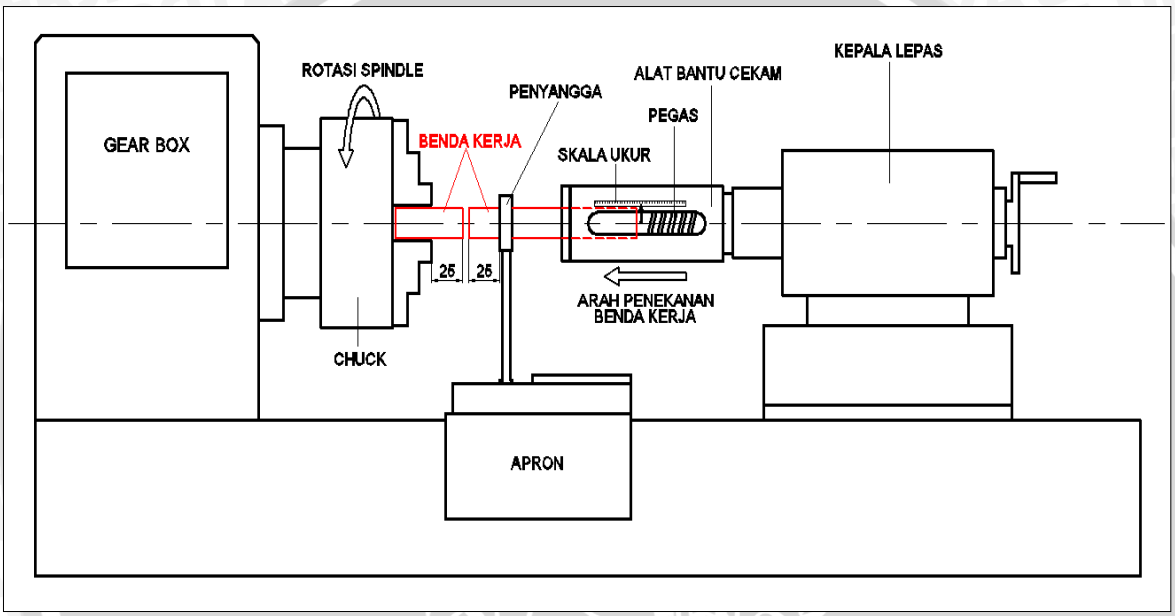


Skala : 1 : 1,5
Satuan : Milimeter (mm)
Keterangan : BK.I (benda kerja berputar)
BK.II (benda kerja menekan)

Gambar 3.1 Dimensi Benda Kerja

3.5 Instalasi Alat Pengelasan Gesek

Proses pengelasan gesek dilakukan menggunakan mesin bubut dengan sedikit modifikasi pada bagian *tail stock* yang difungsikan selain sebagai alat bantu cekam dengan menggunakan pasak, juga sebagai alat penekanan benda kerja II (BK.II). Cara kerja alat bantu ini juga dibantu menggunakan pegas sebagai media untuk mengetahui dan menentukan besar gaya tekan yang akan digunakan. Sedangkan benda kerja I (BK.I) dijepit pada *chuck* untuk diputar dengan kecepatan 1600 *rpm*. Skema alat pengelasan gesek tersebut ditunjukan pada gambar berikut ini.



Gambar 3.2 Skema Alat Pengelasan Gesek yang Digunakan

3.6 Prosedur Penelitian

3.6.1 Proses Persiapan Benda Kerja

Proses sebelum melaksanakan proses pengelasan gesek yaitu :

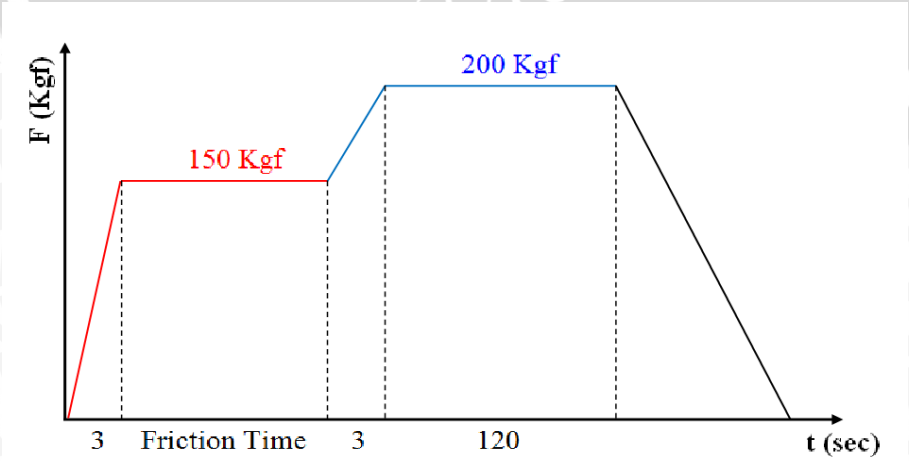
1. Mempersiapkan benda kerja (silinder pejal) dalam kondisi lonjor dengan panjang 3 meter dan diameter 22,22 mm.
2. Memotong benda kerja sesuai dengan dimensi panjang yang dibutuhkan.
3. Memotong benda kerja menjadi dua bagian (benda kerja I & benda kerja II) sesuai dengan dimensi yang telah ditentukan.
4. Membuat diameter benda kerja menjadi 20 mm.
5. Membentuk tirus pada salah satu sisi ujung benda kerja II dengan tinggi tirus 1 mm dan D_1 (diameter kecil) sebesar 2 mm.

6. Membuat alur pasak pada benda kerja II dengan panjang 75 mm dan kedalaman 4 mm.
7. Proses pengamplasan pada permukaan kontak las dengan menggunakan parameter : kertas gosok no.600 ; putaran 750 *rpm* ; waktu 60 detik. (didapat kekasaran permukaan ± 0,64 μm).

3.6.2 Pengelasan Gesek

Proses pengelasan gesek dilakukan dengan menggunakan mesin bubut dengan langkah – langkah sebagai berikut :

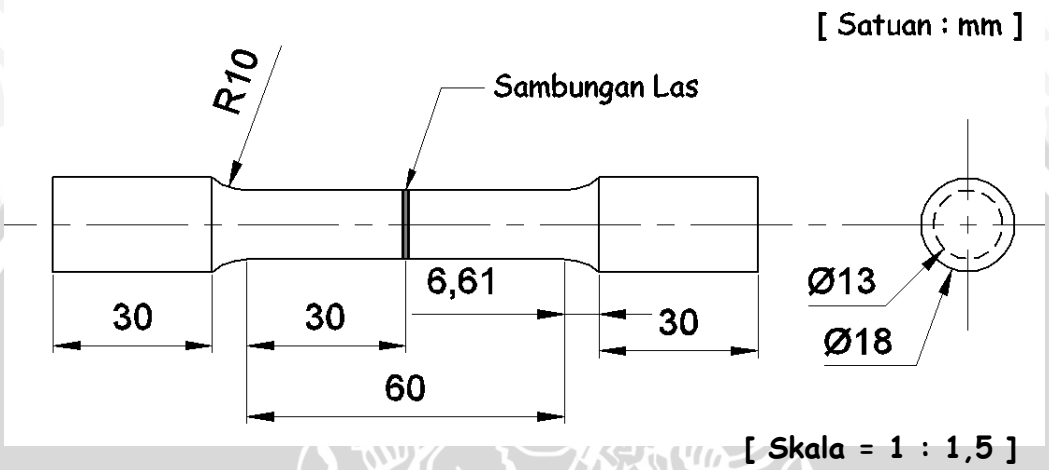
1. Pembersihan ujung kontak las spesimen yang akan dilas.
2. Pemasangan benda kerja I pada *chuck* dan benda kerja II pada alat bantu cekam/*tail stock*.
3. Pengaturan kecepatan putaran *spindle* yang digunakan sebesar 1600 *rpm*.
4. Mesin bubut dinyalakan.
5. Putaran *spindel* dinyalakan.
6. Pengaturan tekanan yang diberikan sebesar 150 *Kgf*.
7. Proses pengelasan dimulai dengan waktu sesuai variasi *friction time* yang ditentukan.
8. Putaran *spindel* dimatikan seiring dengan pemberian tekanan akhir sebesar 200 *Kgf* dilanjutkan *uppset* selama 2 menit.
9. Lepas penekanan akhir dari sebesar 200 *Kgf* sampai 0 *Kgf* (tidak ada gaya penekanan).
10. Pelepasan benda kerja pada alat bantu cekam dan *chuck*.
11. Pengecekan hasil pengelasan.



Gambar 3.3 Parameter Pengelasan Gesek yang Digunakan

3.6.3 Pengujian Kekuatan Tarik

Setelah proses pengelasan selesai, *flash* yang terbentuk pada spesimen dari hasil pengelasan dibersihkan atau dipotong lalu dibentuk menjadi spesimen uji tarik yang bentuk maupun dimensinya sesuai dengan standard yang dipakai oleh *AWS (Americam Welding Society),* standard tersebut mengacu pada *ASTM E-8/ASTM E-8M*. Proses permesinan menggunakan mesin bubut *CNC PU-2A* supaya hasil dimensi lebih presisi. Bentuk dan dimensi spesimen uji tarik akan ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 3.4 Spesimen Uji Tarik Standard *ASTM E-8*
Sumber : *ASTM E-8* : 2004 : 6

Proses pengujian tarik yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan spesimen yang akan diuji.
2. Pengukuran diameter pada bagian sambungan las, dengan ketelitian 0,01.
3. Pasang dan jepit spesimen pada kedua *chuck* mesin uji tarik, pastikan bahwa posisi sambungan las berada di tengah antara dua sisi *chuck*.
4. Menyalakan mesin dan spesimen uji mulai mendapatkan beban tarik, diawali dari 0 - sekian *Newton* hingga spesimen putus setelah melewati beban maksimum yang dapat ditahan.
5. Kecepatan penarikan spesimen rata-rata 0,01 mm/detik.
6. Mesin dimatikan seiring beban tarik dilepaskan.
7. Hasil pengujian tarik (beban maksimum (N), deformasi (mm), waktu (detik)) sudah otomatis terekam oleh komputer yang terhubung pada mesin uji.
8. Pengecekan patahan spesimen, patahan terdapat pada sambungan las atau logam induk.

3.6.4 Pengambilan Foto Makrostruktur

Dari hasil foto makrostruktur pada permukaan bagian dalam spesimen hasil pengelasan gesek dibelah melintang memotong diameter spesimen pada bagian tengah (sebidang dengan sumbu silinder spesimen), kemudian dihaluskan dan dibersihkan, diberikan cairan etsa pada permukaannya, lalu dapat dilihat batas-batas daerah pengelasan yaitu logam las, *HAZ*, porositas (*Zpr*), dan logam induk. Dengan adanya batas-batas tersebut dapat menganalisa luasan dari masing-masing daerah pengelasan dengan menggunakan *software autodesk inventor*. Dari data luasan tersebut digunkanan untuk memperkuat data hasil pengujian tarik.

3.6.5 Pengujian Kekerasan *Vickers*

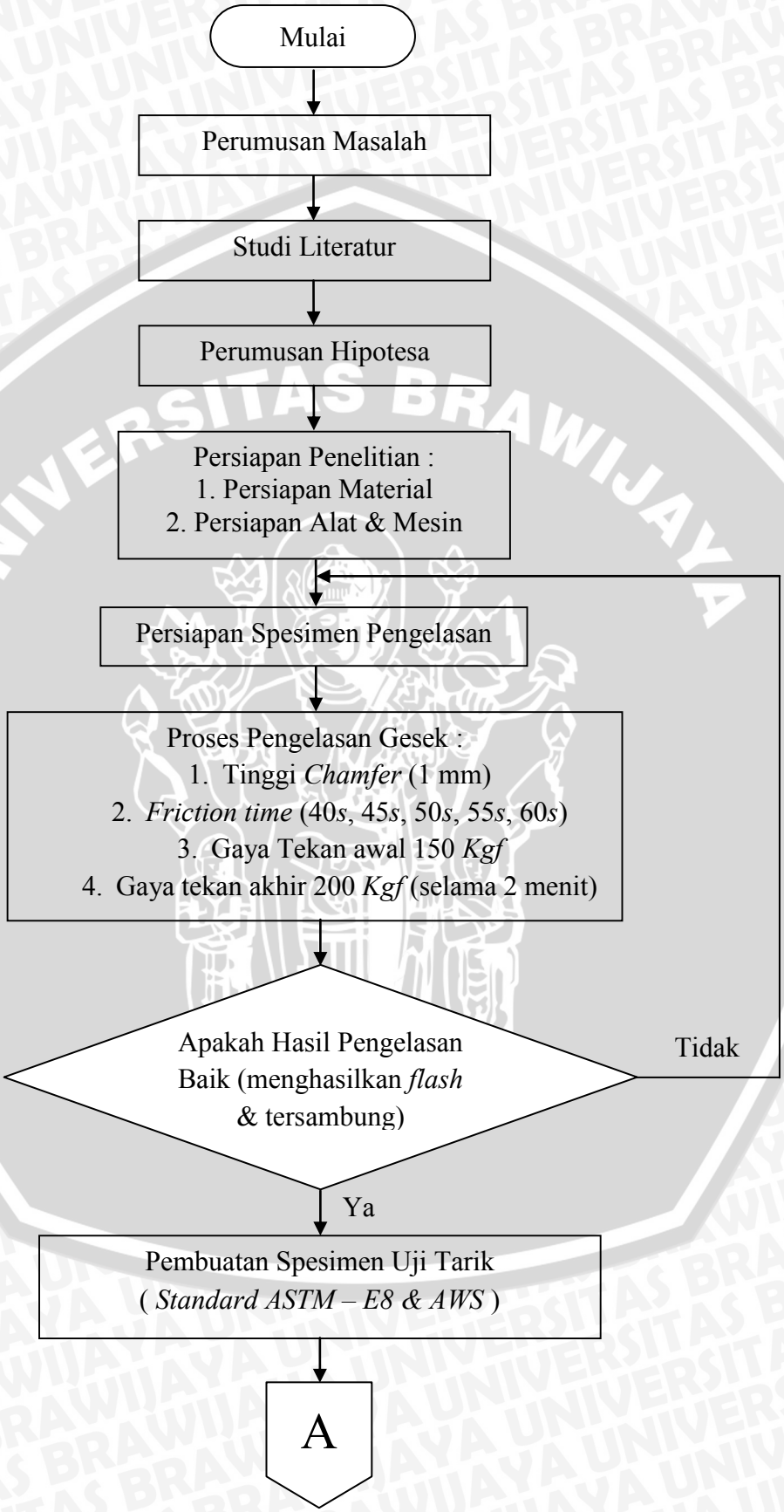
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai pada masing-masing daerah pegelasan yaitu logam las, *HAZ*, porositas (*Zpr*), dan logam induk. Data hasil pengujian kekerasan ini digunakan untuk memperkuat data hasil pengujian tarik. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan spesimen yang sama yang digunakan untuk pengambilan foto makrostruktur. Pengujian kekerasan ini menggunakan metode *vickers* yang menggunakan indentor kecil dengan gaya pembebanan yang kecil yakni 0,98 *Newton*. Hal tersebut bertujuan untuk menghindari efek deformasi yang luas akibat indentor pembebanan, dan pula dari setiap daerah pengelasan ada yang memiliki lebar daerah yang sangat kecil yakni hanya $\pm$4 mm.

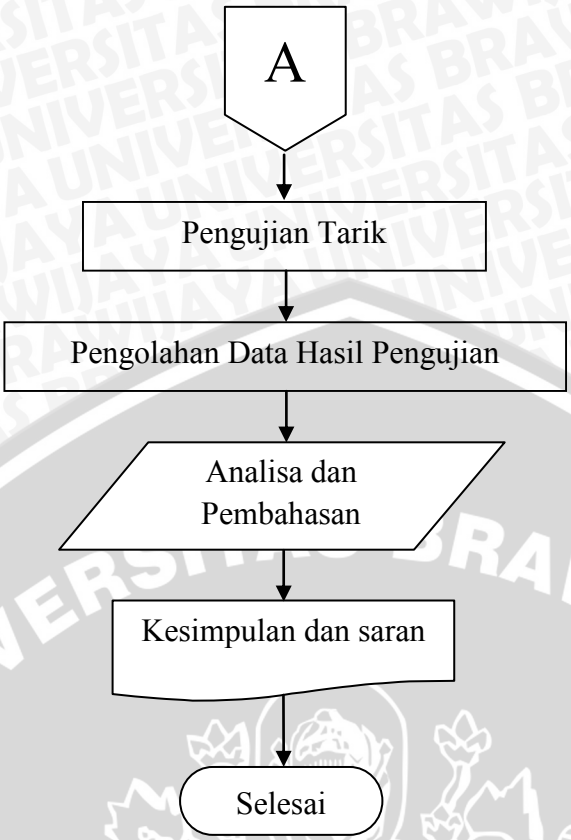
3.6.6 Analisa Hasil Pengujian

Dari hasil pengambilan foto makrostruktur dan dibantu dengan menggunakan *software autodesk inventor*, maka didapatkan hasil luasan pada setiap daerah pengelasan yaitu luasan logam las, luasan *HAZ*, dan luasan zona porositas (*Zpr*). Jika luasan logam las yang besar maka menunjukan nilai kekuatan tarik yang besar pula, namun luasan *HAZ* yang besar maka menunjukan nilai kekuatan tarik yang rendah, dan pula jika terdapat zona porositas yang memiliki luasan besar maka menunjukan nilai kekuatan tarik akan menurun. Dari ketiga hal tersebut saling berkaitan dan saling mempengaruhi nilai hasil pengujian tarik.

Dari hasil pengujian kekerasan pada masing-masing daerah pegelasan yaitu logam las, *HAZ*, dan logam induk, maka dapat memperkuat data hasil pengujian tarik. Jika nilai kekerasan pada logam las tinggi maka menunjukan nilai kekuatan tarik yang tinggi pula dan sebaliknya.

3.7 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.5 Diagram Alir Penelitian

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian Tarik

4.1.1 Hasil Pengujian Tarik Spesimen Tinggi *Chamfer* 1 mm

Data hasil pengujian tarik diambil setelah melakukan pengujian dengan menggunakan mesin uji tarik / *universal testing machine* pada spesimen hasil pengelasan gesek yang sudah dibentuk sesuai dengan spesimen standard uji tarik yang digunakan. Pada setiap variasi *friction time* dilakukan 6 kali pengelasan, dimana dilakukan pengujian tarik pada 5 spesimen dan 1 spesimen dipilih yang terbaik dari setiap masing-masing variasi untuk dilakukan pengambilan data foto makro, foto mikrostruktur dan pengujian kekerasan *microvickers*.

Dari hasil pengujian tarik sebanyak 5 kali pengulangan pada setiap variasi, diambil 3 data kekuatan tarik yang terbaik untuk setiap variasi *friction time,* sehingga diperoleh nilai rata-rata dari tiga kali pengulangan pengujian tersebut untuk setiap satu variasi. Nilai hasil pengujian tarik dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Tarik Spesimen *Chamfer* 1 mm

Friction Time (detik)	Pengulangan	Kekuatan Tarik (N/mm^2)	$\bar{X}$ Kekuatan Tarik (N/mm^2)	Standar Deviasi (δ)
40	1	164,416	163,324	1,054
	2	162,312		
	3	163,245		
45	1	177,245	175,120	2,000
	2	173,275		
	3	174,840		
50	1	164,955	167,287	2,191
	2	169,303		
	3	167,602		
55	1	161,830	157,831	4,702
	2	152,651		
	3	159,013		
60	1	134,229	126,184	7,327
	2	119,893		
	3	124,430		

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

4.1.2 Hasil Pengujian Tarik Spesimen Tanpa *Chamfer*

Dari hasil pengujian tarik sebanyak 4 kali pengulangan pada setiap variasi, diambil 3 data kekuatan tarik yang terbaik untuk setiap variasi *friction time,* sehingga diperoleh nilai rata-rata dari tiga kali pengulangan pengujian tersebut untuk setiap satu variasi. Nilai hasil pengujian tarik dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

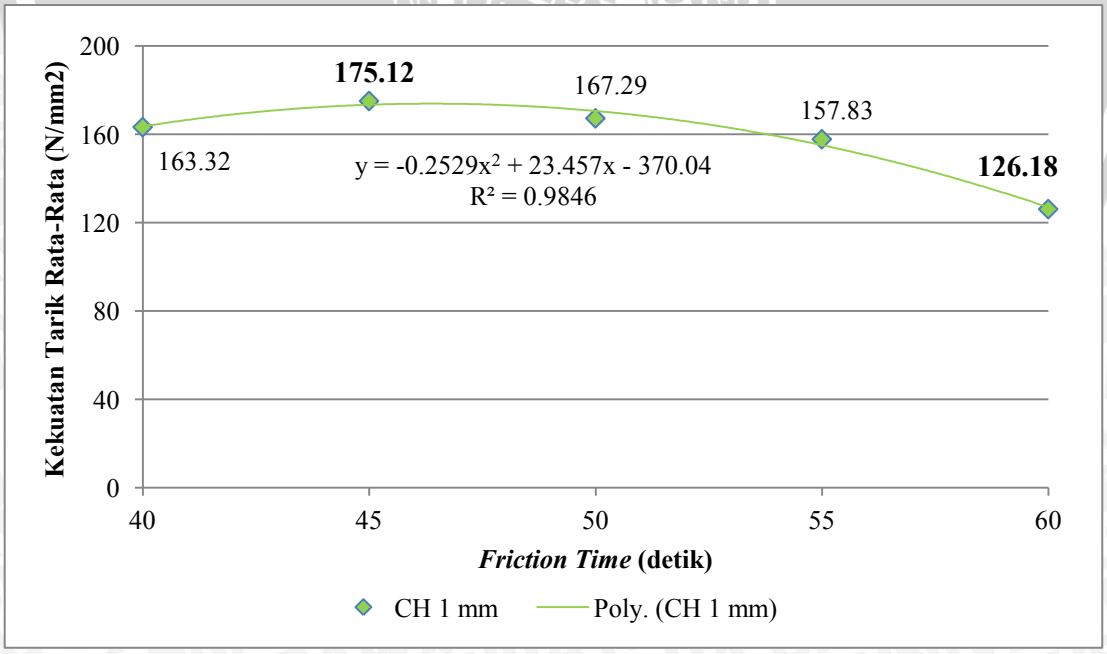
Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Tarik Spesimen Tanpa *Chamfer*

Friction Time (detik)	$\bar{X}$ Kekuatan Tarik (N/mm^2)	Standar Deviasi (δ)
40	134,534	1,585
45	132,513	9,350
50	128,315	5,987
55	127,742	7,427
60	121,861	7,924

4.2 Pembahasan

4.2.1 Hubungan *Friction Time* Pada Spesimen Tinggi *Chamfer* 1 mm

Dari variasi *friction time* pengelasan gesek pada spesimen tinggi *chamfer* 1mm diperoleh nilai kekuatan tarik rata-rata yang berbeda. Analisa data tersebut disajikan pada grafik di bawah ini.



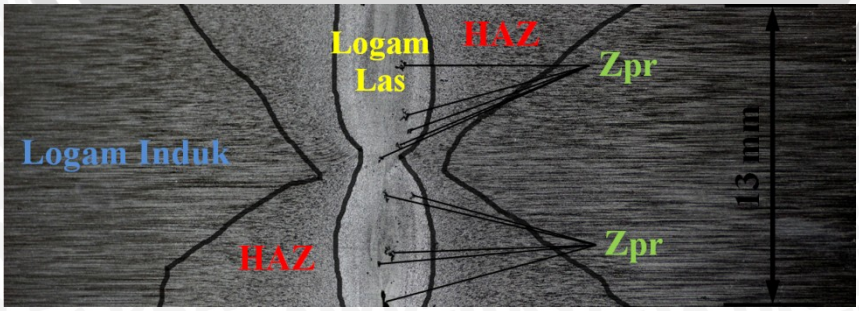
Gambar 4.1 Grafik Hubungan *Friction Time* Terhadap Kekuatan Tarik Rata-Rata Sambungan Las Gesek Spesimen Tinggi *Chamfer* 1 mm.

Dari grafik di atas, dapat dilihat bahwa grafik membentuk sebuah kurva yang menginformasikan bahwa terdapat kenaikan nilai kekuatan tarik pada *friction time* 40 detik menuju titik puncak nilai kekuatan tarik pada spesimen 45 detik, namun nilai kekuatan tarik mengalami penurunan seiring bertambahnya *friction time* dari 45 detik menuju 60 detik. Nilai kekuatan tarik tertinggi hasil sambungan las gesek pada aluminium *A6061* menggunakan tinggi *chamfer* 1 mm terdapat pada *friction time* 45 detik sebesar 175,12 N/mm^2. Sedangkan nilai kekuatan tarik terendah sebesar 126,18 N/mm^2 terdapat pada *friction time* 60 detik. Hal tersebut menunjukkan bahwa *friction time* berpengaruh terhadap kekuatan tarik hasil sambungan pengelasan gesek. Semakin besar atau lama *friction time* akan menyebabkan semakin besar pula masukan panas *(heat input)*, dengan semakin besar masukan panas menyebabkan daerah *HAZ* yang terbentuk semakin besar yang mengakibatkan kekuatan tariknya semakin menurun.

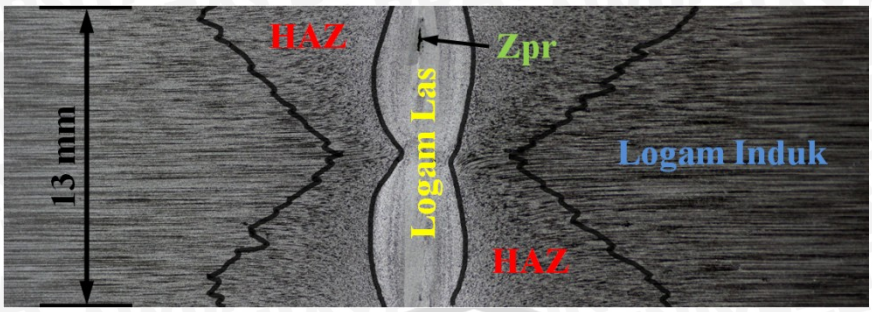
Menurut Lin, *et al* (1999), semakin luas daerah *Fully plasticized zone* (*Zpl*) atau logam las maka sambungan yang terbentuk akan semakin baik dan kekuatan tariknya tinggi. Sindokou (2002), semakin besar luas *HAZ* yang terbentuk maka kekuatannya akan semakin berkurang. Irawan *et al* (2012), semakin besar *Fully plasticized zone* (*Zpl*) dan semakin kecil daerah yang terkena dampak panas (*HAZ*) dan porositas kecil maka kekuatan tarik sambungan las semakin besar.

4.2.1.1 Analisa Luasan Daerah Hasil Pengelasan

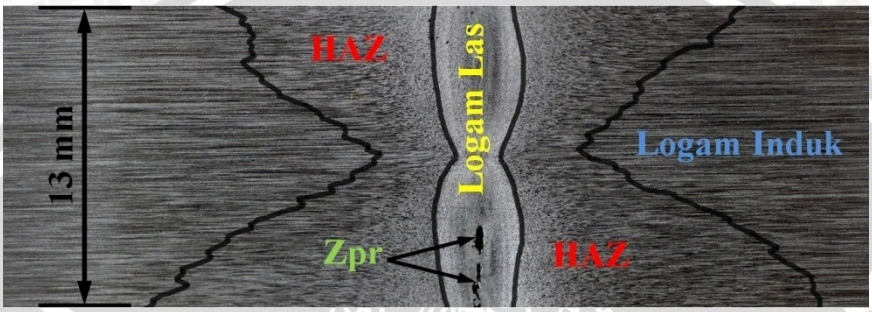
Dari hasil foto makrostruktur pada permukaan bagian dalam spesimen hasil pengelasan gesek yang sudah dibelah pada bagian tengah dan diberikan cairan etsa pada permukaannya, dapat dilihat batas-batas daerah pengelasan yaitu logam las, *HAZ*, porositas (*Zpr*), dan logam induk. Dengan adanya batas-batas tersebut dapat menganalisa luasan dari masing-masing daerah pengelasan dengan menggunakan *software Autodesk Inventor*.



Gambar 4.2 Foto Makrostruktur Spesimen Tinggi *Chamfer* 1mm *Friction Time* 40 detik



Gambar 4.3 Foto Makrostruktur Spesimen Tinggi *Chamfer* 1mm *Friction Time* 45 detik



Gambar 4.4 Foto Makrostruktur Spesimen Tinggi *Chamfer* 1mm *Friction Time* 60 detik

Gambar di atas menampilkan foto makrostruktur spesimen yang memiliki nilai kekuatan tarik tertinggi pada spesimen 45 detik dan yang memiliki nilai keuatan tarik terendah yaitu spesimen 60 detik, namun juga ditampilkan foto pada spesimen 40 detik yang memiliki nilai kekuatan tarik lebih rendah dari pada spesimen 45 detik. Hasil analisa luasan dareah logam las, *HAZ*, dan daerah porositas (*Zpr*) dari masing-masing spesimen ditampilkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.3 Luasan Daerah Logam Las, *HAZ*, dan *Zpr* Spesimen Tinggi *Chamfer* 1 mm

FT (detik)	Logam Las (mm^2)	*HAZ* (mm^2)	*Zpr* (mm^2)
40	47,783	119,612	0,915
45	46,131	142,589	0,126
60	42,729	194,039	0,722

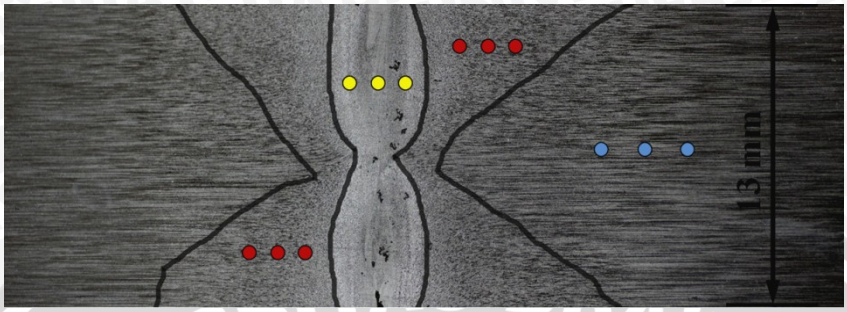
Dari data pada tabel 4.3 dapat diketahui bahwa luasan zona porositas *(Zpr)* yang dimiliki oleh spesimen 40 detik sebesar 0,915 mm^2 jauh lebih besar dibandingkan dengan luasan zona porositas yang dimilki spesimen 45 detik yakni sebesar 0,126 mm^2. Hal ini dapat disebabkan karena pada proses pengelasan spesimen dengan *friction time*

40 detik belum mencapai suhu optimalnya pada pengelasan gesek penelitian ini jika dibandingkan dengan spesimen 45 detik yakni suhu pengelasan spesimen 40 detik sebesar 183,3 ^{0}C dan spesimen 45 detik sebesar 190,5 ^{0}C (tabel & distribusi suhu pengelasan ada pada lampiran 11). Hal tersebut berpengaruh karena dengan suhu yang sudah optimal untuk melunakan spesimen aluminium *A6061* pada pengelasan gesek ini dapat membuat ikatan dan distribusi antar butir-butir kuat. Pada saat diberikan tekanan tempa dengan suhu yang optomal butir-butir tersebut dapat lebih mudah untuk saling berhimpit dan bergerak mengisi celah-celah butiran yang kosong sehingga semakin memperkuat ikatan antar butir tersebut. Besarnya porositas yang disebabkan adanya udara yang terjebak seperti yang dimiliki oleh spesimen *friction time* 40 detik dapat disebabkan karena belum optimalnya waktu pengelasan yakni waktu gesek yang dibutuhkan agar udara/gas yang terjebak pada permukaan kontak las dapat keluar seiring dengan putaran pada saat pengelasan gesek ini. Dengan besar dan banyaknya daerah porositas akan menyebabkan semakin besar pula jumlah pemusatan tegangan, pada saat diberi beban tarik saat pengujian tarik menyebabkan dislokasi butir semakin banyak yang akan memicu terjadinya retak. Hal-hal tersebut lah yang dapat menyebabkan kekuatan tarik spesimen dengan *friciton time* 40 detik lebih rendah dibandingkan spesimen dengan *friction time* 45 detik dan dapat dikatakan bahwa pada penelitian pengelasan ini suhu dan *friction time* yang optimal dimiliki oleh spesimen 45 detik.

Luasan daerah logam las pada spesimen 45 detik sebesar 46,131 mm^2 dan pada spesimen 60 detik sebesar 42,729 mm^2. Luasan daerah *HAZ* spesimen 60 detik sebesar 194,039 mm^2 lebih besar dibandingkan dengan spesimen 45 detik sebesar 142,589 mm^2, hal ini dikarenakan semakin lama waktu gesek/*friction time* maka panas yang diterima oleh spesimen semakin besar. Luasan daerah porositas (*Zpr*) spesimen 60 detik lebih besar dibandingkan dengan spesimen 45 detik dengan masing-masing nilai sebesar 0,722 mm^2 dan 0,126 mm^2. Hal-hal tersebut menunjukan bahwa dari sudut pandang luasan *HAZ* dan luasan daerah porositas, spesimen dengan *friction time* 60 detik memiliki nilai luasan yang lebih besar. Hal ini yang menyebabkan kekuatan tarik spesimen dengan friciton time 45 detik lebih besar dibandingkan spesimen dengan *friction time* 60 detik.

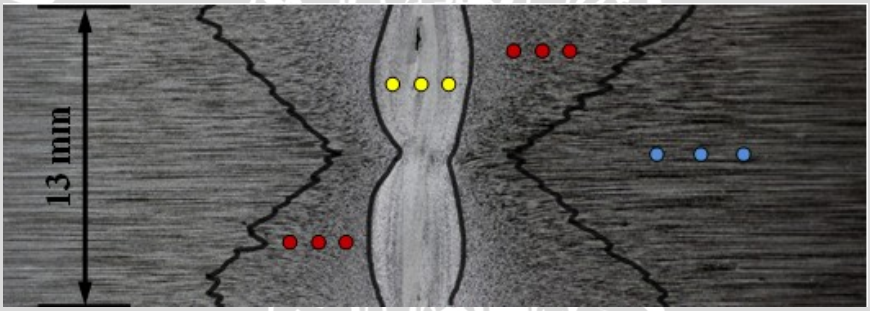
4.2.1.2 Hasil Pengujian Kekerasan Pada Daerah Pengelasan

Dilihat dari nilai kekerasan setiap daerah logam las, daerah *HAZ*, dan logam induk pada setiap spesimen juga mempengaruhi nilai kekuatan tarik, karena semakin keras daerah logam las dan *HAZ* maka semakin tinggi pula nilai kekuatan tariknya.



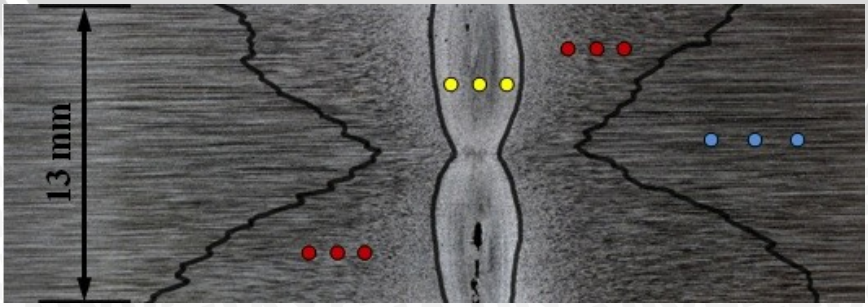
Titik Kuning : Logam Las
Titik Merah : *HAZ*
Titik Biru : Logam Induk

Gambar 4.5 Foto Makrostruktur Uji Kekerasan Spesimen Tinggi *Chamfer* 1mm *Friction Time* 40 detik



Titik Kuning : Logam Las
Titik Merah : *HAZ*
Titik Biru : Logam Induk

Gambar 4.6 Foto Makrostruktur Uji Kekerasan Spesimen Tinggi *Chamfer* 1mm *Friction Time* 45 detik



Titik Kuning : Logam Las
Titik Merah : *HAZ*
Titik Biru : Logam Induk

Gambar 4.7 Foto Makrostruktur Uji Kekerasan Spesimen Tinggi *Chamfer* 1mm *Friction Time* 60 detik

Berikut ini adalah data hasil uji kekerasan rata-rata untuk setiap daerah logam las, *HAZ*, dan logam induk.

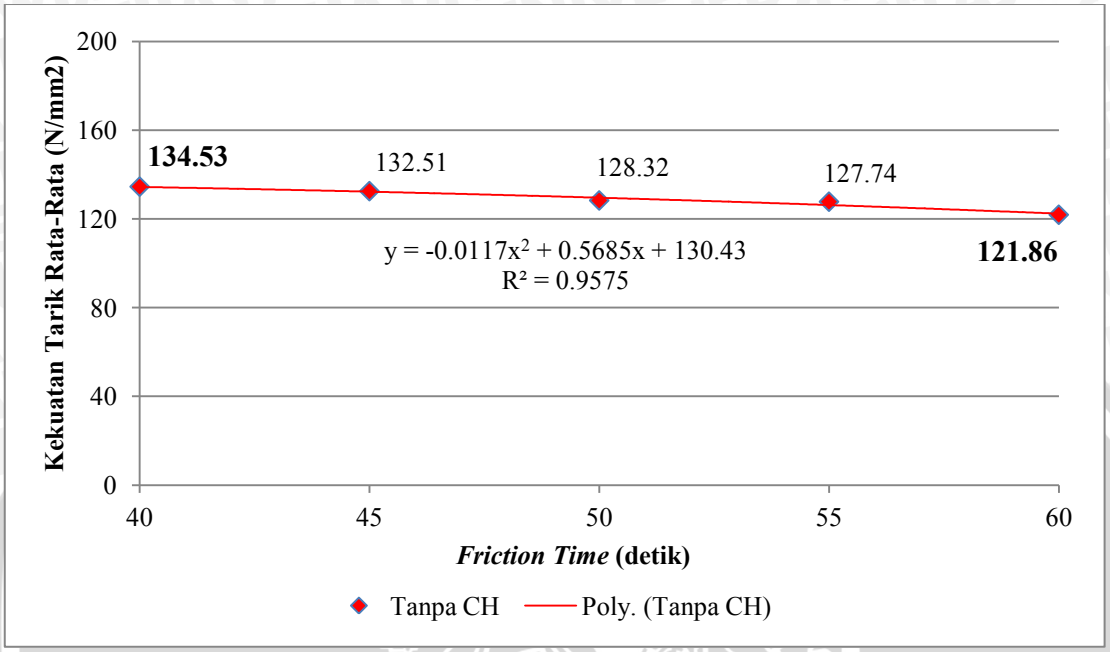
Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Kekerasan *Vickers* Spesimen Tinggi *Chamfer* 1 mm

FT (detik)	Daerah	Kekerasan Rata-rata *(VHN)*
40	Logam Las	158,81
	HAZ	119,57
	Zud	138,70
45	Logam Las	170,43
	HAZ	186,47
	Zud	135,00
60	Logam Las	147,27
	HAZ	161,90
	Zud	121,77

Dari data pada tabel di atas dapat dilihat bahwa pada spesimen *friction time* 40 detik memiliki nilai nilai kekerasan rata - rata pada setiap daerah pengelasan, yaitu logam las sebesar 158,81 *VHN*, *HAZ* sebesar 119,57 *VHN*, dan logam induk sebesar 138,70 *VHN*. Pada spesimen *friction time* 45 detik nilai kekerasan rata-rata pada setiap daerah, yaitu logam las sebesar 170,43 *VHN*, *HAZ* sebesar 186,47 *VHN*, dan logam induk sebesar 135 *VHN*. Sedangkan kekerasan pada spesimen *friction time* 60 detik nilai kekerasan rata-rata pada setiap daerah, yaitu logam las sebesar 147,27 *VHN*, *HAZ* sebesar 161,9 *VHN*, dan logam induk sebesar 121,77 *VHN*. Maka dapat disimpulkan bahwa spesimen *friction time* 45 detik memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan dengan spesimen friction 40 detik dan spesimen *friction time* 60 detik pada setiap masing-masing daerah pengelasan yaitu logam las dan *HAZ*. Hal tersebut lah yang menyebabkan spesimen *friction time* 45 detik memiliki nilai kekuatan tarik yang lebih tinggi dari pada nilai kekuatan tarik yang dimiliki spesimen *friction time* 40 detik dan spesimen *friction time* 60 detik. Namun kekuatan tarik spesimen 40 detik memiliki nilai yang lebih tinggi dari pada spesimen 60 detik. Oleh karena itu grafik pada gambar 4.1 di atas menunjukan kekuatan tarik rata-rata meningkat dari *friction time* 40 detik ke *friction time* 45 detik lalu kekuatan tarik rata-rata mengalami penurunan seiring bertambahnya *friction time* sampai 60 detik.

4.2.2 Hubungan *Friction Time* Pada Spesimen Tanpa *Chamfer*

Dari variasi *friction time* pengelasan gesek pada spesimen tanpa *chamfer* dapat diperoleh nilai kekuatan tarik rata-rata yang berbeda. Analisa data tersebut disajikan pada grafik di bawah ini.



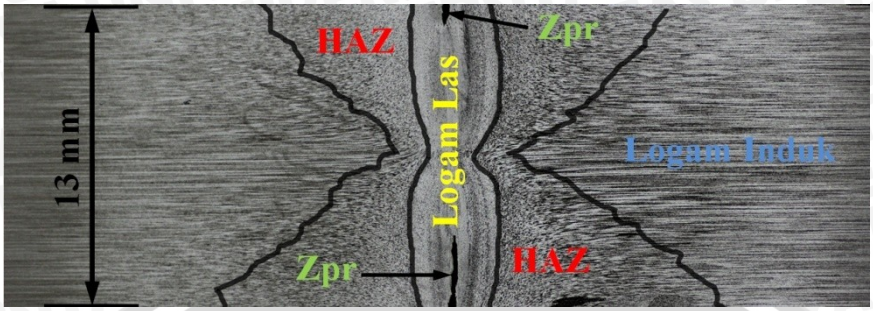
Gambar 4.8 Grafik Hubungan *Friction Time* Terhadap Kekuatan Tarik Rata-Rata Sambungan Las Gesek Spesimen Tanpa *Chamfer*

Dari grafik di atas, nilai kekuatan tarik tertinggi hasil sambungan las gesek pada aluminium *A6061* Tanpa *Chamfer* terdapat pada *riction time* 40 detik sebesar 142,215 N/mm^2. Sedangkan nilai kekuatan tarik terendah sebesar 121,861 N/mm^2 terdapat pada *friction time* 60 detik. Data tersebut menunjukan bahwa semakin bertambahnya waktu gesek/*friction time* maka nilai kekuatan tarik sambungan las gesek mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena semakin besar *friction time* akan menyebabkan semakin besar masukan panas *(heat input)*, dengan semakin besar masukan panas menyebabkan daerah *HAZ* yang terbentuk semakin besar pula yang mengakibatkan kekuatan tariknya semakin menurun.

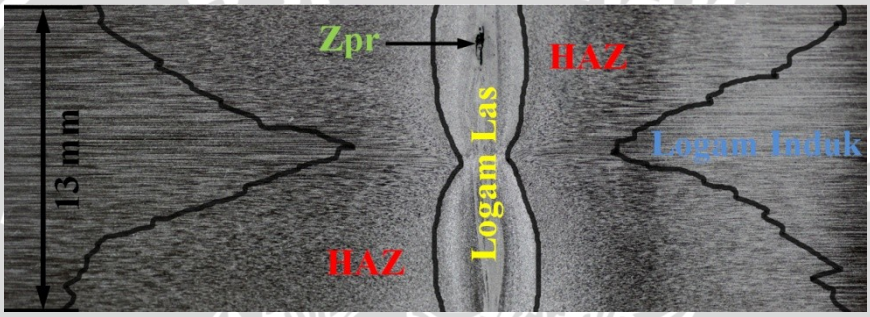
4.2.2.1 Analisa Luasan Daerah Hasil Pengelasan

Dari hasil foto makrostruktur pada permukaan bagian dalam spesimen hasil pengelasan gesek yang sudah dibelah pada bagian tengah dan diberikan cairan etsa pada permukaannya, dapat dilihat batas-batas daerah pengelasan yaitu logam las, *HAZ*, porositas (*Zpr*), dan logam induk. Dengan adanya batas-batas tersebut dapat

menganalisa luasan dari masing-masing daerah pengelasan dengan menggunakan *software autodesk inventor*.



Gambar 4.9 Foto Makrostruktur Spesimen Tanpa *Chamfer Friction Time* 40 detik



Gambar 4.10 Foto Makrostruktur Spesimen Tanpa *Chamfer Friction Time* 60 detik

Gambar di atas menampilkan foto makrostruktur spesimen yang memiliki nilai kekuatan tarik tertinggi pada spesimen 45 detik dan yang memiliki nilai keuatan tarik terendah yaitu spesimen 60 detik. Hasil analisa luasan dareah logam las, *HAZ*, dan daerah porositas (*Zpr*) dari masing-masing spesimen ditampilkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.5 Luasan Daerah Logam Las, *HAZ*, dan *Zpr* Spesimen Tanpa *Chamfer*

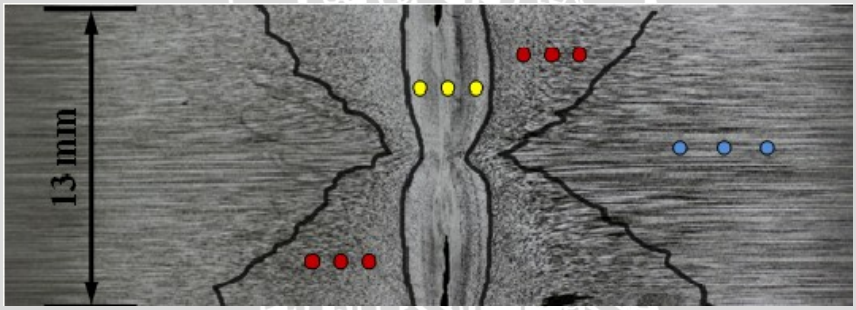
FT (detik)	Logam Las (mm^2)	*HAZ* (mm^2)	*Zpr* (mm^2)
40	43,721	125,963	0,943
60	47,267	270,227	0,326

Dari data pada tabel di atas dapat dilihat bahwa luasan daerah logam las pada spesimen 40 detik sebesar 43,721 mm^2 dan pada spesimen 60 detik sebesar 47,267 mm^2. Luasan daerah *HAZ* spesimen 60 detik sebesar 270,227 mm^2 lebih besar

dibandingkan dengan spesimen 40 detik sebesar 125,963 mm^2, hal ini dikarenakan semakin lama waktu gesek/*friction time* maka panas yang diterima oleh spesimen semakin besar. Luasan daerah porositas (*Zpr*) spesimen 40 detik lebih besar dibandingkan dengan spesimen 60 detik dengan masing-masing nilai sebesar 0,943 mm^2 dan 0,326 mm^2. Meskipun daerah logam las yang dimiliki spesimen 60 detik lebih besar dari pada spesimen 40 detik dan luasan porositas spesimen 60 detik lebih rendah dari spesimen 40 detik, tetapi luasan *HAZ* yang dimiliki spesimen 60 detik jauh lebih besar hingga melebihi 100% dari luasan *HAZ* spesimen 40 detik. Hal tersebut yang menyebabkan nilai kekuatan tarik spesimen dengan friciton time 45 detik lebih besar dibandingkan dengan spesimen dengan *friction time* 60 detik.

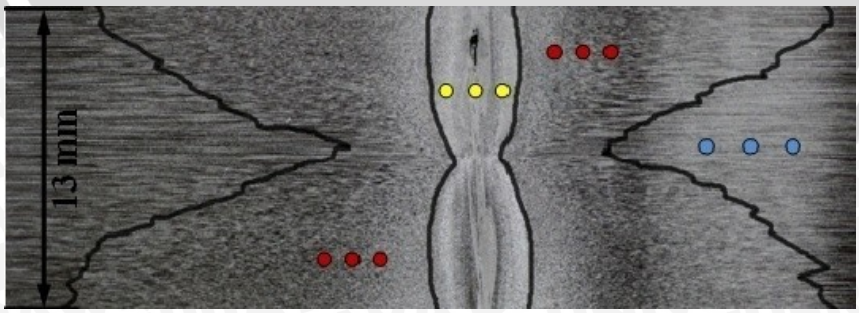
4.2.2.2 Hasil Pengujian Kekerasan Pada Daerah Pengelasan

Apabila semakin tinggi nilai kekerasan daerah logam las dan *HAZ* maka semakin tinggi pula nilai kekuatan tariknya. Berikut ini adalah data hasil uji kekerasan rata-rata untuk setiap daerah logam las, *HAZ*, dan logam induk.



Titik Kuning : Logam Las
Titik Merah : *HAZ*
Titik Biru : Logam Induk

Gambar 4.11 Foto Makrostruktur Uji Kekerasan Spesimen Tanpa *Chamfer Friction Time* 40 detik



Titik Kuning : Logam Las
Titik Merah : *HAZ*
Titik Biru : Logam Induk

Gambar 4.12 Foto Makrostruktur Uji Kekerasan Spesimen Tanpa *Chamfer Friction Time* 60 detik

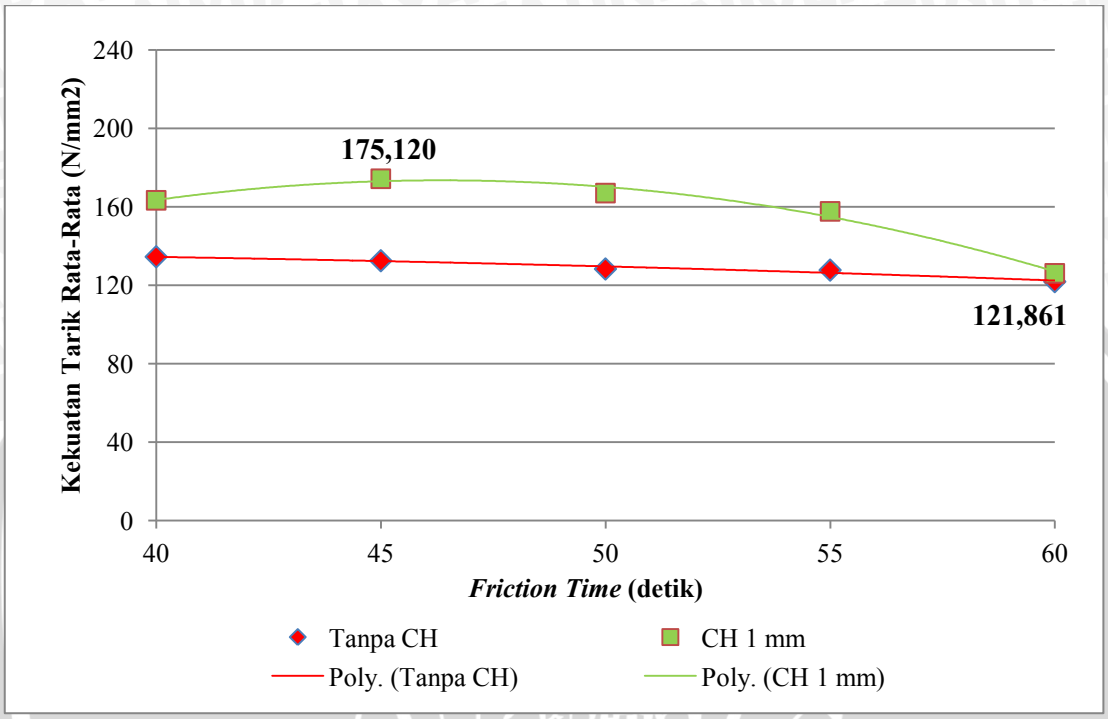
Tabel 4.6 Data Hasil Pengujian Kekerasan *Vickers* Spesimen Tanpa *Chamfer*

FT (detik)	Daerah	Kekerasan Rata-rata *(VHN)*
40	Logam Las	158,13
	HAZ	170,67
	Zud	123,90
60	Logam Las	123,13
	HAZ	149,23
	Zud	120,57

Dari data pada tabel di atas dapat dilihat bahwa pada spesimen *friction time* 40 detik nilai kekerasan rata-rata pada setiap daerah, yaitu logam las sebesar 158,13 *VHN*, *HAZ* sebesar 170,67 *VHN*, dan logam induk sebesar 123,9 *VHN*. Sedangkan kekerasan pada spesimen *friction time* 60 detik nilai kekerasan rata-rata pada setiap daerah, yaitu logam las sebesar 123,13 *VHN*, *HAZ* sebesar 149,23 *VHN*, dan logam induk sebesar 120,57 *VHN*. Maka disimpulkan bahwa spesimen *friction time* 40 detik memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen *friction time* 60 detik pada setiap masing-masing daerah pengelasan yaitu logam las, *HAZ*, dan logam induk. Hal tersebut yang menyebabkan spesimen *friction time* 40 detik memiliki nilai kekuatan tarik yang lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen *friction time* 60 detik.

4.2.3 Hubungan *Friction Time* Pada Spesimen Tinggi *Chamfer* 1 mm dan Tanpa *Chamfer*

Pada grafik di bawah ini ditampilkan nilai kekuatan tarik rata-rata hasil sambungan las gesek pada aluminium *A6061* menggunakan tinggi *chamfer* 1 mm dan tanpa menggunakan *chamfer* pada salah satu sisi kontak las dengan variasi *friction time*.



Gambar 4.13 Grafik Hubungan *Friction Time* Pada Spesimen Tanpa *Chamfer* dan Spesimen Tinggi *Chamfer* 1 mm Terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Las

Nilai kekuatan tarik tertinggi terdapat pada spesimen *chamfer* 1 mm dengan *Friction Time* 45 detik yaitu sebesar 175,120 N/mm^2. Sedangkan nilai kekuatan tarik terendah sebesar 121,861 N/mm^2 terdapat pada spesimen tanpa *chamfer* dengan *friction time* 60 detik.

Tabel 4.7 Data Luasan Daerah Logam Las, *HAZ*, dan *Zpr* Berdasarkan Nilai Kekuatan Tarik Terendah dan Tertinggi

Daerah	Spesimen *Chamfer* 1mm *FT* 45 detik (mm^2)	Spesimen *Non-Chamfer FT* 60 detik (mm^2)
Logam Las	46,131	47,267
HAZ	142,589	270,227
Zpr	0,126	0,326

Tabel 4.8 Data Nilai Kekerasan Daerah Logam Las, *HAZ*, dan *Zpr* Berdasarkan Nilai Kekuatan Tarik Terendah dan Tertinggi

Daerah	Spesimen *Chamfer* 1mm *FT* 45 detik (*VHN*)	Spesimen *Non-Chamfer FT* 60 detik (*VHN*)
Logam Las	170,43	123,13
HAZ	186,47	149,23

Hal tersebut dikarenakan spesimen dengan *chamfer* 1 mm *FT* 45 detik memiliki luasan *HAZ* dan *Zpr* (porositas) yang lebih rendah dari pada spesimen tanpa *chamfer FT* 60 detik. Spesimen dengan *chamfer* 1 mm *FT* 45 detik juga memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi di setiap masing-masing daerah pengelasan yaitu logam las, *HAZ*, dan logam induk. Hal tersebut yang membuat spesimen *chamfer* 1 mm dengan *friction time* 45 detik memiliki nilai kekuatan tarik tertinggi, sedangkan nilai kekuatan tarik terendah terdapat pada spesimen tanpa *chamfer* dengan *friction time* 60 detik.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah :

Penggunaan *friction time* pada pengelasan gesek aluminium *A6061* dengan menggunakan tinggi *chamfer* 1 mm di satu sisi kontaknya yang menekan (tidak berputar) dapat mempengaruhi nilai kekuatan tarik sambungan las tersebut. Seiring bertambahnya *friction time*/waktu gesek, maka nilai kekuatan tarik sambungan pengelasan gesek pada aluminium *A6061* memiliki kecenderungan yang semakin menurun, hal ni dikarenakan semakin besar waktu gesek maka panas yang diterima oleh spesimen semakin banyak dan menyebabkan *HAZ* semakin meluas. Nilai kekuatan tarik rata-rata tertinggi sebesar 175,120 N/mm^2 terdapat pada spesimen dengan tinggi *chamfer* 1 mm *friction time* 45 detik, sedangkan nilai kekuatan tarik rata - rata terendah sebesar 121,861 N/mm^2 terdapat pada spesimen tanpa menggunakan *chamfer* dengan *friction time* 60 detik.

5.2 Saran

1. Dibutuhkan penelitian lebih lanjut dengan penggunaan tinggi *chamfer* pada kontak las spesimen yang berputar dengan variasi *friction time*, gaya tekan awal/gesek, dan gaya tekan akhir/tempa.
2. Bagi peneliti selanjutnya sebaiknya menggunakan gaya tekan akhir/tempa yang besarnya dua kali lipat dari besar gaya tekan awal/gesek untuk mengurangi cacat porositas yang terdapat pada logam las (sambungan las).
3. Dibutuhkan alat/mesin pengelasan gesek yang lebih canggih agar keakuratan data dan nilai sifat mekanik hasil pengelasan dapat ditingkatkan lagi.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR PUSTAKA

American Society for Testing and Materials. 2004. *Standard Test Method for Tension Testing of Metallic Materials,* ASTM Designation E8-03. Annual Book of ASTM Standards. Vol.03.01.

American Welding Society. 2007. *Standard Methods for Mechanical Testing of Welds. B4.0.2007.*

Application Product. 2000. *Manufacturing of Technology Inc.* Washington.

Ardhiyanto, B., Irawan, Y.S, Atmojo, W.Y. 2010. *Pengaruh friction time cycle terhadap kekuatan tarik sambungan las gesek untuk paduan Al – Mg – Si. Skripsi tidak dipublikasikan. Malang: Fakultas Teknik. Universitas Brawijaya.*

ASM International. 2000. *Mechanical Testing and Evaluation.* Metal Park. OHIO.

Gere, J.M., Timoshenko, S.P. 2005. *Mekanika Bahan, Jilid 1.* Jakarta: Erlangga.

Irawan, Y. S, Marsoedi, W., Ma'arif, M.S (2012). *Tensile Strength of Weld Joint Produced by Spinning Friction welding of Round Aluminium A6061 with Various Chamfer Angles. Advanced Material Research Vol.576. pp* 761-765.

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

Lin, C.B, *Et.Al., The Effect of Joint Design and Volume Fraction on Friction welding Properties of A360/SiC Composite, Welding Jurnal 78*(3), (1999), 100-108.

Rochman, Yova. A. 2010. *Penggunaan sudut chamfer pada sisi kontak las gesek paduan aluminium A6061*. Skripsi Diterbitkan. Malang: Fakultas Teknik. Universitas Brawijaya.

Sahin, Mumin. 2006. *Evaluation of the joint-interface properties austenitic-stainless steel (AISI 304) joined by friction welding, Materials and design 28* (2244-2250).

Santoso, Eko. 2012. *Pengaruh friction time cycle terhadap kekuatan tarik sambungan las gesek untuk paduan AL-Mg-Si.* Skripsi Diterbitkan. Malang: Fakultas Teknik. Universitas Brawijaya.

Sato, G. Takeshi dan H Sugiarto N. 1999. *Menggambar Mesin Menurut Standar ISO*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Serope, Kalpakjian. 1990. *Manufacturing engineering and technology*. USA: Quadrata, Inc

Serope, Kalpakjian. 1990. *Modern Welding*. USA: Quadrata, Inc.

Sofyan, T. Bondan. 2010. *Pengantar Material Teknik.* Jakarta. PT. Salemba Teknika.

Surdia, Tata ; Shinroku, Saito. 2000. *Pengetahuan Bahan dan Teknik.* Jakarta: PT. Pradnya Paramita.

Tyagita, D.A, Irawan, Y.S, Suprapto, W. (2014). *Kekuatan Puntir dan Porositas Hasil Sambungan Las Gesek Al-Mg-Si dengan Variasi Chamfer dan Gaya Tekan Akhir.* Jurnal rekayasa mesin Vol.5 : 69-74.

Wiryosumarto, Harsono ; Okumura, Toshite. 2008. *Teknologi Pengelesan Logam.* Jakarta: PT. Pradnya Paramita.

LAMPIRAN

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Lampiran 1

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA FAKULTAS TEKNIK
LABORATORIUM STRUKTUR DAN BAHAN KONSTRUKSI
Mayjend. Haryono 167 Malang 65145 – Telp (0341) 587710, 587711 Pes. 1125-1126

SURAT KETERANGAN
No : 096 /LBK.FT/IV/2015

Yang bertanda tangan dibawah ini, Kepala Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UB, Menerangkan bahwa mahasiswa tersebut dibawah ini :

N a m a : Mohammad Yanuar Fatah
NIM : 105060200111062/ S-1 Teknik Mesin
Lembaga : Universitas Brawijaya

Untuk melengkapi data penelitiannya, telah melakukan pengujian Tekan Pegas di Lab Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil.

Demikian Surat Keterangan ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya

Malang 23 April 2015
Kepala Laboratorium

Prof.Dr.Ir.Sri Murni Dewi,MS
NIP 195112211 198103 2 001

PENGUJIAN KE-1		
Beban (Kg)	Displacement (mm)	Konstanta (Kg/mm)
10	1.44	6.94
20	3.11	6.43
30	4.51	6.65
40	5.51	7.26
50	6.91	7.24
60	8.23	7.29
70	9.61	7.28
80	10.86	7.37
90	12.66	7.11
100	13.46	7.43
110	14.76	7.45
120	15.76	7.61
130	17.35	7.49
140	18.30	7.65
150	19.97	7.51
160	21.39	7.48
170	22.65	7.51
180	23.75	7.58
190	24.77	7.67
200	25.87	7.73
210	27.45	7.65
220	28.78	7.64
230	29.98	7.67
Konstanta Rata-Rata		**7.38**
Konstanta Maximum		**7.73**

PENGUJIAN KE-2		
Beban (Kg)	Displacement (mm)	Konstanta (Kg/mm)
10	1.69	5.92
20	3.18	6.29
30	4.63	6.48
40	5.92	6.76
50	7.18	6.96
60	8.49	7.07
70	9.90	7.07
80	11.34	7.05
90	12.83	7.01
100	14.05	7.12
110	15.29	7.19
120	16.66	7.20
130	17.94	7.25
140	19.28	7.26
150	20.79	7.22
160	22.31	7.17
170	23.60	7.20
180	24.79	7.26
190	25.99	7.31
200	27.27	7.33
210	28.54	7.36
220	29.91	7.36
230	31.37	7.33
Konstanta Rata-Rata		**7.05**
Konstanta Maximum		**7.36**

PENGUJIAN KE-3		
Beban (Kg)	Displacement (mm)	Konstanta (Kg/mm)
10	1.59	6.29
20	2.98	6.71
30	4.31	6.96
40	5.55	7.21
50	6.70	7.46
60	7.89	7.60
70	9.12	7.68
80	10.33	7.74
90	11.48	7.84
100	12.67	7.89
110	13.84	7.95
120	15.06	7.97
130	16.26	8.00
140	17.46	8.02
150	18.67	8.03
160	19.87	8.05
170	21.10	8.06
180	22.31	8.07
190	23.49	8.09
200	24.70	8.10
210	25.95	8.09
220	27.16	8.10
230	28.50	8.07
Konstanta Rata-Rata		**7.74**
Konstanta Maximum		**8.10**

RATA-RATA PENGUJIAN 1 ; 2 ; 3		
Beban (Kg)	Displacement (mm)	Konstanta (Kg/mm)
10	1.57	6.38
20	3.09	6.48
30	4.48	6.70
40	5.66	7.07
50	6.93	7.22
60	8.20	7.32
70	9.54	7.34
80	10.84	7.39
90	12.32	7.32
100	13.39	7.48
110	14.63	7.53
120	15.83	7.60
130	17.18	7.58
140	18.35	7.64
150	**19.81**	**7.59**
160	21.19	7.57
170	22.45	7.59
180	23.62	7.64
190	24.75	7.69
200	**25.95**	**7.72**
210	27.31	7.70
220	28.62	7.70
230	29.95	7.69
Konstanta Rata-Rata		**7.39**
Konstanta Maximum		**7.72**

$P1_0$ = 89.75 mm	$P1_1$ = 89.75 mm	$P1_0$ = 89.75 mm	$P1_1$ = 89.75 mm	$P1_0$ = 89.75 mm	$P1_1$ = 89.73 mm	**$P1_0$ = 89.75 mm**	**$P1_1$ = 89.74 mm**
$P2_0$ = 89.55 mm	$P2_1$ = 89.55 mm	$P2_0$ = 89.55 mm	$P2_1$ = 89.47 mm	$P2_0$ = 89.47 mm	$P2_1$ = 89.47 mm	**$P2_0$ = 89.47 mm**	**$P2_1$ = 89.50 mm**

Displacement Pegas yang digunakan pada Alat Penelitian Pengelasan Gesek ini, yaitu :

- Gaya Penekanan Gesek = 150 Kgf,

Maka menggunakan diplacement pegas sebesar 19,81 mm = **20 mm**

- Gaya Penekanan Tempa = 200 Kgf,

Maka menggunakan diplacement pegas sebesar 25,95 mm = **26 mm**

Lampiran 3

LABORATORIUM STRUKTUR
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIKUNIVERSITAS NEGERI MALANG
Gedung D9 Lt 2 Kampus UM Jl. Semarang No. 5 Malang Telp/Fax: (0341) 587 082 Ext. 205\
The Learning University

SURAT KETERANGAN

No. 23a.06.2015

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

Nama : Mohamad Yanuar Fatah

NIM : 105060200111062

Instansi : Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Telah melakukan pengujian tarik aluminium sebanyak 34 benda uji pada tanggal 18 Juni 2015 di Laboratorium Struktur-Teknik Sipil-FT-UM.

Demikian keterangan ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Malang, 23 Juni 2015
Kepala Laboratorium
Teknik Sipil-FT-UM

JURUSAN TEKNIK SIPIL LABORATORIUM

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

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Lampiran 4

Calibration Certificate

EASTERN PRO ENGINEERING SNI ISO/IEC 17025:2008 (ISO/IEC 17025:2005) KAN Komite Akreditasi Nasional LABORATORIUM KALIBRASI LK - 112 - IDN

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

Certificate Number
4796.EPE.10.14

Order Number : 500.14.227
Received Date : October 02, 2014

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

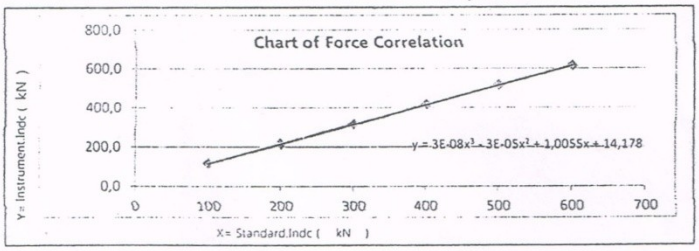
Equipment Name : Universal testing Machine
Manufacture : Kai Wei
Type / Model : -
Serial Number : 068
Capacity : 1000 kN
Resolution : 0,1 kN

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

Calibration Report

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

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



Calibrator used

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

Calibrated By

Asit M. N. E.
Technician

Date of Issued
October 08, 2014

EASTERN PRO ENGINEERING

Ir.Sukiswanto
Director

-End of Certificate-

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

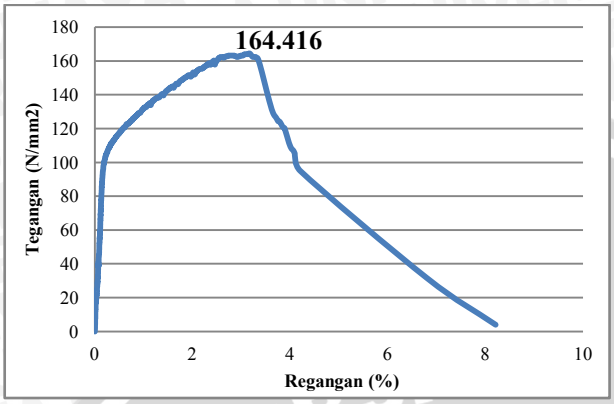
Kawasan Wangsa Niaga Wetan No. 27 Kota Baru Parahyangan - Bandung Barat

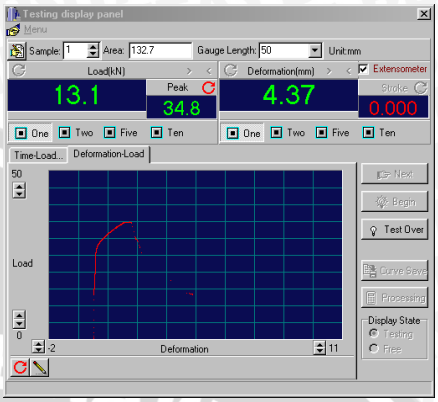
repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Lampiran 5

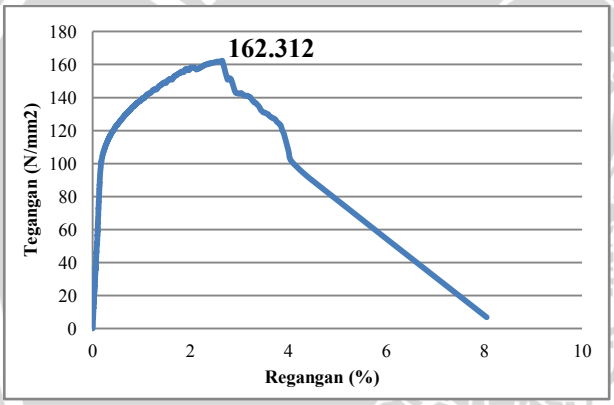
1. Spesimen *Friction Time* 40 Detik

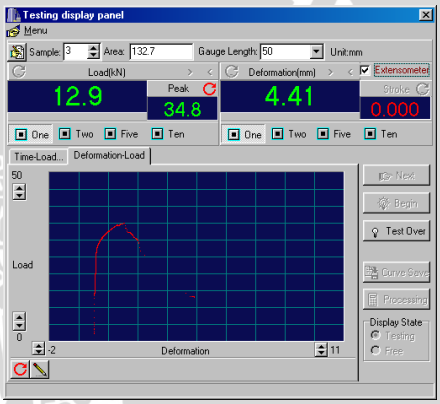
❖ Spesimen Pengulangan - 1



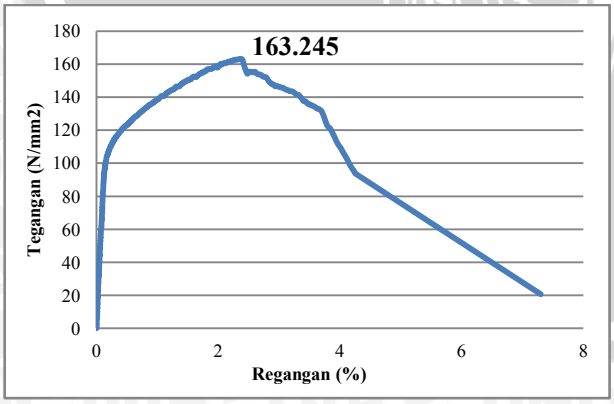


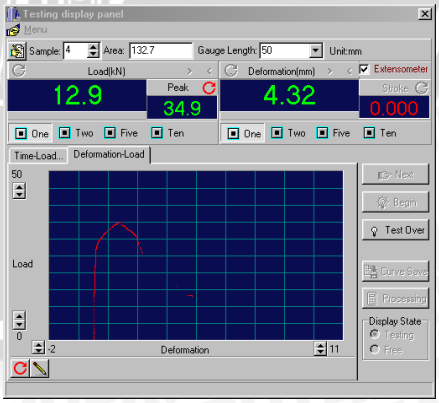
❖ Spesimen Pengulangan - 2





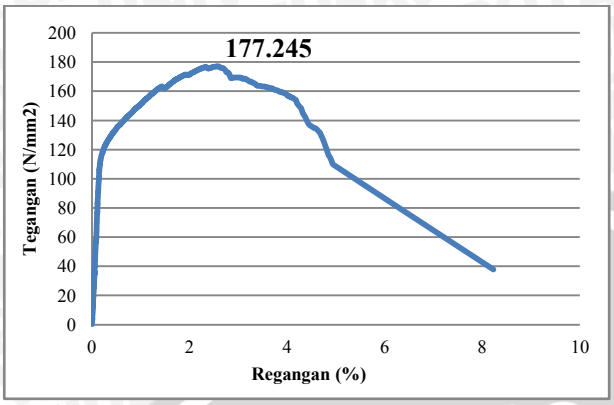
❖ Spesimen Pengulangan - 3

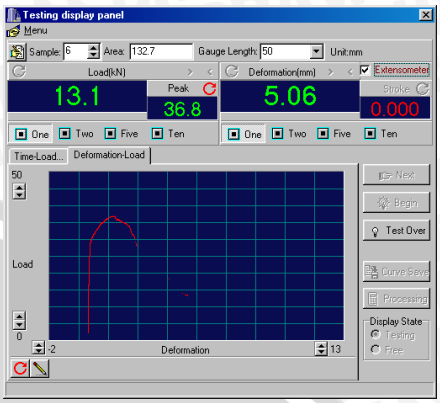




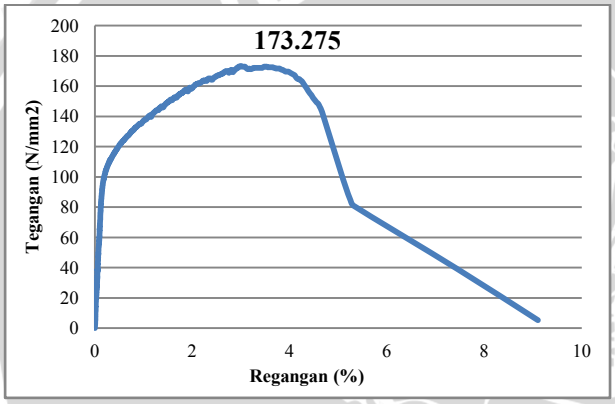
2. Spesimen *Friction Time* 45 Detik

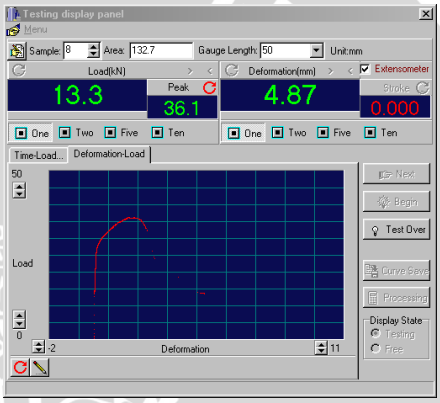
❖ Spesimen Pengulangan - 1



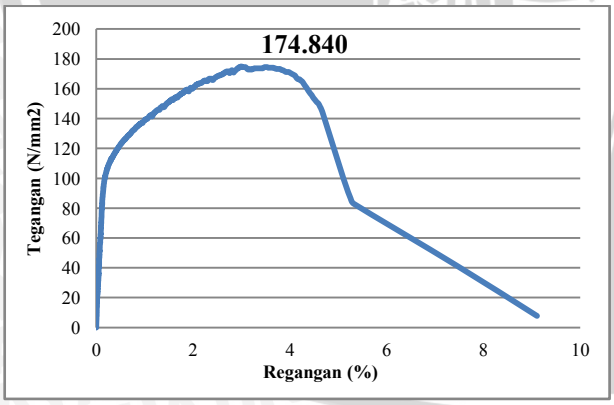


❖ Spesimen Pengulangan - 2



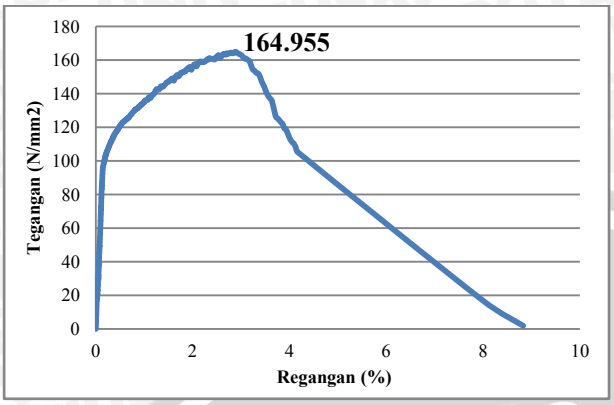


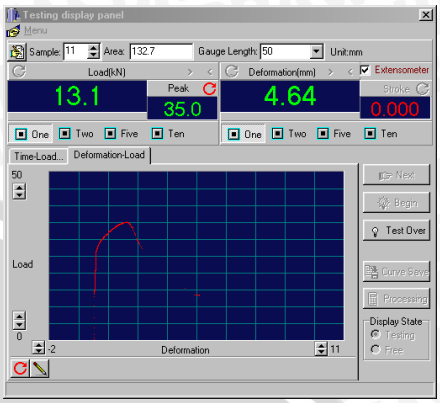
❖ Spesimen Pengulangan - 3



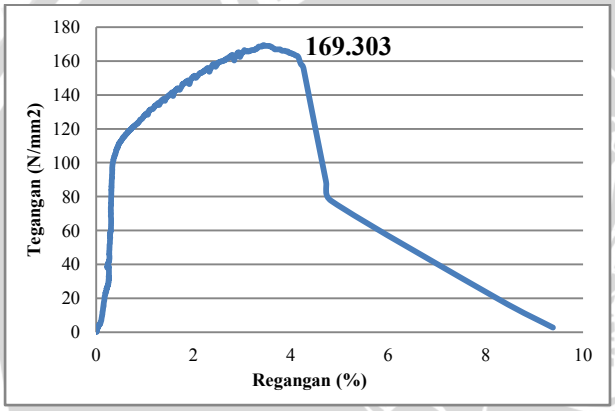
3. Spesimen *Friction Time* 50 Detik

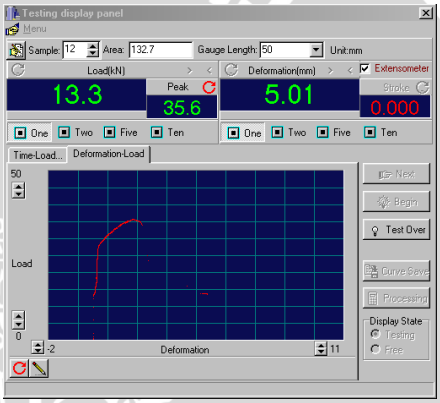
❖ Spesimen Pengulangan - 1



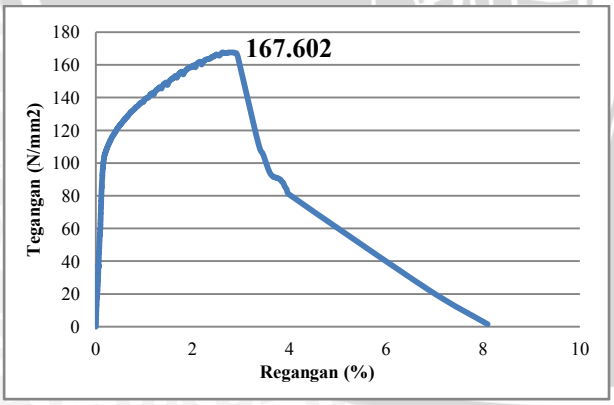


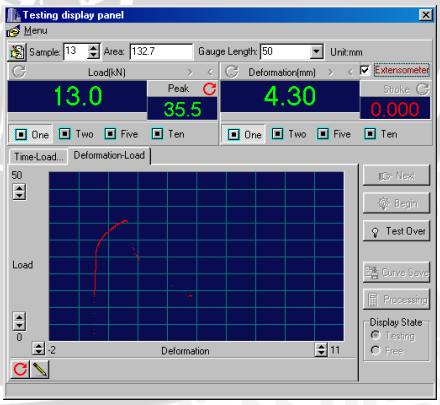
❖ Spesimen Pengulangan - 2





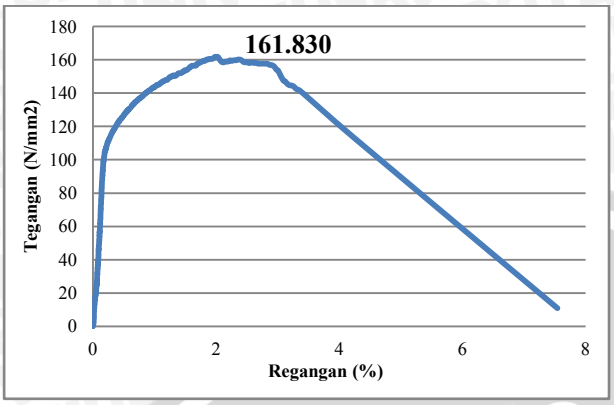
❖ Spesimen Pengulangan - 3

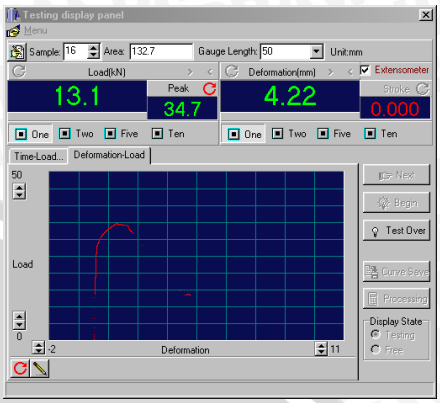




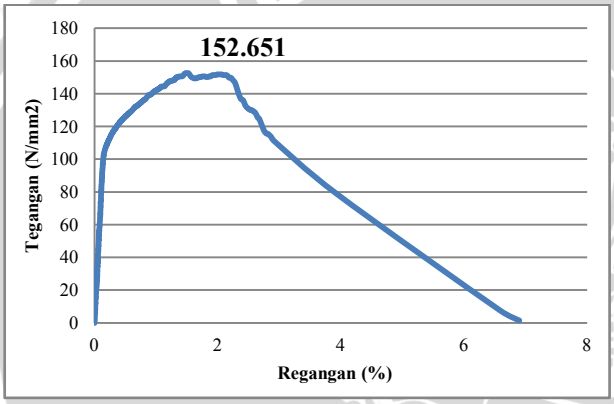
4. Spesimen *Friction Time* 55 Detik

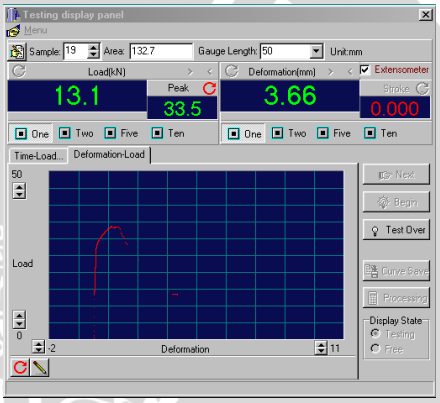
❖ Spesimen Pengulangan - 1



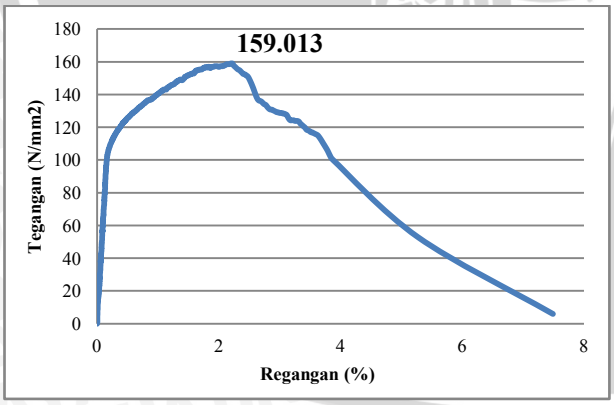


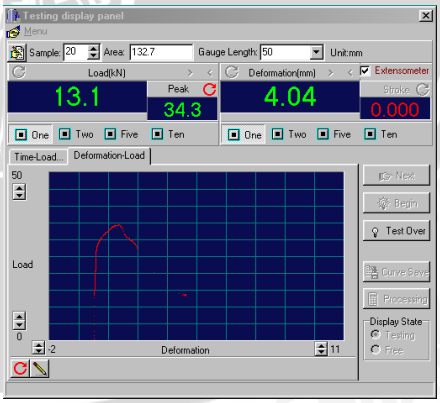
❖ Spesimen Pengulangan - 2





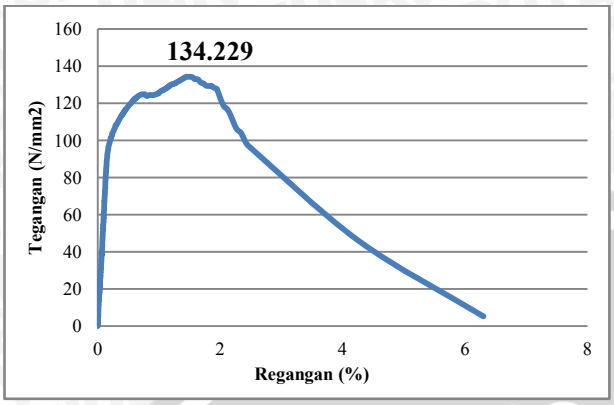
❖ Spesimen Pengulangan - 3

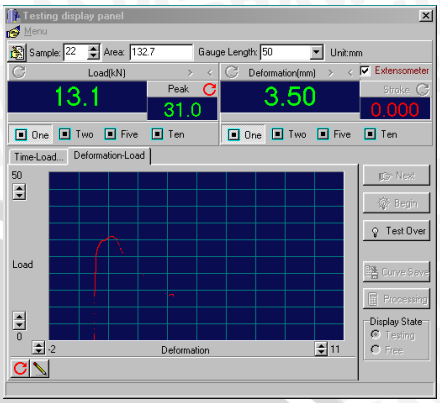




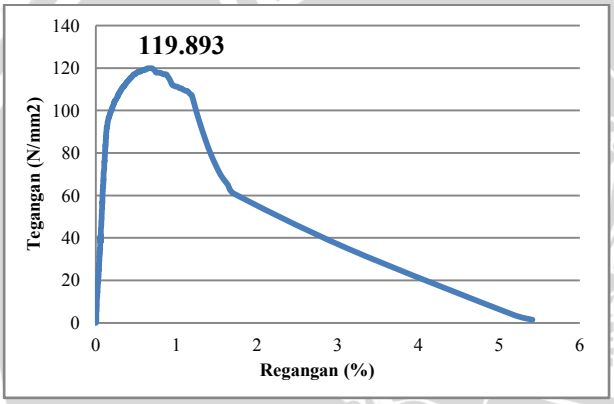
5. Spesimen *Friction Time* 60 Detik

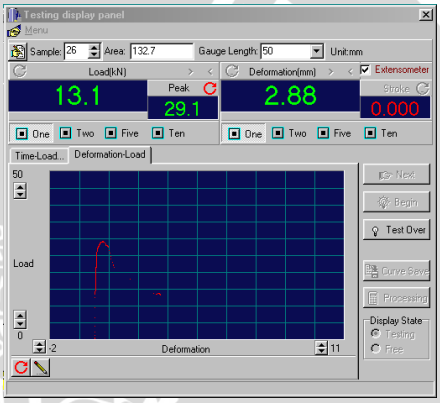
❖ Spesimen Pengulangan - 1



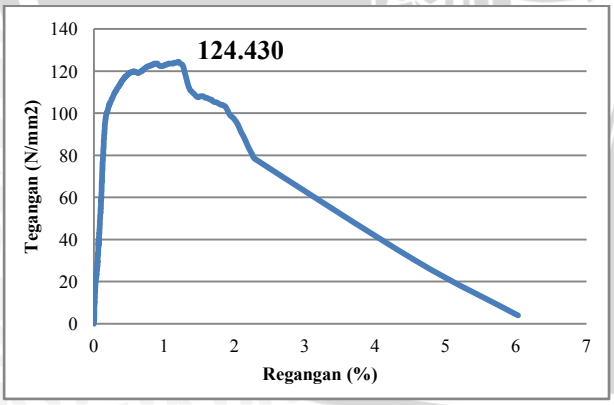


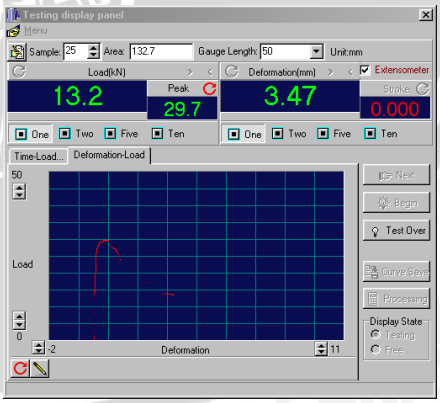
❖ Spesimen Pengulangan - 2





❖ Spesimen Pengulangan - 3

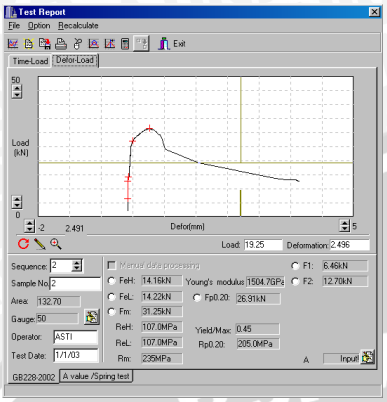


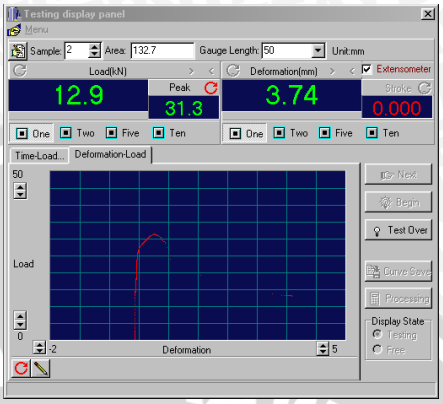


Lampiran 6

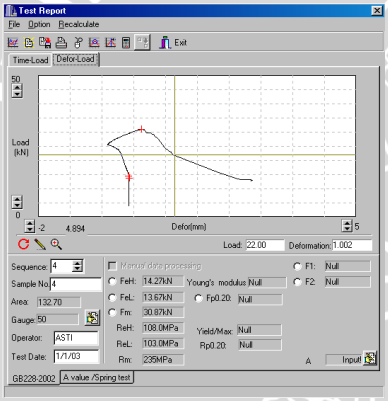
1. Spesimen *Friction Time* 40 Detik

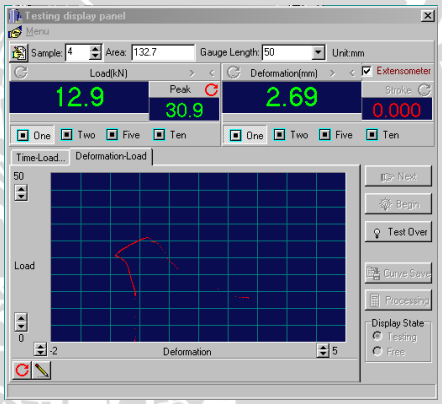
❖ Spesimen Pengulangan - 1





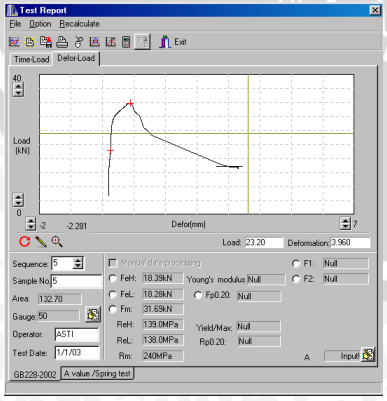
❖ Spesimen Pengulangan - 2

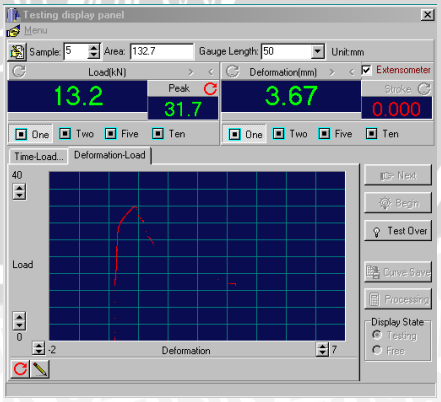




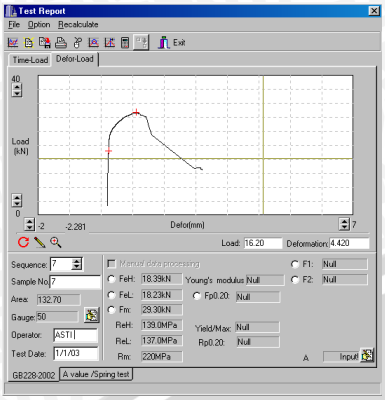
2. Spesimen *Friction Time* 45 Detik

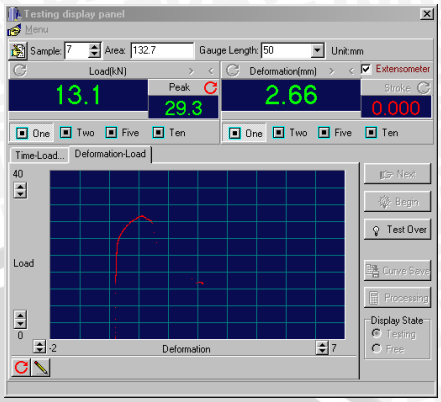
❖ Spesimen Pengulangan - 1



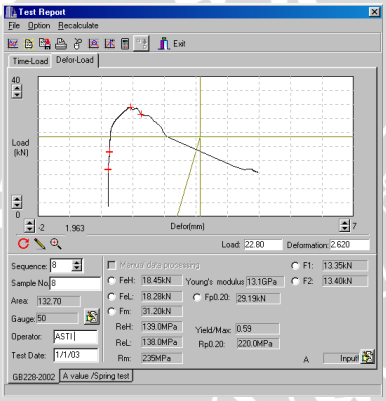


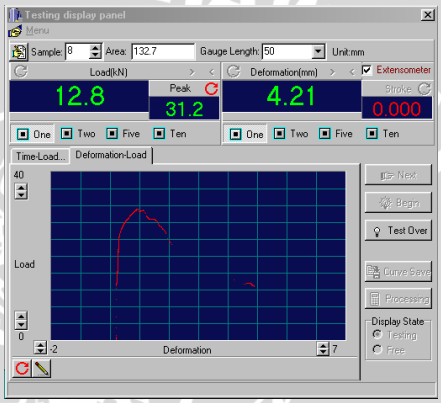
❖ Spesimen Pengulangan - 2





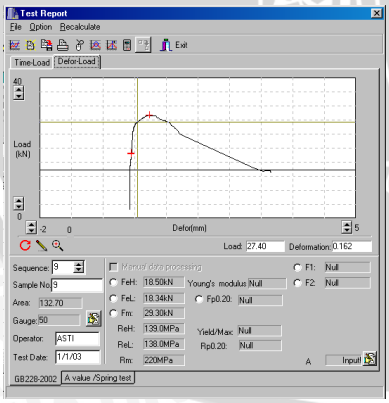
❖ Spesimen Pengulangan - 3

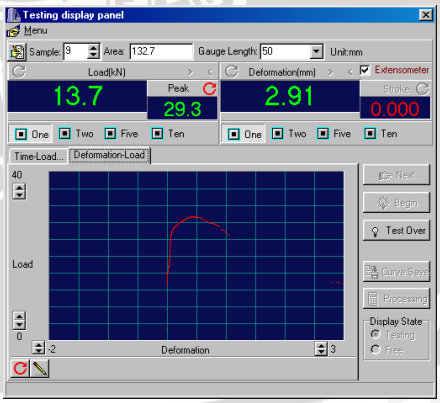




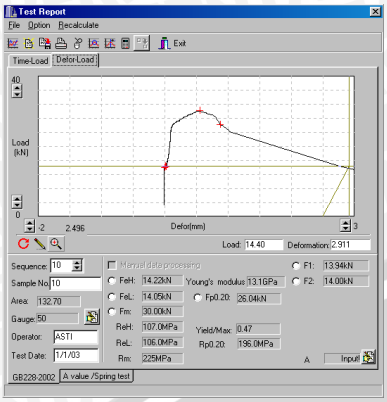
3. Spesimen *Friction Time* 50 Detik

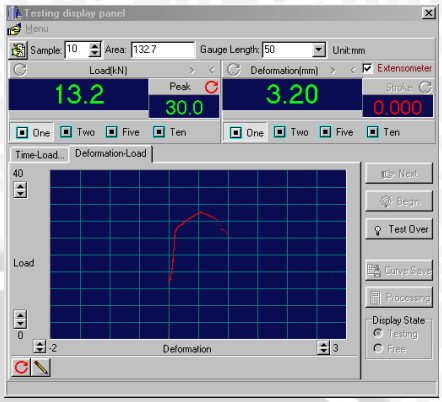
❖ Spesimen Pengulangan - 1



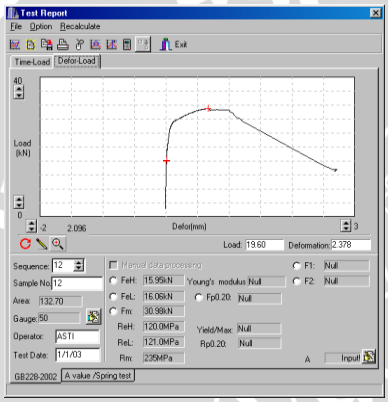


❖ Spesimen Pengulangan - 2



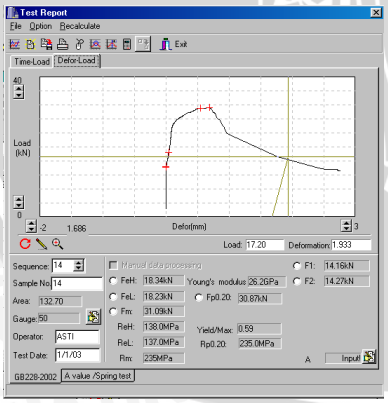


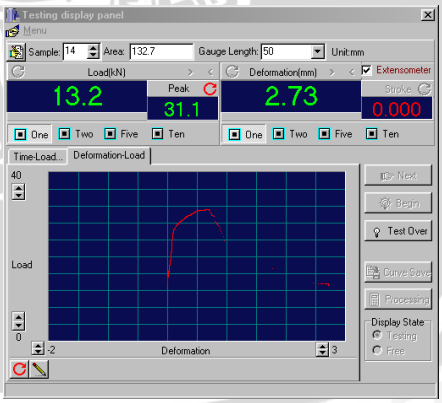
❖ Spesimen Pengulangan - 3



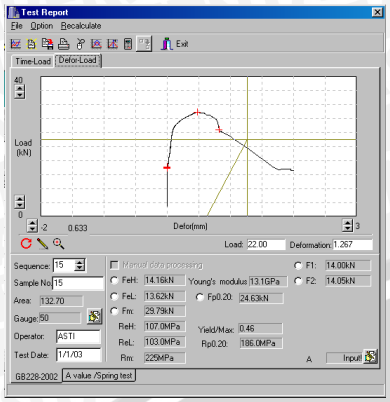
4. Spesimen *Friction Time* 55 Detik

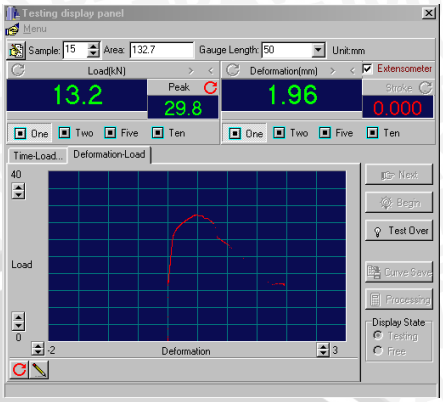
❖ Spesimen Pengulangan - 1



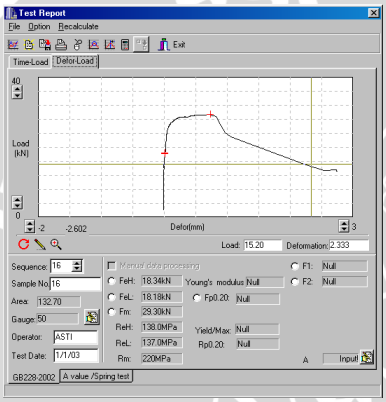


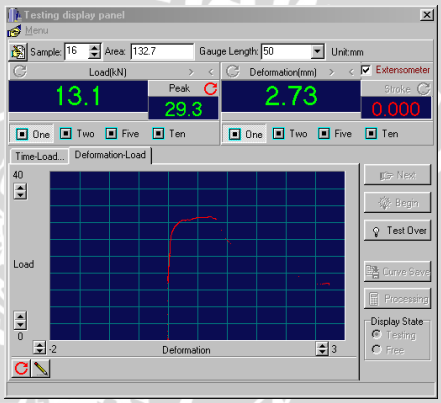
❖ Spesimen Pengulangan - 2





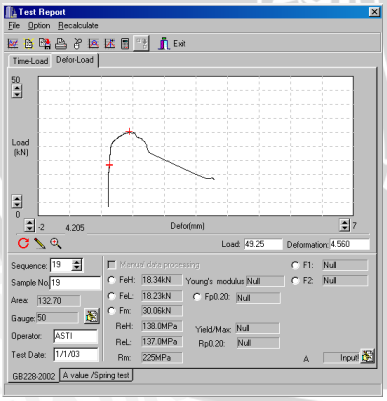
❖ Spesimen Pengulangan - 3

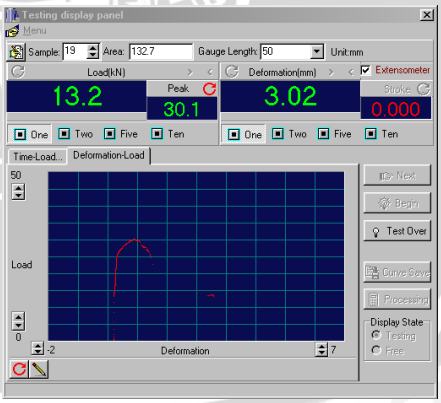




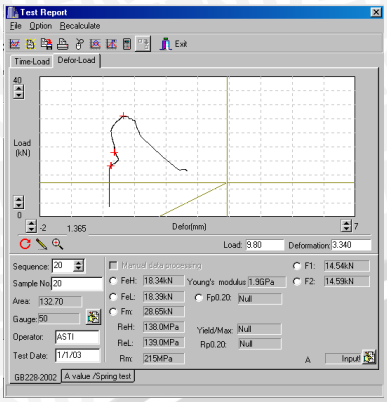
5. Spesimen *Friction Time* 60 Detik

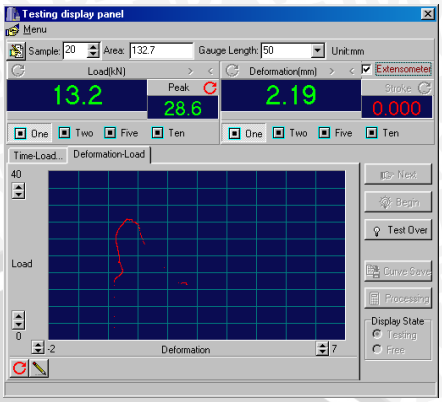
❖ Spesimen Pengulangan - 1





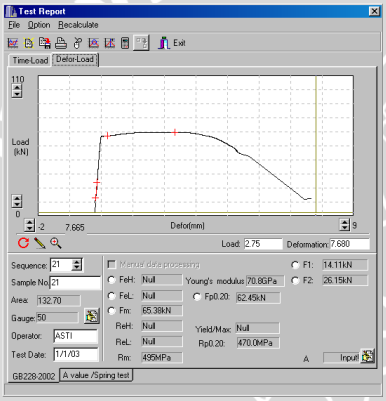
❖ Spesimen Pengulangan - 2

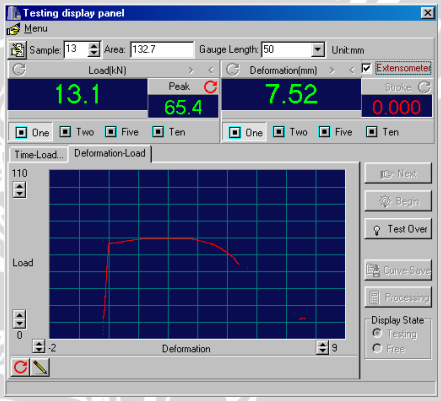




6. Logam Induk / *Base Metal*

❖ Spesimen Pengulangan – 1



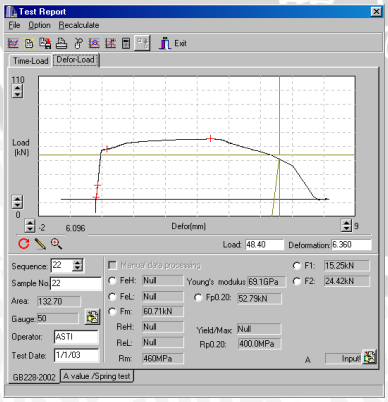


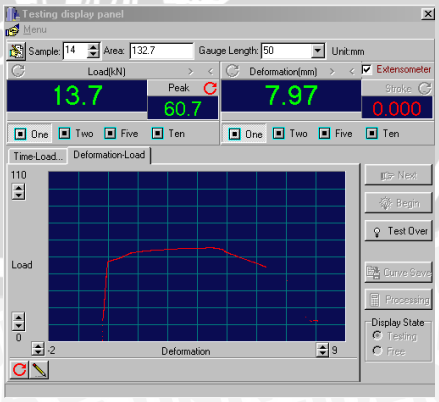
Ø = 12,98 mm ; **A** = 132,26 mm^2

F$_{max}$ = 65,4 KN ⟹ 65,4 – 13,2 = 52,2 KN = 52200 N

σ$_{max}$ = F$_{max}$ ÷ A = 52200 N ÷ 132,26 mm^2 = **394,69 N/mm^2**

❖ Spesimen Pengulangan – 2





Ø = 13,01 mm ; **A** = 132,87 mm^2

F$_{max}$ = 60,7 KN ⟹ 60,7 – 13,2 = 47,5 KN = 47500 N

σ$_{max}$ = F$_{max}$ ÷ A = 47500 N ÷ 132,87 mm^2 = **357,49 N/mm^2**

Lampiran 7

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

LABORATORIUM PENGUJIAN BAHAN

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

Surat Keterangan Penelitian
Nomor : 066/PT.13.FT.6.M/VII/2015

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

Nama	: M. Yanuar Fattah
Nim.	: 105060207111062-62
Jurusan / Program Studi	: Teknik Mesin S1
Fakultas	: Teknik
Universitas/Instansi	: Universitas Brawijaya Malang

Benar-benar telah melaksanakan penelitian / pengambilan data Pengujian Kekerasan Mikrovikers,Foto Mikro dan Foto Makro pada Baja Aluminium A6061 di Laboratorium Pengujian Bahan Fakultas Teknik Jurusan Mesin Universitas Brawijaya Malang pada tanggal 29 Juni - 27 Juli 2015 dengan judul skripsi :
" Kekuatan Tarik Pada Sambungan Las Gesek Aluminium A6061 Menggunakan Tinggi Chamfer Kontak Las 1 mm dengan Variasi Friction Time."

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

Malang, 31 Juli 2015
Ka. Lab. Pengujian Bahan

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

Lampiran 8

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

LABORATORIUM PENGUJIAN BAHAN

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

DATA HASIL PENGUJIAN

Jenis Pengujian : Pengujian Kekerasan Mikrovikers
Satuan : HV
Beban : 0.98 N
Bahan : Baja Auminium A6061
Penguji : M. Yanuar Fattah
NIM. : 105060207111062-62
Universitas/Instansi : Universitas Brawijaya Malang
Tanggal Pengujian : 03 Juli 2015

Spesimen Chamfer 1 mm

Spesiment	Daerah	Titik	D_1	D_2	HV	X.HV
1mm ; 40 detik	Logam Las	1	30,94	33,50	179,00	158,81
		2	34,57	34,44	155,80	
		3	36,25	36,19	141,60	
	HAZ	1	38,57	38,63	124,70	119,57
		2	39,13	39,19	121,20	
		3	40,57	40,63	112,80	
	Logam Induk	1	33,87	34,25	141,20	138,7
		2	42,57	43,32	139,90	
		3	37,13	37,44	135,00	
1mm ; 45 detik	L.Las	1	31,82	31,50	185,50	170,43
		2	32,50	32,75	171,60	
		3	34,38	34,57	154,20	
	HAZ	1	31,63	32,25	187,70	186,47
		2	31,38	31,82	183,30	
		3	31,63	32,25	188,40	
	L.Induk	1	36,88	37,00	138,80	135,00
		2	37,38	37,75	136,00	
		3	39,13	39,75	130,20	
1mm ; 60 detik	L.Las	1	37,00	37,13	136,40	147,27
		2	34,44	34,63	156,40	
		3	34,75	34,88	149,00	
	HAZ	1	32,63	32,82	171,60	161,90
		2	34,63	35,32	159,90	
		3	35,44	36,00	154,20	
	L.Induk	1	38,25	38,75	128,90	121,77
		2	39,57	39,88	120,80	
		3	40,38	40,00	115,60	

KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI UNIVERSITAS BRAWIJAYA LAB PENGUJIAN BAHAN FAKULTAS TEKNIK

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

LABORATORIUM PENGUJIAN BAHAN

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

Spesimen Tanpa Chamfer

Spesiment	Daerah	Titik	D_1	D_2	HV	X.HV
0mm ; 40 detik	L.Las	1	37,32	36,88	133,70	158,13
		2	31,88	32,32	179,70	
		3	34,69	35,44	161,00	
	HAZ	1	33,88	34,69	169,00	170,67
		2	33,19	34,00	171,00	
		3	31,44	31,82	172,00	
	L.Induk	1	36,69	36,38	127,30	123,90
		2	38,69	39,32	124,30	
		3	37,07	36,88	120,10	
0mm ; 60 detik	L.Las	1	37,94	37,75	126,40	123,13
		2	37,50	38,13	125,20	
		3	39,63	39,75	117,80	
	HAZ	1	39,88	40,50	120,80	149,23
		2	39,75	39,50	118,90	
		3	32,00	33,00	208,00	
	L.Induk	1	32,82	33,32	118,25	120,57
		2	32,94	33,75	121,00	
		3	32,19	32,75	122,45	

Logam Induk / *Base Metal*

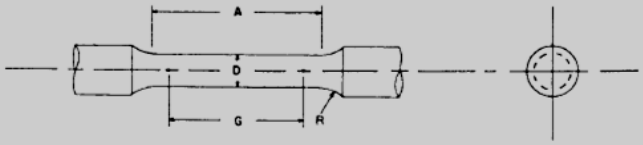
Titik	D_1	D_2	HV	X HV
1	24,19	24,13	318,70	296,90
2	25,13	25,32	292,30	
3	25,69	26,32	279,70	

Malang, 31 Juli 2015
Ka. Lab. Pengujian Bahan

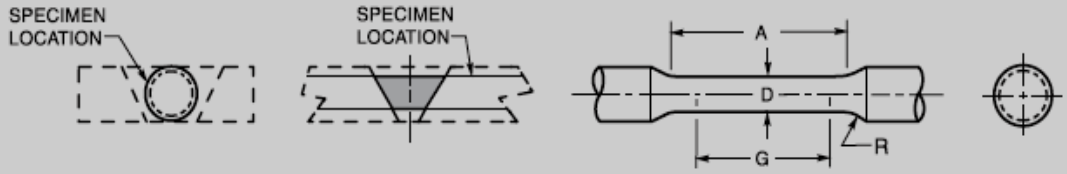
Ir. Erwin Sulistyo, MT.
NIP. 19661213 199802 1 001

Lampiran 9

E 8



	Dimensions				
	Standard Specimen	Small-Size Specimens Proportional to Standard			
	in.	in.	in.	in.	in.
Nominal Diameter	0.500	0.350	0.250	0.160	0.113
G—Gage length	2.000 ± 0.005	1.400 ± 0.005	1.000 ± 0.005	0.640 ± 0.005	0.450 ± 0.005
D—Diameter (Note 1)	0.500 ± 0.010	0.350 ± 0.007	0.250 ± 0.005	0.160 ± 0.003	0.113 ± 0.002
R—Radius of fillet, min	⅜	¼	3/16	5/32	3/32
A—Length of reduced section, min (Note 2)	2¼	1¾	1¼	¾	⅝



	Dimensions				
	Standard Specimen	Small-size specimens proportional to standard specimen			
Nominal Diameter	in (mm) 0.500 (13)	in (mm) 0.350 (9)	in (mm) 0.250 (6)	in (mm) 0.160 (4)	in (mm) 0.113 (3)
G. gage length	2.000 ± 0.005 (50 ± 0.127)	1.400 ± 0.005 (35 ± 0.127)	1.000 ± 0.005 (25 ± 0.127)	0.640 ± 0.005 (16 ± 0.127)	0.450 ± 0.005 (12 ± 0.127)
D. diameter	0.500 ± 0.010 (13 ± 0.25)	0.350 ± 0.007 (9 ± 0.18)	0.250 ± 0.005 (6 ± 0.127)	0.160 ± 0.003 (4 ± 0.08)	0.113 ± 0.002 (3 ± 0.05)
R. radius of fillet, min.	3/8 (10)	1/4 (6)	3/16 (5)	5/32 (4)	3/32 (2.4)
A. length of reduced section, min.	2-1/4 (60)	1-3/4 (44)	1-1/4 (32)	3/4 (20)	5/8 (15)

Notes:

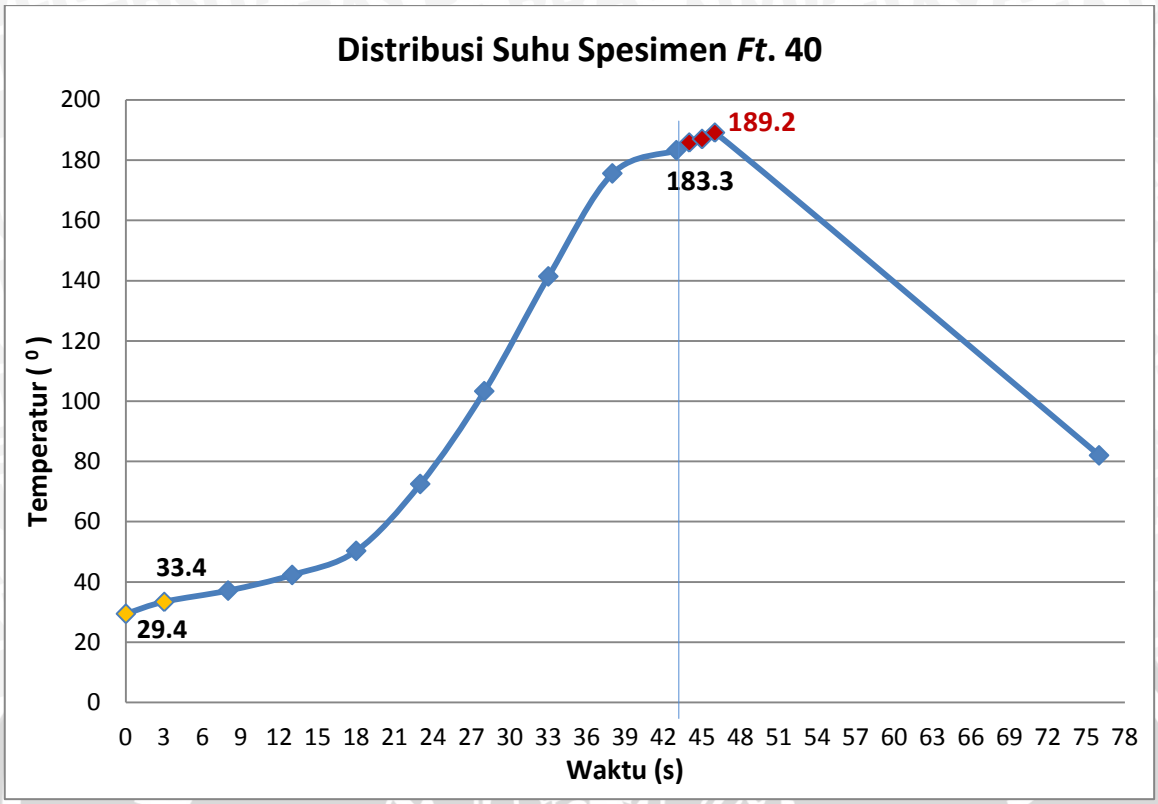
1. The reduced section may have a gradual taper from the ends toward the center with the ends not more than 1% larger in diameter than the center (controlling dimension).
2. If desired, the length of the reduced section may be increased to accommodate an extensometer of any convenient gage length. Reference marks for the measurement of elongation should nevertheless be spaced at the indicated gage length.
3. The gage length and fillets shall be as shown but the ends may be of any form to fit the holders of the testing machine in such a way that the load shall be axial. If the ends are to be held in wedge grips it is desirable to make the length of the grip section great enough to allow the specimen to extend into the grips a distance equal to 2/3 or more of the length of the grips.
4. The use of specimens smaller than 0.250 in (6 mm) diameter shall be restricted to cases when the material to be tested is of insufficient size to obtain larger specimens or when all parties agree to their use for acceptance testing. Smaller specimens require suitable equipment and greater skill in both machining and testing.
5. For transverse weld specimens, the weld shall be approximately centered between gage marks.
6. Any standard thread is permissible that provides for proper alignment and aids in assuring that the specimen will break within the reduced section.
7. On specimen 5 (see page 6), it is desirable to make the length of the grip section sufficient to allow the specimen to extend into the grips a distance equal to 2/3 or more of the length of the grips.
8. The use of UNF series of threads [3/4 in (19 mm) by 16, 1/2 in (13 mm) by 20, 3/8 in (10 mm) by 24, and 1/8 in (3 mm) by 28] is recommended for high-strength, brittle materials to avoid fracture in the threaded portion.
9. Surface finish within the gage length shall be no rougher than 63 microinches (1.6 micrometers) R_a.
10. On the round specimens in this figure, the gage lengths are equal to 4 times the nominal diameter. In some product specifications other specimens may be provided for but unless the 4:1 ratio is maintained within dimensional tolerances, the elongation values may not be comparable with those obtained from the standard test specimen. Note that most metric based codes use a 5:1 ratio of gage length to diameter.

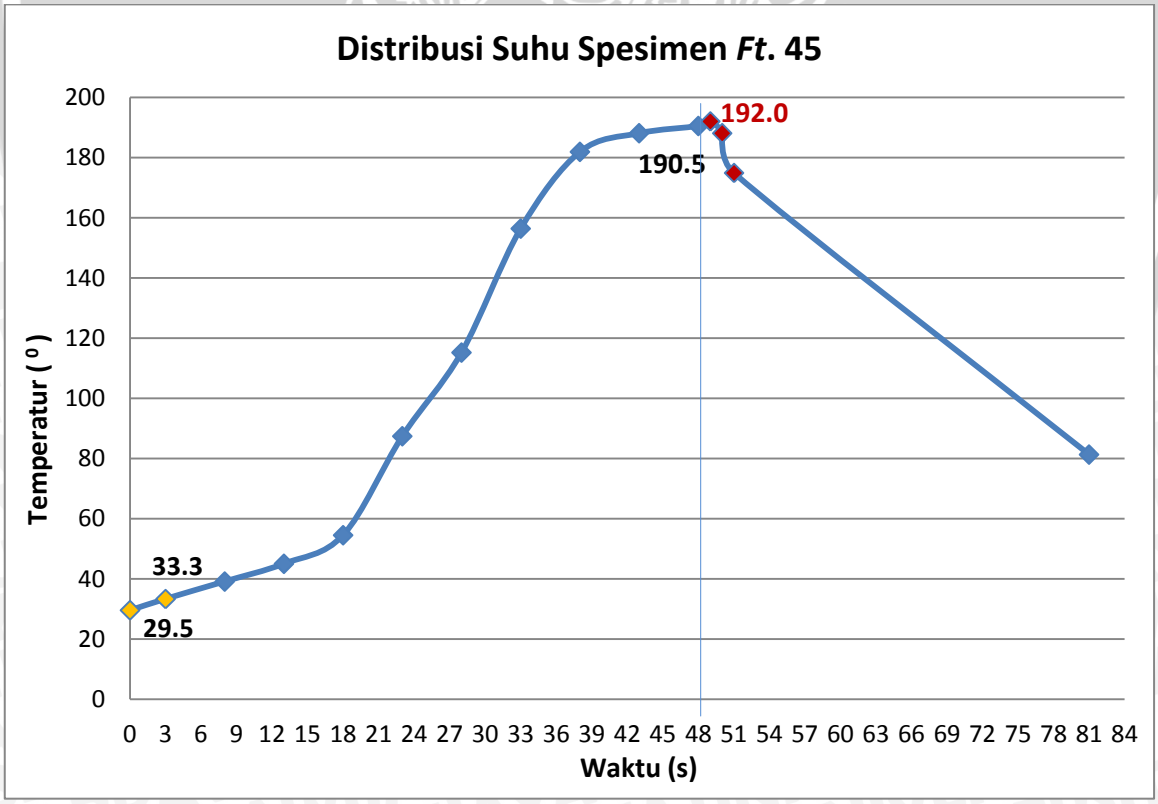
Figure 4.1—Round Tensile Specimens

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Spesimen *Friction Time* 40 Detik			
Parameter Las	**t (s)**	**F (Kgf)**	**T (^{0})**
Tekanan Awal	0"	0 - 150	29.4
	3"		33.4
Friction Time	*5*" / 8"	150	37.1
	10" / 13"		42.3
	15" / 18"		50.3
	20"/ 23"		72.5
	25" / 28"		103.3
	30" / 33"		141.4
	35" / 38"		175.6
	40" / 43"		183.3
Tekanan Tempa	44"	150 - 200	185.9
	45"		187.0
	46"		**189.2**
Waktu Tempa	76"	200	82.0
	106"		57.9
	136"		46.9
	166"		41.0

Spesimen *Friction Time* 45 Detik			
Parameter Las	**t (s)**	**F (Kgf)**	**T (^{0})**
Tekanan Awal	0"	0 - 150	29.5
	3"		33.3
Friction Time	*5*" / 8"	150	39.1
	10" / 13"		45.0
	15" / 18"		54.5
	20"/ 23"		87.4
	25" / 28"		115.2
	30" / 33"		156.4
	35" / 38"		181.9
	40" / 43"		188.1
	45" / 48"		190.5
Tekanan Tempa	49"	150 - 200	**192.0**
	50"		188.0
	51"		174.9
Waktu Tempa	81"	200	81.3
	111"		56.7
	141"		44.7
	171"		39.6


Distribusi Suhu Spesimen *Ft*. 40
Temperatur (⁰)
Waktu (s)
189.2
183.3
33.4
29.4
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
200
0 3 6 9 12 15 18 21 24 27 30 33 36 39 42 45 48 51 54 57 60 63 66 69 72 75 78


Distribusi Suhu Spesimen *Ft*. 45
Temperatur (⁰)
Waktu (s)
192.0
190.5
33.3
29.5
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
200
0 3 6 9 12 15 18 21 24 27 30 33 36 39 42 45 48 51 54 57 60 63 66 69 72 75 78 81 84

Lampiran 12

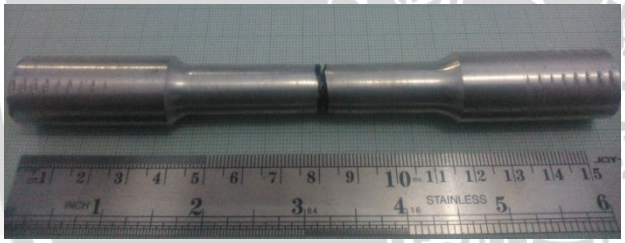
Spesimen Tinggi Chamfer 1 mm

- *Friction Time* 40 Detik

- *Friction Time* 45 Detik

- *Friction Time* 50 Detik

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

❖ *Friction Time* 55 Detik

❖ *Friction Time* 60 Detik