



**VARIASI KECEPATAN PUTAR DAN TEKANAN TEMPA PADA FRICTION
WELDING TERHADAP SIFAT MEKANIK AL 6061**

SKRIPSI

Oleh :
Yudhistian Angga R
NIM 111910101048

**PROGRAM STUDI STRATA-1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2016**



**VARIASI KECEPATAN PUTAR DAN TEKANAN TEMPA PADA FRICTION
WELDING TERHADAP SIFAT MEKANIK AL 6061**

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh :

Yudhastian Angga R
NIM 111910101048

**PROGRAM STUDI STRATA-1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2016**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ayahanda Edi Subroto dan Ibunda Dwi susiami tercinta yang senantiasa memberikan semangat, dorongan, kasih sayang dan pengorbanan yang tiada batas hingga saat ini, serta doa yang tiada hentinya beliau haturkan dengan penuh keikhlasan hati;
2. Adik saya tercinta Yudhistian Anggi R yang selalu memberikan semangat;
3. Dosen pembimbing skripsi Bapak Sumarji, S.T., M.T. dan Bapak M. Fahrur Rozy H., S.T., M.T. yang selalu setia membimbing dan memberi masukan kepada saya dalam penyusunan dan penulisan skripsi ini.
4. Seluruh dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang senantiasa memberikan ilmunya. Semoga ilmu yang kalian berikan bermanfaat dan barokah untukku dan untuk kalian serta menjadi amalan penolong kalian kelak;
5. Saudaraku Teknik Mesin angkatan 2011 Universitas Jember, M. Syaifudin Ihsan, Dahlaz Dzuhro, Bangkit Nurul Akmal, Febrian Rhama Putra, Farihen, Saddam Husein, M. Agung Fauzi, Muhammad Mukri, Arief Hidayatullah, Shofiyan Lesmana Anton Cahyono, Muslih Muhammad Asa, Imron Rosyadi Octora Rosyadi, Achmad Alifiyan Sobirin, Sofyan Lesmana, Angga Rahmanto, Pemi Juni Setiawan, Luki Agung Prayitno, Irsyadul Absor, M. Arif Ramdhoni, Mei Novan Dani Setyopambudi, Ahmad Sofyan Hadi, Mar'iy Muslih Muttaqin, Muhammad Asrofi, Faisal Karamy, Yohanes Kristian, Ahmad Amril Nurman, Adam Malik, Setyo Pambudi, Muhammad Kahlil Gibran, Dwi sujatmiko, Sigit Jatmiko, Rizki Erizal, Febri Anggih Setiawan, Nurudin Hamid, Wildan Gobez, Wildan Didi, Hegar, Dimas Triadi, Annas Widadtyawan Firdaus, Jupri, Niko Putra Karuniawan, Agung Widodo, Arisyabana, Lutfi Hilman, Naufal Firas, Dani Bachtiar, Anugrah V Ilannuri, Aunur Rofik, Agus Widiyanto, M. Mirza Rosid Sudrajat, Tito Diaz, Itok Denis, Hendri, Hanif Rahmat, Hanif Hermawan,

Muhammad Abduh, Hafid, Yulius, Erda, Saiful Rizal, Adi, Wildan, Aryo Kristian, Yurike Elok Purwanti, Aisyatul Khoiriyah, Novia Dwi Triana, Kiki Ermawati, Ikawati, Upit Fitria, dan lain-lain, yang selalu memberikan motivasi dan semangat persaudaraan selama perkuliahan hingga saat ini dan teruslah bersaudara hingga kita bisa berbagi kesenangan dan kebahagiaan lagi di surganya kelak, panjang umur dan berbahagialah kalian;

6. Aulia Nurmadiyanti, S.Kg yang tak kenal lelah untuk selalu memberi semangat, motivasi serta doa disetiap kegiatan akademik maupun non akademik saya;
7. Lukman Taufik T. H., S.Kom., Mira Yunita A. A., Izal yang sudah memberikan dorongan serta motivasi semasa kuliah.
8. Seluruh civitas akademik baik di lingkungan UNEJ maupun seluruh instansi pendidikan, perusahaan dan lembaga terkait.

MOTTO

“Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman diantaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat.”

(Al-Quran Surat Al-Mujadalah ayat 11)

“Dua hal yang tiada bandingannya dalam keutamaan, yaitu beriman kepada Allah, dan bermanfaat kepada kaum muslimin. Dan dua hal (pula) tiada bandingannya dalam keburukan, yaitu menyekutukan Allah dan berbuat aniaya (merugikan) kaum muslimin.”

(Nabi Muhammad S.A.W)

“Education is not the learning of facts, but the training of the mind to think.”

(Albert Einstein)

“jika kamu penat dengan ekosistem yang kamu pijak, pergilah ke surga dunia ini yang telah diciptakan oleh Tuhanmu”

(Edi Subroto)

“Traveling itu yang paling penting perjalanannya, bertemu dengan orang baru dan mengenal berbagai karakter orang. Tempat tujuan itu bonus dan hadiah dari perjalannya.”

(Komikazer)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yudhistian Angga Rahmanto

NIM : 111910101048

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “**VARIASI KECEPATAN PUTAR DAN TEKANAN TEMPA PADA FRICTION WELDING TERHADAP SIFAT MEKANIK AL 6061**” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 13 April 2016
Yang menyatakan,

(Yudhistian Angga Rahmanto)
NIM 111910101048

SKRIPSI

***VARIASI KECEPATAN PUTAR DAN TEKANAN TEMPA PADA FRICTION
WELDING TERHADAP SIFAT MEKANIK AL6061***

Oleh

Yudhastian Angga Rahmanto

111910101048

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Sumarji, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Fahrur Rozy H., S.T., M.T

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Variasi Kecepatan Putar Dan Tekanan Tempa Pada Friction Welding Terhadap Sifat Mekanik Al6061” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Rabu, 13 April 2016

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguii.

Ketua,

Sekretaris,

Sumarji, S.T., M.T.
NIP 196812051997021002

M. Fahrur Rozy H., S.T., M.T.
NIP 198003072012121003

Anggota I,

Anggota II,

Dr. Salahudin Junus, S.T., M.T.
NIP 1975100620022001

Aris Zainul Mutaqin, S.T., M.T.
NIP 196812071995121002

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM.
NIP 196612151995032

RINGKASAN

Variasi kecepatan putar dan tekanan tempa pada friction welding terhadap sifat mekanik al 6061; Yudhistian angga rahmanto, 111910101048; 2016; 44 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Aluminium 6061 adalah salah satu jenis material aluminium yang banyak digunakan dalam dunia industri. Metode yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan penyambungan aluminium adalah *friction welding*. Pada *friction welding* proses penyambungan logam terjadi tanpa pencairan (solid state process), yang mana proses pengelasan terjadi sebagai akibat penggabungan antara laju putaran salah satu benda kerja dengan gaya tekan yang dilakukan oleh benda kerja yang berputar.

Metode *friction welding* ini mempunyai beberapa parameter penting yang dapat mempengaruhi sifat mekanik dan struktur mikro hasil lasan. Parameternya antara lain : waktu gesek, kecepatan putar, tekanan gesek, tekanan tempa dan sudut *chamfer*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari variasi tekanan tempa dan kecepatan putar terhadap sifat mekanik dari aluminium 6061.

Hasil pengujian tarik tertinggi diperoleh dari variasi 1000 rpm dengan tekanan tempa 60Mpa dengan nilai sebesar 126,80 N/mm². Sementara hasil pengujian tarik terendah diperoleh dari variasi 600 rpm dengan tekanan tempa 50Mpa sebesar 16,22 N/mm². Hasil pengujian kekerasan tertinggi diperoleh dari variasi 1000 rpm dengan tekanan tempa 60Mpa dengan nilai masing-masing *Zud* 68 BHN, *Zpd* 121 BHN dan *Zpl* 89 BHN.

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT. atas segala rahmat dan karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “pengaruh *viscoelasticity* terhadap nilai *rolling resistance* pada ban radial”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT. yang telah memberikan nikmat dan karunia yang tidak pernah henti dapat penulis rasakan setiap detik dalam hidup ini.
2. Ayahanda Edi Subroto dan Ibunda Dwi Susiami tercinta yang senantiasa memberikan semangat, dorongan, kasih sayang dan pengorbanan yang tiada batas hingga saat ini sertadoa yang tiada hentinya beliau haturkan dengan penuh keikhlasan;
3. Adik saya Yudhistian Anggi Rahmanto yang selalu setia menyemangati serta memberikan motivasi.
4. Pahlawan tanpa tanda jasa saya sejak taman kanak-kanak, sekolah dasar, sekolah menengah pertama, hingga sekolah menengah akhir yang telah bersedia mendidik dan berbagi ilmu.
5. Dosen tersabar Bapak Sumarji, S.T., M.T. dan Bapak M. Fahrur Rozy H., S.T., M.T. yang rela meluangkan waktunya untuk membimbing sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
6. Bapak Dr. Agus Triono, S.T., M.T. dan Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T. selaku dosen penguji yang tak lelah memberikan kritik dan saran sehingga penelitian dan penulisan ini menjadi lebih baik.
7. Bapak Fx. Kristianta, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing akademik saya

8. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang senantiasa memberikan ilmunya. Semoga ilmu yang Bapak/Ibu berikan bermanfaat dan barokah untukku dan untuk pribadi masing-masing serta menjadi amalan penolong Bapak/Ibu kelak;
9. Saudaraku TeknikMesin 2011 Universitas Jember yang selalu memberikan motivasi dan semangat persaudaraan selama perkuliahan hingga saat ini dan teruslah bersaudara hingga kita bisa berbagi kesenangan dan kebahagiaan lagi di surga-NYA kelak, panjang umur dan berbahagialah saudaraku;
10. Seduluran Teknik, asisten lab serta adik-adik angkatan yang dirasa membantu dalam proses kuliah dan kehidupan.
11. Orang terkasih Aulia Nurmadiyanti S.Kg yang tak kenal lelah untuk selalu memberi semangat, motivasi serta doa disetiap kegiatan akademik maupun non akademik saya;
12. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, 13 April 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERSEMBAHAN	ii
MOTTO	iv
PERNYATAAN	v
PEMBIMBING	vi
PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan dan Manfaat	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Pengelasan	4
2.2 Jenis-Jenis pengelasan	5
2.2.1 SMAW (<i>Shielding Metal Arc Welding</i>)	5
2.2.2 Elektroda Terbungkus	5
2.2.3 Las TIG	6
2.2.4 Linier Friction Welding.....	7
2.2.5 Friction Welding	9

2.3 Material	12
2.3.1 Aluminium	12
2.3.2 Paduan AL-mg-si	12
2.3.3 Mampu las aluminium.....	14
2.3.4 Al 6061	15
2.4 Pengujian Tarik	17
2.4.1 Perilaku mekanik Material	18
2.4.2 Metode perpatahan material	23
2.5 Pengamatan Metalografi	24
2.5.1 <i>Cutting</i> (Pemotongan)	24
2.5.2 <i>Mounting</i>	25
2.5.3 <i>Grinding</i> (pengamplasan).....	26
2.5.4 <i>Polishing</i> (pemolesan).....	26
2.5.5 <i>Etching</i> (etsa).....	27
2.6 Pengujian kekerasan	28
2.6.1 Metode Indentasi	29
2.6.2 Metode Brinnel.....	30
2.7 Hipotesa	32
BAB 3. METODE PENELITIAN	32
3.1 Metode Penelitian	32
3.2 Tempat dan Waktu	32
3.3 Alat dan Bahan	32
3.3.1 Bahan	32
3.3.2 Alat.....	33
3.4 Variabel Penelitian	33
3.4.1 Variabel Bebas	33
3.4.2 Variabel Terikat	33
3.4.3 Variabel Kontrol	34
3.5 Proses Pengelasan	34

3.6 Proses Pengujian	35
3.6.1 Pengujian Tarik.....	35
3.6.2 Pengujian Kekerasan.....	37
3.7 Teknik Penyajian Data	38
3.8 Diagram Alir Penelitian	39
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	40
4.1 Hasil Pengamatan makro dan mikro	40
4.1.1 Pengamatan makro.....	40
4.1.2 Perpatahan benda kerja	43
4.1.3 Pengamatan Mikro	46
4.2 Hasil dan Pembahasan Uji Tarik	49
4.3 Hasil dan Pembahasan Uji Kekerasan	51
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	57
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN	63

DAFTAR TABEL

2.1 Karakteristik Al.....	16
3.1 Parameter pengujian.....	35
3.2 Rancangan data hasil uji tarik	36
3.3 Perencanaan uji kekerasan	37
4.1 Komposisi kimia AA 6061.....	47
4.2 Rata-rata hasil pengujian tarik.....	49
4.3 Hasil Pengujian Kekerasan tekanan tempa 50 Mpa	53
4.4 Hasil Pengujian Kekerasan tekanan tempa 50 Mpa	53

DAFTAR GAMBAR

2.1 <i>Linier friction welding</i>	7
2.2 <i>Stir friction welding</i>	8
2.3 Proses <i>friction welding</i>	10
2.4 Diagram fasa paduan Al-Mg ₂ Si	14
2.5 Spesimen uji tarik	17
2.6 Kurva tegangan-regangan dari baja ulet	18
2.7 Kurva tegangan-regangan dari bahan getas	20
2.8 Bentuk perpatahan benda uji tarik	23
2.9 Hubungan antara kekerasan dan kekuatan tarik	29
2.10 Skematis prinsip indentasi dengan metode Brinell	30
2.11 Hasil indentasi Brinell.....	31
3.1 Skema alat <i>Friction Welding</i>	34
3.2 Diagram Alir Penelitian	39
4.1 Foto makro dengan variasi 50 Mpa / 600 rpm	40
4.2 Foto makro dengan variasi 60 Mpa / 600 rpm	41
4.3 Foto makro dengan variasi 50 Mpa / 800 rpm	41
4.4 Foto makro dengan variasi 60 Mpa / 800 rpm	42
4.5 Foto makro dengan variasi 50 Mpa / 1000 rpm	42
4.6 Foto makro dengan variasi 60 Mpa / 1000 rpm	43
4.7 Hasil patahan uji tarik	46
4.8 grafik nilai rata-rata uts	50
4.9 Grafik hasil pengujian kekerasan tekanan tempa 50 Mpa.....	54
4.10 Grafik hasil pengujian kekerasan tekanan tempa 60 Mpa.....	54

DAFTAR LAMPIRAN

A.1 Alat dan Bahan	61
A.2 Hasil pembuatan spesimen	64



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada zaman moderen seperti sekarang ini perkembangan industri manufaktur berkembang secara cepat terutama dalam bidang pengelasan logam. Pengelasan logam sangat berperan penting dalam industri manufaktur, khususnya pengelasan gesek (*friction welding*). Pengelasan gesek adalah penyambungan logam dengan cara memanfaatkan panas yang ditimbulkan akibat dari adanya gesekan antara permukaan dua buah benda yang saling bersinggungan dan mendapatkan tekanan dari panas yang didapat maka akan mencairkan kedua permukaan yang bersinggungan.

Tidak semua material mudah dilakukan proses penyambungan logam dengan cara pengelasan gesek. Salah satu bahan yang banyak digunakan dalam proses pengelasan gesek adalah aluminium, tembaga, baja paduan dan sebagainya. Dalam dunia industri manufaktur penggunaan material aluminium dengan seri 6061 sangat sering digunakan karena aluminium dengan seri ini memiliki keuletan yang baik, tahan retakan dan tahan korosi (M. Marini, 2011). Pada pengelasan gesek proses penyambungan logam terjadi tanpa pencairan (*solid state process*), yang mana proses pengelasan terjadi akibat penggabungan antara laju putaran salah satu benda kerja dengan gaya tekan yang dilakukan oleh benda kerja yang berputar.

Hadi (2011) dalam penelitiannya melakukan pengelasan gesek pada material aluminium paduan dan menyimpulkan bahwa kekuatan tarik dan regangan dari hasil lasan mengalami penurunan dari logam induknya.

Adapun parameter penting dalam proses pengelasan gesek meliputi waktu gesek, tekanan gesek, kecepatan putar, waktu tempa dan tekanan tempa. Waktu gesek dan tekanan tempa akan mempengaruhi nilai hasil kekuatan tarik pada proses pengelasan gesek. Jika kita memberikan waktu yang singkat untuk proses pengelasan gesek, maka nilai kekuatan tarik yang akan di dapat kecil. Begitupun kalau waktu pengelasan terlalu lama maka nilai impak yang di peroleh akan kecil.

Adi (2014) dalam penelitiannya sifat dari aluminium yang merupakan logam ringan, yang memiliki kekuatan, ketahanan terhadap korosi, sebagai konduktor panas dan listrik yang sangat baik, dan mudah dalam pembentukan. Penggunaan aluminium dalam industri banyak digunakan dalam industri pesawat terbang, perkapalan, peralatan rumah tangga, dan konektor listrik.

Dari beberapa penelitian diatas para peneliti hanya melakukan penelitian pada satu variasi parameter saja yaitu variasi pada waktu gesek saja atau variasi pada pemberian tekanan saja. Oleh karena itu peneliti bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi dari dua parameter yaitu kecepatan dan tekanan tempa terhadap sifat mekanik dari aluminium paduan Al-Mg-Si.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan diantaranya adalah :

1. Bagaimana kekuatan tarik dari hasil pengelasan *Friction Welding* Aluminium paduan Al-Mg-Si dengan variasi kecepatan putar dan tekanan tempa?
2. Bagaimana sifat kekerasan hasil pengelasan *Friction Welding* Aluminium paduan Al-Mg-Si dengan variasi kecepatan putar dan tekanan tempa
3. bagaimanakah struktur mikro hasil pengelasan *Friction Welding* Aluminium paduan Al-Mg-Si dengan variasi kecepatan putar dan tekanan tempa?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat mencapai tujuan yang diinginkan, maka batasan masalah yang diberikan adalah sebagai berikut :

1. Tidak membahas distribusi temperatur pada proses pengelasan gesek.
2. Tegangan sisa yang terjadi pada proses pengelasan diabaikan.
3. Kekasaran permukaan benda kerja homogen.
4. Gesekan yang terjadi pada pengukur tekanan diabaikan.
5. Proses dilakukan pada suhu kamar (30⁰c)

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang akan diteliti, tujuan yang ingin dicapai diantaranya adalah :

1. Mengetahui pengaruh variasi kecepatan putar dan tekanan tempa terhadap kekuatan tarik sambungan pengelasan gesek pada Aluminium paduan Al-Mg-Si.
2. Mengetahui pengaruh variasi kecepatan putar dan tekanan terhadap kekerasan sambungan *Friction Welding* pada Aluminium paduan Al-Mg-Si.
3. Mengetahui pengaruh variasi kecepatan putar dan tekanan terhadap struktur mikro sambungan *Friction Welding* pada Aluminium paduan Al-Mg-Si.

1.5 Manfaat Penelitian

Setelah dilakukan penelitian ini diharapkan dapat membawa manfaat, diantaranya adalah :

1. Dapat mengaplikasikan teori yang didapat selama perkuliahan khususnya yang berhubungan dengan pengelasan logam.
2. Memberikan informasi mengenai alternatif penyambungan aluminium yang mudah dan murah.
3. Sebagai usaha pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang terus berkembang seiring dengan perkembangan zaman.
4. Sebagai dasar acuan sehingga dapat dilakukan penelitian lebih lanjut.

1.6 Hipotesa

Hipotesa awal penelitian ini adalah semakin besar putaran spindle pada proses pengelasan yang diberikan maka akan mempengaruhi panas akibat dari gesekan yang timbul dan akan mempengaruhi kekuatan dari sambungan yang dihasilkan, dan semakin besar tekanan tempa yang diberikan pada saat setelah proses berlangsung maka akan mempengaruhi nilai kekerasan pada sambungan las.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengelasan

Dalam perkembangan dunia industri (johnny, 2010) dalam penelitiannya dari tahun 1950 sampai sekarang telah ditemukan cara las baru, antara lain: las tekan dingin, las listrik terak, las busur dengan pelindung gas CO₂, las gesek, las ultrasonik, las sinar electron, las busur plasma, las laser, dan masih banyak metode las lainnya.

Pengelasan adalah suatu proses penyambungan logam sejenis ataupun beda jenis dimana logam akan menjadi satu. Penyambungan logam ini dengan proses mencairkan logam induk dan logam pengisi ataupun tanpa logam pengisi dan menghasilkan sambungan yang kontinu.

Menurut (angger, 2012), Las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan cair. Penggolongan jenis las menurut cara kerjanya dibagi dalam:

1. Pengelasan cair

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

2. Pengelasan tekan

Pengelasan dimana sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu.

3. Pematrian

Pengelasan dimana sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah, logam induk tidak ikut mencair

2.2 Jenis – Jenis Pengelasan

Ada banyak jenis proses pengelasan yang bisa digunakan guna menyambungkan material dengan kontinu. Ada dua metode yang dilakukan yaitu pengelasan tanpa logam pengisi dan dengan logam pengisi, antara lain:

- a. SMAW (*Shielding Metal Arc Welding*)
- b. Elektroda terbungkus
- c. Las Wolfram Gas Mulia (Las TIG)
- d. *Linier Friction Welding*
- e. *Friction stir welding*
- f. *Friction welding*

2.2.1 SMAW (*Shielding Metal Arc Welding*)

Menurut (Joko. S, 2006) mesin las SMAW menurut arusnya dibedakan menjadi tiga macam yaitu mesin las arus searah atau *Direct Current* (DC), mesin las arus bolak-balik atau *Alternating Current* (AC) dan mesin las arus ganda yang merupakan mesin las yang dapat digunakan untuk pengelasan dengan arus searah (DC) dan pengelasan dengan arus bolak-balik (AC). Mesin Las arus DC dapat digunakan dengan dua cara yaitu polaritas lurus dan polaritas terbalik. Mesin las DC polaritas lurus (DC-) digunakan bila titik cair bahan induk tinggi dan kapasitas besar, untuk pemegang elektrodanya dihubungkan dengan kutub negatif dan logam induk dihubungkan dengan kutub positif, sedangkan untuk mesin las DC polaritas terbalik (DC+) digunakan bila titik cair bahan induk rendah dan kapasitas kecil, untuk pemegang elektrodanya dihubungkan dengan kutub positif dan logam induk dihubungkan dengan kutub negatif.

2.2.2 Elektroda Terbungkus

Pengelasan dengan menggunakan las busur listrik memerlukan kawat las (elektroda) yang terdiri dari satu inti terbuat dari logam yang dilapisi lapisan dari campuran kimia. Fungsi dari elektroda sebagai pembangkit dan sebagai bahan tambah. Elektroda terdiri dari dua bagian yaitu bagian yang berselaput (*fluks*) dan

tidak berselaput yang merupakan pangkal untuk menjepitkan tang las. Fungsi dari *fluks* adalah untuk melindungi logam cair dari lingkungan udara, menghasilkan gas pelindung, menstabilkan busur. Bahan *fluks* yang digunakan untuk jenis E7018 adalah serbuk besi dan hidrogen rendah. Jenis ini kadang disebut jenis kapur. Jenis ini menghasilkan sambungan dengan kadar hidrogen rendah sehingga kepekaan sambungan terhadap retak sangat rendah, ketangguhannya sangat memuaskan. Hal yang kurang menguntungkan adalah busur listriknya kurang mantap, sehingga butiran yang dihasilkan agak besar dibandingkan jenis lain. Dalam pelaksanaan pengelasan memerlukan juru las yang sudah berpengalaman. Sifat mampu las *fluks* ini sangat baik maka biasa digunakan untuk konstruksi yang memerlukan tingkat pengaman tinggi.

2.2.3 Las Wolfram Gas Mulia (Las TIG)

Pengelasan *Tungsten Inert Gas* (TIG) adalah salah satu pengelasan yang memiliki kelebihan dari berbagai macam proses pengelasan yang membutuhkan kepresisian dan mutu yang baik. Pengelasan TIG banyak digunakan untuk pengelasan pelat tipis karena pembentukan busur yang kecil dan area yang dipanasi menjadi minimal sehingga mengurangi masalah penggunaan energi listrik dan distorsi pada pelat. Pada penelitian ini dilakukan percobaan dengan meletakkan *solenoid* magnetik di sekeliling obor las TIG. (Harsono Wirjosumarto, 2000).

Pada proses pengelasan TIG logam pengisi dimasukkan ke dalam daerah arus busur, sehingga logam pengisi akan ikut mencair dan terbawa ke logam induk. Tetapi ketika akan melakukan pengelasan dengan material plat yang tipis tidak memerlukan logam pengisi. Bahan penambah berupa batang las, yang dicairkan oleh busur nyala tersebut mengisi kampuh bahan induk. Didalam pengelasan TIG terdapat 4 komponen dasar, yaitu :

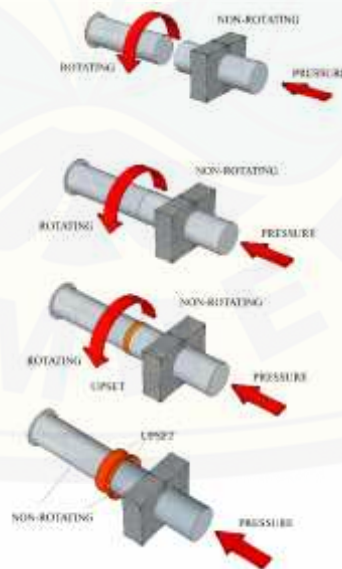
1. Elektroda tak terkonsumsi
2. Sumber arus las
3. Gas pelindung

2.2.4 Linier Friction Welding

Friction welding yang sumber panasnya berasal dari gesekan kedua permukaan benda kerja itu sendiri. Metode las gesek yang memanfaatkan gesekan langsung antara dua permukaan benda kerja yang akan dilas. Mekanisme kerja *linier friction welding* adalah sebagai berikut:

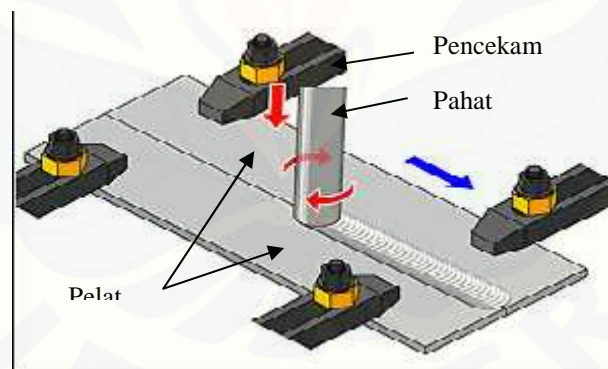
- Terdapat dua bagian benda kerja yang salah satu benda kerjanya berputar *relative* dengan kecepatan tertentu terhadap benda kerja yang lainnya, dimana benda kerja yang satu diberikan tekanan.
- Gesekan antara kedua permukaan akan menghasilkan panas yang akan melelehkan ujung permukaan benda kerja.
- Tekanan terus diberikan hingga lelehan kedua permukaan menyatu dan membentuk sambungan.
- Jika kedua permukaan telah menyatu, putaran dihentikan dan pada sisi tekan diberikan tekanan tambahan untuk mengasilkan sambungan yang sempurna.

Mekanisme kerja *linier friction welding* ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 *Linier Friction Welding*
(P. mikel 2010)

Namun pada kenyataannya, *linier friction welding* masih ada cacat yang terjadi. (angger, 2012) FSW (*friction stir welding*) merupakan sebuah metode pengelasan yang telah ditemukan dan dikembangkan oleh Wayne Thomas untuk benda kerja aluminium dan aluminium alloy pada tahun 1991 di TWI (*The Welding Institute*) Amerika Serikat. Prinsip kerja FSW adalah memanfaatkan gesekan dari benda kerja yang berputar dengan benda kerja lain yang diam sehingga mampu melelehkan benda kerja yang diam tersebut dan akhirnya tersambung menjadi satu. Proses pengelasan dengan FSW terjadi pada kondisi padat (*solid state joining*). Proses pengelasan dengan FSW terjadi pada *temperature solvus*, sehingga tidak terjadi penurunan kekuatan akibat *over aging* dan larutnya endapan koheren. Karena temperatur pengelasan tidak terlalu tinggi, maka tegangan sisa yang terbentuk dan distorsi akibat panas juga rendah. Karakteristik mekanis sambungan pada FSW ditentukan oleh parameter : waktu pengelasan, putaran, dan tekanan *tool*.



Gambar 2.2 *Stir Friction Welding*
(P. mikel 2010)

Mikell P. Groover (2010) aplikasi dari *friction stir welding* meliputi berbagai proses produksi. *Friction stir welding* digunakan di bidang *aerospace*, otomotif, kereta, dan perkapalan. Jenis sambungan yang digunakan adalah *butt joint*. Logam yang dapat dilas dengan FSW antara lain: aluminium, baja (*steel*), titanium, dan

tembaga. Selain logam ada material lain yang dapat dilas dengan FSW yakni polimer dan komposit. Adapun kelebihan dan kekurangan proses *friction stir welding* adalah sebagai berikut:

1. Kelebihan *friction stir welding* antara lain :
 - a. Sifat mekanis sambungan baik
 - b. Terhindar dari asap beracun
 - c. Hasil pengelasan lebih halus
2. Kekurangan *friction stir welding* antara lain :
 - a. Terdapat lubang pada saat kita menarik tool dari benda kerja.
 - b. Penjepit benda kerja harus kuat

2.2.5 *Friction welding*

Dalam penelitiannya (Adhy P, 2012) pengelasan gesek (*Friction welding*) adalah suatu metode pengalasan yang dilakukan untuk memperoleh hasil lasan dengan cara melakukan penggesekan pada ujung dua bahan las dengan menggunakan alat bantu mesin bubut. Las gesek termasuk jenis penyambungan padat (*forging*).

Dalam penelitiannya (Sigied, 2012) dua benda kerja yang akan disambung ditempatkan dalam kontak dan diatur gerakan relatif dalam tekanan, maka gesekan akan membangkitkan panas disekitar permukaan kontak, ketika sudah mencapai temperatur tempa maka diberikan tekanan tempa. Tetapi proses pengelasan ini pada dasarnya sangat dipengaruhi kecepatan putaran, durasi gesekan dan tekanan aksial (gesek, tempa).

Pada pengelasan gesek, penyambungan terjadi oleh adanya panas yang ditimbulkan oleh gesekan akibat perputaran satu dengan yang lain antara logam-logam induk dibawah pengaruh gaya aksial. Kemudian salah satu diputar sehingga pada permukaan kontak akan timbul panas, bahkan mendekati titik didih logamnya, sehingga permukaan logam didaerah tersebut menjadi plastis

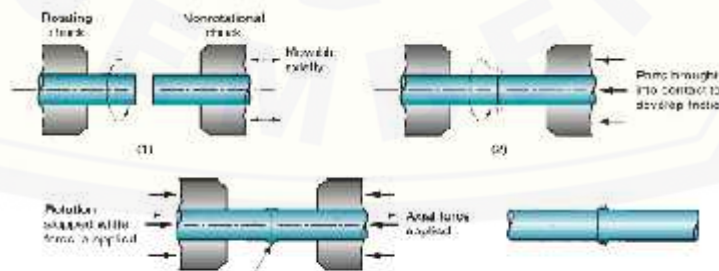
Dalam penelitiannya (Anggara, 2012), menganalisis kekuatan tarik, kekerasan dan struktur mikro hasil pengelasan *linear friction welding* pada aluminium paduan

Al-Mg-Si. Pada penelitian ini digunakan variasi *rotation speed* mesin 800 rpm, 1300 rpm, 1800 rpm. Dalam penelitiannya didapatkan hasil bahwa cacat *porositas* terbesar terdapat pada hasil pengelasan dengan *rotation speed* 1800 rpm. Hasil pengujian tarik terbesar terjadi pada pengelasan dengan menggunakan *rotation speed* 800 rpm sebesar 108.81 MPa. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa logam las kekerasannya lebih rendah daripada logam induk. Rata-rata nilai kekerasan paling besar terjadi pada pengelasan dengan *rotation speed* 800 yaitu 67 BHN.

Dalam penelitiannya (Tiwan, 2005) Panas pengelasan diperoleh dari konversi langsung energi mekanik menjadi energi termal melalui gesekan. Benda tidak memerlukan sumber panas dari listrik atau pembakaran. Panas yang dihasilkan dari proses gesekan antar interface akan menaikkan temperatur benda dalam arah aksial dengan jarak yang relatif sangat pendek. Penyambungan terjadi ketika permukaan *interface* mencapai temperatur dibawah temperatur cair. Pengelasan terjadi akibat pengaruh tekanan pada pencampuran logam plastis.

Dalam gambar 2.3 ditunjukkan tahapan proses pengelasan gesek sebagai berikut :

1. salah satu poros diputar dan poros yang lain dicekam pada *tool post*,
2. kedua poros digesekkan sehingga timbul panas,
3. putaran dihentikan dan poros diberi gaya tekan aksial,
4. sambungan las terbentuk.



Gambar 2.3 proses *friction welding*
(P. mikel 2010)

Tiga daerah hasil pengelasan yang akan kita temui bila kita melakukan pengelasan daerah yang pertama yaitu:

a. Daerah logam las

Daerah logam las adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair kemudian kemudian membeku.

b. Daerah pengaruh panas atau *Heat Affected Zone* (HAZ)

Daerah pengaruh panas atau *heat affected zone* (HAZ) adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat sehingga daerah ini yang paling kritis dari sambungan las.

c. Logam induk

Logam induk adalah bagian logam dasar di mana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat.

Dalam penelitiannya (Adhy P, 2012) pada proses *friction welding* mempunyai 3 varian, yaitu: putar, *linear* dan *orbital*. Pengelasan *rotary* gesekan adalah metode paling lama dan paling populer di mana salah satu komponen diputar pada porosnya sementara yang lain tetap diam. Maka dua komponen dibawa bersama di bawah tekanan gesekan. Tergantung pada cara dimana energi rotasi diubah menjadi panas gesekan.

Dalam penelitiannya (Tiwan 2005) Gaya penekanan diperlukan untuk meningkatkan gaya gesek. Semakin tinggi gaya tekan maka akan menimbulkan gaya gesek yang semakin besar. Dengan gaya gesek yang semakin besar maka akan menimbulkan panas yang semakin pbesar pula. Di samping itu gaya tekan diperlukan untuk mendapatkan hasil penyambungan yang rapat dan kuat. Kualitas permukaan dituntut untuk bersih dan rata agar bidang selama proses gesekan terjamin baik. Untuk itu tingkat kehalusan permukaan perlu diperhatikan. Dengan permukaan yang halus dan rata maka akan diperoleh bidang kontak yang baik.

2.2.6 pengelasan khusus alumunium

Alumunium merupakan material yang banyak digunakan dalam industry, tetapi susah untuk dilakukan proses pengelasan. Adapun beberapa proses yang dapat dilakukan pengelasan untuk material aluminium sendiri adalah:

1. Dalam penelitiannya (Yunaidi,2013) tentang pengelasan TIG pada al 6061 Al 6061-T6 merupakan salah satu jenis paduan aluminium Al-Mg-Si yang dapat diberi perlakuan panas (heat-treatable alloys), mempunyai kekuatan tarik sedang dan sifat mampu las (weldability) yang relatif baik. Paduan ini banyak digunakan pada struktur kapal, kendaraan, dan pesawat karena ringan dan kekuatan tarik (strength to weight ratio) tinggi. Dalam proses pabriasi, metode penyambungan Al 6061-T6 yang paling banyak dipakai saat ini adalah dengan proses pengelasan terutama las MIG dan TIG. Masalah yang sering dijumpai bila menggunakan metode pengelasan adalah kecenderungan bahan mengalami perubahan dimensi (distortion) terutama untuk bahan yang tipis, karena tegangan sisa yang muncul akibat proses pengelasan sehingga akan menurunkan sifat mekanik sambungan las. Beberapa faktor penting yang mempengaruhi tegangan sisa dan distorsi pada proses pengelasan yaitu siklus termal las, sifat bahan, ketebalan plat, dan bentuk las. Dari beberapa faktor tersebut, siklus termal mempunyai pengaruh yang paling besar terhadap terjadinya tegangan sisa dan distorsi pada struktur las. Siklus termal dan distribusi suhu sangat berhubungan dengan metode pengelasan, heat input, dan kondisi lingkungan. (Sofyan Abdillah,2013) Pengelasan TIG merupakan pengelasan yang berkualitas bagus untuk al 6061, disamping itu juga mempunyai kelebihan yang lain yaitu biaya yang murah dan parameter-parameternya mudah dikontrol. Permasalahan yang muncul adalah terjadinya welding cracking (solidification cracking) selama proses pengelasan. Untuk mengatasi hal ini maka dilakukan heat treatment seperti yang dijelaskan di atas. Variabel yang penting adalah menentukan temperatur dan waktu aging.

2. Dalam penelitiannya (Fery Nurdiansyah,2012) tentang Friction Stir Welding pada al 6061, *Friction stir welding* ditemukan oleh *the welding institute* (UK) pada tahun 1991 sebagai teknik penyambungan secara *solid-state* dan pada pertama kalinya diaplikasikan pada paduan aluminium. Konsep dasar dari proses ini sangat sederhana, dimana *non-consumable rotating tool* dengan desain tertentu digunakan untuk menyambung dua material. *Friction stir welding* adalah proses *solid state*, dimana sebuah tool berbentuk silindris yang memiliki *shoulder* beserta pin yang disisipkan diantara sambungan dua material yang akan disambung. Proses penyambungan terjadi dengan pelunakan *base metal* akibat input panas yang dihasilkan dari gesekan antara pin beserta *shoulder* dengan *base metal*,Panas ini bersama panas yang dihasilkan oleh proses pencampuran mekanis dan panas adiabatik dalam material, menyebabkan material adukan untuk melunak tanpa mencapai titik lelehnya. Dengan kombinasi antara gerak rotasi dan gerak translasi *tool* menyebabkan material yang lunak tersebut berpindah dari sisi depan pin menuju sisi belakang pin sembari menerima tekanan tempa dari pin dan *shoulder*, sehingga terbentuklah sambungan las.

2.3 Material

Material yang di gunakan dalam proses pengelasan gesek beragam. Pada proses pengelasan gesek ini material yang dipilih adalah material yang mempunyai sifat mampu tempa yang baik. Mampu menimbulkan gesekan pada saat dilakukan proses pengelasan berlangsung oleh karena itu material yang disambungkan tidak boleh memiliki sifat getas seperti besi tuang, keramik dan bahan karbida. Maka material yang akan dipilih adalah tembaga, baja paduan dan aluminium, karena sudah memenuhi kriteria untuk dilakukan proses pengelasan gesek.

2.3.1 Aluminium

Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik serta sifat-sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam.

Adanya penambahan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, dan sebagainya akan meningkatkan kekuatan mekanik aluminium (Surdia, 2000). Penambahan unsur paduan dilakukan untuk memperbaiki sifat dari Aluminium seperti yang dikehendaki. Sifat unsur paduan ini akan mempengaruhi kualitas dari Aluminium. Berikut ini adalah beberapa pengaruh penambahan unsur paduan dalam Aluminium, yaitu:

a. Tembaga (Cu)

Penambahan unsur Tembaga (Cu) akan memperbaiki kualitas pengerjaan mesin pada Aluminium. Selain itu, dengan atau tanpa paduan yang lain akan meningkatkan kekuatan dan ketahanan korosinya serta kekerasannya.

b. Silikon (Si)

Pengaruh paling penting dalam penambahan Silikon adalah sifat mampu cor. Dalam hal ini yang dapat diperbaiki adalah dengan cara mengurangi penyusutan coran sampai satu setengah dari penyusutan Aluminium murni. Selain itu, paduan Silikon akan meningkatkan ketahanan korosi, baik ditambah unsur lain ataupun tidak.

c. Magnesium (Mg)

Penambahan Magnesium (Mg) digunakan untuk meningkatkan daya tahan karat pada aluminium. Bila dipadukan dengan Silikon maka daya tahan karatnya semakin besar. Unsur Magnesium juga meningkatkan sifat mampu mesin dan mampu bentuk dari aluminium

d. Besi (Fe)

Penambahan Besi (Fe) dimaksudkan untuk mengurangi penyusutan. Tetapi kandungan Besi yang besar juga akan menyebabkan struktur butir yang kasar dan dalam hal ini dapat diperbaiki dengan menambah sejumlah kecil Mn dan Cr.

e. Mangan (Mn)

Penambahan Mangan akan meningkatkan daya tahan karat Aluminium dan bila dipadukan dengan Mg akan memperbaiki kekuatan Aluminium.

2.3.2 Paduan Al-Mg-Si

Paduan Aluminium – Magnesium - Silikon termasuk dalam jenis yang dapat diperlakukan panas dan mempunyai sifat mampu potong, mampu las dan tahan korosi

yang cukup baik (Wiryosumarto, 2000). Jika Magnesium dan Silikon dipadukan bersama Aluminium, maka akan terbentuk Magnesium Silikat (Mg_2Si), kebanyakan paduan Aluminium mengandung Si, sehingga penambahan Magnesium diperlukan untuk memperoleh efek pengerasan dari Mg_2Si . Tetapi sifat paduan ini akan menjadi getas, sehingga untuk mengurangi hal tersebut, penambahan dibatasi antara 0,03% - 0,1%. Logam paduan murni dan coran yang diperlakukan panas mengandung beberapa fase terlarut yang muncul dalam jumlah dan lokasi yang bervariasi dalam mikrostruktur bergantung pada temperatur spesimen. Pada seri paduan 6xxx, fase intermetalik yang umum adalah Mg_2Si .

Diagram Fase magnesium - Silikon pada Gambar 2.4 menunjukkan bahwa kelarutan Mg_2Si semakin menurun terhadap kelarutan Aluminium yakni dari temperature tinggi ke temperature rendah. Kelarutan Mg_2Si dalam Aluminium/fasa terjadi sampai 16% pada $595^{\circ}C$. Selain itu, titik cair terendah untuk mencairkan Al-Mg-Si pada temperatur $595^{\circ}C$ dengan komposisi 13% Mg_2Si dan 87% Al.

2.3.3 Sifat Mampu Las Aluminium

Dalam hal pengelasan paduan Aluminium mempunyai sifat yang kurang baik bila dibandingkan dengan baja. Sifat-sifat yang kurang baik ini antara lain:

1. Karena daya hantar panasnya tinggi maka sulit sekali untuk memanaskan atau mencairkan hanya sebagian dari dimensinya.
2. Paduan Aluminium mudah teroksidasi dan membentuk Oksida Aluminium (Al_2O_3) yang mempunyai titik cair tinggi. Karena sifat ini maka peleburan antara logam dasar dan logam las menjadi terhalang.
3. Mempunyai koefisien muai yang tinggi, sehingga mudah sekali mengalami deformasi.
4. Perbedaan yang tinggi antara kelarutan Hidrogen dalam logam cair dan logam padat, sehingga dalam proses pengelasan dan pendinginan yang cepat

menyebabkan terperangkapnya gas Hidrogen dan membentuk rongga halus di dalam hasil lasan.

Beberapa jenis paduan Aluminium yang mempunyai sifat mampu las yang baik antara lain:

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

Sedangkan paduan Al-Cu dan paduan Al-Zn memiliki sifat mampu las yang kurang.

2.3.4 Aluminium Paduan AA seri 6061

Dari sekian banyak logam yang potensial, Komposit Matrik Logam (MMCs) paduan Al 6061 (tersusun atas Al, Mg, Si, Cr, Cu) telah menjadi obyek dari banyak riset, terutama oleh keringannya, murah dan kemudahan untuk difabrikasi (Schwartz, MelM, 1992).

Al 6061 memiliki ketahanan korosi yang tinggi, karena logam ini sangat reaktif. karena terbentuk lapisan oksida pada permukaannya, sehingga jika bersentuhan dengan udara dan lapisan ini terkelupas maka akan segera terbentuk lapisan baru.

Al 6061 mempunyai titik cair (*melting point*) 660°C . kekuatan tarik 12,6 kgf/mm, berat jenis (*density*) $2,70 \text{ g/cm}^3$.

Dengan sifat – sifat Al 6061 yang menguntungkan, membuat Al 6061 banyak digunakan dalam berbagai Industri. Sifat-sifat mekanik Al 6061 dapat ditingkatkan dengan penambahan unsur-unsur paduan proses perlakuan panas dan proses pengerjaan dingin. Keuntungan Al 6061 adalah:

1. Ketangguhan sangat tinggi (kekuatan tarik $12,6 \text{ kgf/mm}^2$)
2. Titik cair rendah (660°C)

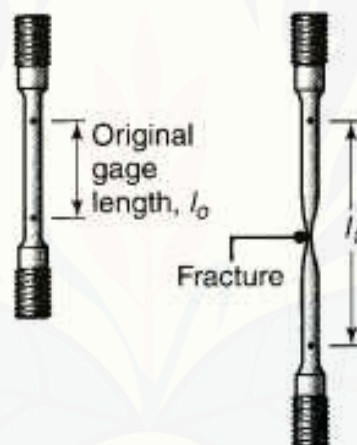
3. Ringan (berat jenis 2,70 gr/cm³)
4. Tahan terhadap korosi
5. Mudah difabrikasi / dibentuk
6. Mudah didapat / diperoleh

Tabel 2.1 Karakteristik Al 6061 (Surdia, 2000)

Alloy	Temper	Tensile strength psi	Tensile yield strength psi	Elongation & in 2 in	Hardness Bhn	Shear strength psi	Fatigue limit psi
6050	0	16.000	8.000	35	26	11.000	8.000
	T6	37.000	32.000	13	80	23.000	13.000
6061	0	18.000	8.000	25	30	12.000	9.000
	T4,T451	35.000	21.000	22	65	24.000	13.000
	T6,T651	45.000	40.000	12	95	30.000	14.000
	T81	55.000	52.000	15		32.000	
	T91	59.000	57.000	12		33.000	14.000
	T913	67.000	66.000	10		35.000	
6066	0	22.000	12.000	18	43	14.000	
	T4,T451	52.000	30.000	18	90	29.000	
	T6,T651	57.000	52.000	12	120	34.000	16.000
6070	0	21.000	10.000	20	35	14.000	9.000
	T6	57.000	52.000	12	120	34.000	14.000
6101	T6	32.000	28.000	15	71	20.000	
6151	T6	48.000	43.000	17	100	32.000	12.000
6201	T81	48.000		6			15.000
6262	T9	58.000	55.000	10	120	35.000	13.000
	T4,T541	42.000	27.000	20	60	22.000	13.000
6351	T6,T651	49.000	43.000	13	95	29.000	13.000
6951	0	16.000	6.000	30	28	11.000	
	T6	39.000	33.000	13	82	26.000	

2.4 Pengujian Tarik

Pengujian tarik merupakan metode yang paling umum digunakan untuk menentukan sifat mekanik dari suatu material seperti kekuatan, keuletan, ketangguhan, modulus elastisitas, dan kemampuan *strain-hardening*. Spesimen uji tarik ditunjukkan seperti pada Gambar 2.5. Bentuk yang umum digunakan untuk pengujian ini adalah bentuk silinder pejal, tetapi spesimen uji juga dapat berbentuk datar atau berbentuk tabung. Spesimen uji tarik umumnya disiapkan berdasarkan standar yang digunakan. Standar yang digunakan dapat menggunakan ASTM, JIS atau DIN tergantung kepada peneliti (Kalpakjian et. al, 2009).



Gambar 2.5 Spesimen uji tarik

(Sumber: Kalpakjian, 2009)

Dalam penelitiannya Djaprie (2000), menjelaskan pada uji tarik kedua ujung benda dijepit kemudian salah satu ujung dihubungkan dengan perangkat pengukur beban dari mesin uji dan ujung lainnya dihubungkan ke perangkat peregang. Benda uji diberi beban gaya tarik sesumbu yang bertambah besar secara kontinu, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan mengenai perpanjangan yang dialami benda uji. Data yang didapat berupa perubahan panjang dan perubahan beban yang selanjutnya ditampilkan dalam bentuk grafik tegangan-regangan, yang ditunjukkan Gambar 2.5.

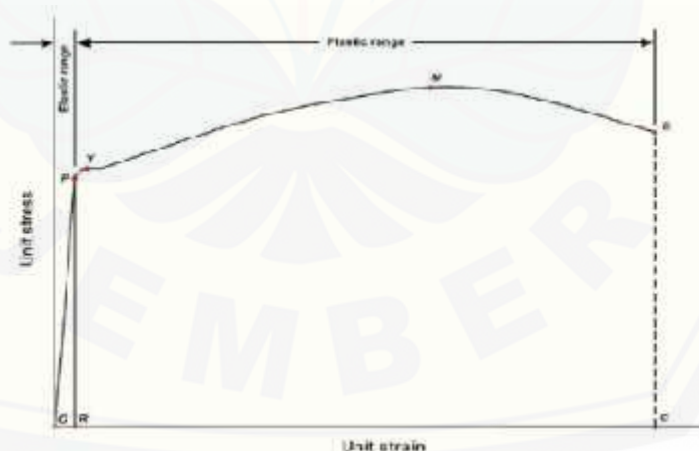
Data-data penting yang diharapkan didapat dari pengujian tarik ini adalah; perilaku mekanik material dan karakteristik perpatahan (Yuwono, 2009).

2.4.1 Perilaku Mekanik Material

Pengujian tarik yang dilakukan pada suatu material padatan (logam dan nonlogam) dapat memberikan keterangan yang relatif lengkap mengenai perilaku material tersebut terhadap pembebanan mekanis. Ada beberapa data yang dapat diperoleh, diantaranya:

a. Batas proporsionalitas (*proportionality limit*)

Merupakan daerah batas dimana tegangan dan regangan mempunyai hubungan proporsionalitas satu dengan lainnya. Setiap penambahan tegangan akan diikuti dengan penambahan regangan secara proporsional dalam hubungan linier $\sigma = E \epsilon$ (bandingkan dengan hubungan $y = mx$; dimana y mewakili tegangan; x mewakili regangan dan m mewakili slope kemiringan dari modulus kekakuan). Titik P pada Gambar 2.6 di bawah ini menunjukkan batas proporsionalitas dari kurva tegangan-regangan.



Gambar 2.6 Kurva tegangan-regangan dari sebuah benda uji terbuat baja ulet (Yuwono, 2009)

b. Batas elastis (*elastic limit*)

Daerah elastis adalah daerah dimana bahan akan kembali kepada panjang semula bila tegangan luar dihilangkan. Daerah proporsionalitas merupakan bagian dari batas elastik ini. Selanjutnya bila bahan terus diberikan tegangan (deformasi dari luar) akan menyebabkan terjadinya deformasi permanen (plastis) pertama kalinya. Kebanyakan material teknik memiliki batas elastis yang hampir berimpitan dengan batas proporsionalitasnya.

c. Titik luluh (*yield point*) dan kekuatan luluh (*yield strength*)

Titik ini merupakan suatu batas dimana material akan terus mengalami deformasi tanpa adanya penambahan beban. Tegangan (*stress*) yang mengakibatkan bahan menunjukkan mekanisme luluh ini disebut tegangan luluh (*yield stress*). Gejala luluh umumnya hanya ditunjukkan oleh logam-logam ulet dengan struktur Kristal BCC dan FCC yang membentuk *interstitial solid solution* dari atom-atom carbon, boron, hidrogen dan oksigen. Interaksi antara dislokasi dan atom-atom tersebut menyebabkan baja ulet seperti mild steel menunjukkan titik luluh bawah (*lower yield point*) dan titik luluh atas (*upper yield point*). Baja berkekuatan tinggi dan besi tuang yang getas umumnya tidak memperlihatkan batas luluh yang jelas.

Untuk menentukan kekuatan luluh material seperti ini maka digunakan suatu yang dikenal sebagai Metode *Offset*. Dengan metode ini kekuatan luluh (*yield strength*) ditentukan sebagai tegangan dimana bahan memperlihatkan batas penyimpangan/deviasi tertentu dari proporsionalitas tegangan dan regangan. Pada Gambar 2.7 di bawah ini garis *offset* OX ditarik paralel dengan OP, sehingga perpotongan XW dan kurva tegangan regangan memberikan titik Y sebagai kekuatan luluh. Umumnya garis *offset* OX diambil 0.1 – 0.2% dari regangan total dimulai dari titik O.



Gambar 2.7 Kurva tegangan-regangan dari sebuah benda uji terbuat dari bahan getas (Yuwono, 2009)

Kekuatan luluh atau titik luluh merupakan suatu gambaran kemampuan bahan menahan deformasi permanen bila digunakan dalam penggunaan struktural yang melibatkan pembebanan mekanik seperti tarik, tekan bending atau puntiran. Di sisi lain, batas luluh ini harus dicapai ataupun dilewati bila bahan (logam) dipakai dalam proses manufaktur produk- produk logam seperti proses *rolling*, *drawing*, *stretching* dan sebagainya. Dapat dikatakan bahwa titik luluh adalah suatu tingkat tegangan yang:

1. Tidak boleh dilewati dalam penggunaan struktural (*in service*)
2. Harus dilewati dalam proses manufaktur logam (*forming process*)
- d. Kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*)

Merupakan tegangan maksimum yang dapat ditanggung oleh material sebelum terjadinya perpatahan (*fracture*). Nilai kekuatan tarik maksimum uts ditentukan dari beban maksimum F_{maks} dibagi luas penampang awal A_0 .

$$UTS = \frac{F_{maks}}{A_0} \quad (2.1)$$

Pada bahan ulet tegangan maksimum ini ditunjukkan oleh titik M (Gambar 2.6) dan selanjutnya bahan akan terus berdeformasi hingga titik B. Bahan yang bersifat getas memberikan perilaku yang berbeda dimana tegangan maksimum sekaligus tegangan perputahan (titik B pada Gambar 2.6). Dalam kaitannya dengan penggunaan *structural* maupun dalam proses *forming* bahan, kekuatan maksimum adalah batas tegangan yang sama sekali tidak boleh dilewati.

e. Kekuatan Putus (*breaking strength*)

Kekuatan putus ditentukan dengan membagi beban pada saat benda uji putus ($F_{breaking}$) dengan luas penampang awal A_o . Untuk bahan yang bersifat ulet pada saat beban maksimum M terlampaui dan bahan terus terdeformasi hingga titik putus B maka terjadi mekanisme (*necking*) sebagai akibat adanya suatu deformasi yang terlokalisasi. Pada bahan ulet kekuatan putus adalah lebih kecil daripada kekuatan maksimum sementara pada bahan getas kekuatan putus adalah sama dengan kekuatan maksimumnya.

f. Keuletan (*ductility*)

Keuletan merupakan suatu sifat yang menggambarkan kemampuan logam menahan deformasi hingga terjadinya perputahan. Sifat ini, dalam beberapa tingkatan, harus dimiliki oleh bahan bila ingin dibentuk (*forming*) melalui proses *rolling*, *bending*, *stretching*, *drawing*, *hammering*, *cutting* dan sebagainya. Pengujian tarik memberikan dua metode pengukuran keuletan bahan yaitu:

- Persentase perpanjangan (*elongation*)

Diukur sebagai penambahan panjang ukur setelah perputahan terhadap panjang.

$$\text{Elongasi, } (\%) = [(L_f - L_o) / L_o] \times 100\% \quad (2.2)$$

dimana L_f adalah panjang akhir dan L_o panjang awal dari benda uji.

- Persentase pengurangan/reduksi penampang (*Area Reduction*)

Diukur sebagai pengurangan luas penampang (*cross-section*) setelah perputahan terhadap luas penampang awalnya.

$$\text{Reduksi penampang, } R (\%) = [(A_o - A_f) / A_o] \times 100\% \quad (2.3)$$

dimana A_f adalah luas penampang akhir dan A_o luas penampang awal.

g. Modulus elastisitas (E)

Modulus elastisitas atau modulus Young merupakan ukuran kekakuan suatu material. Semakin besar harga modulus ini maka semakin kecil regangan elastis yang terjadi pada suatu tingkat pembebanan tertentu, atau dapat dikatakan material tersebut semakin kaku (*stiff*). Modulus kekakuan tersebut dapat dihitung dari *slope* kemiringan garis elastis yang linier, diberikan oleh:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \text{ atau } E = \tan \theta \quad (2.4)$$

Dimana θ adalah sudut yang dibentuk oleh daerah elastis kurva tegangan-regangan. Modulus elastisitas suatu material ditentukan oleh energi ikat antar atom-atom, sehingga besarnya nilai modulus ini tidak dapat dirubah oleh suatu proses tanpa merubah struktur bahan.

h. Modulus kelentingan (*modulus of resilience*)

Mewakili kemampuan material untuk menyerap energi dari luar tanpa terjadinya kerusakan. Nilai modulus dapat diperoleh dari luas segitiga yang dibentuk oleh area elastis

i. Modulus ketangguhan (*modulus of toughness*)

Merupakan kemampuan material dalam menyerap energi hingga terjadinya perpatahan. Pertimbangan disain yang mengikut sertakan modulus ketangguhan menjadi sangat penting untuk komponen-komponen yang mungkin mengalami pembebanan berlebih secara tidak disengaja. Material dengan modulus ketangguhan yang tinggi akan mengalami distorsi yang besar karena pembebanan berlebih, tetapi hal ini tetap disukai dibandingkan material dengan modulus yang rendah dimana perpatahan akan terjadi tanpa suatu peringatan terlebih dahulu.

j. Kurva tegangan-regangan rekayasa dan sesungguhnya

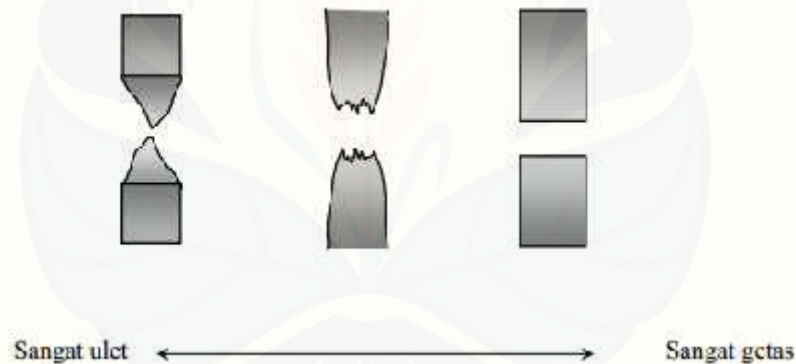
Kurva tegangan-regangan rekayasa didasarkan atas dimensi awal (luas area dan panjang) dari benda uji, sementara untuk mendapatkan kurva tegangan-regangan sesungguhnya diperlukan luas area dan panjang aktual pada saat pembebanan setiap saat terukur. Perbedaan kedua kurva tidaklah terlampau besar pada regangan yang

kecil, tetapi menjadi signifikan pada rentang terjadinya pengerasan regangan (*strain hardening*), yaitu setelah titik luluh terlampaui. Secara khusus perbedaan menjadi demikian besar di dalam daerah *necking*. Pada kurva tegangan-regangan rekayasa, dapat diketahui bahwa benda uji secara aktual mampu menahan turunnya beban karena luas area awal A_0 bernilai konstan pada saat penghitungan tegangan $\sigma = P/A_0$. Sementara pada kurva tegangan-regangan

sesungguhnya luas area actual adalah selalu turun hingga terjadinya perpatahan dan benda uji mampu menahan peningkatan tegangan karena $\sigma = P/A$.

2.4.2. Mode Perpatahan Material

Sampel hasil pengujian tarik dapat menunjukkan beberapa tampilan perpatahan seperti diilustrasikan oleh Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Ilustrasi penampang samping bentuk perpatahan benda uji tarik sesuai dengan tingkat keuletan dan kegetasan (Yuwono, 2009)

Perpatahan ulet memberikan karakteristik berserabut dan gelap sementara perpatahan getas ditandai dengan permukaan patahan yang berbutir dan terang. Perpatahan ulet umumnya lebih disukai karena bahan ulet umumnya lebih tangguh dan memberikan peringatan lebih dahulu sebelum terjadinya kerusakan.

Pengamatan kedua tampilan perpatahan itu dapat dilakukan baik dengan mata telanjang maupun dengan bantuan *stereoscan microscope*. Pengamatan lebih detail dimungkinkan dengan penggunaan SEM (*Scanning Electron Microscope*).

2.5 Pengamatan Metalografi

Pengujian metalografi ini dilakukan untuk menganalisa struktur mikro pada sampel. Adapun prinsip dasar langkah-langkah untuk melakukan pengujian ini adalah sebagai berikut:

2.5.1 *Cutting* (Pemotongan)

Pemilihan sampel yang tepat dari suatu benda uji studi mikroskopik merupakan hal yang sangat penting. Pemilihan sampel tersebut didasarkan pada tujuan pengamatan yang hendak dilakukan. Pada umumnya bahan komersil tidak homogen, sehingga satu sampel yang diambil dari suatu volume besar tidak dapat dianggap representatif. Pengambilan sampel harus direncanakan sedemikian sehingga menghasilkan sampel yang sesuai dengan kondisi rata-rata bahan atau kondisi di tempat-tempat tertentu (kritis), dengan memperhatikan kemudahan pemotongan sampel tersebut. Secara garis besar, pengambilan sampel dilakukan pada daerah yang akan diamati mikrostruktur maupun makrostrukturnya. Sebagai contoh, untuk pengamatan mikrostruktur material yang mengalami kegagalan, maka sampel diambil sedekat mungkin pada daerah kegagalan (pada daerah kritis dengan kondisi terparah), untuk kemudian dibandingkan dengan sampel yang diambil dari daerah yang jauh dari daerah gagal. Perlu diperhatikan juga bahwa dalam proses memotong, harus dicegah kemungkinan deformasi dan panas yang berlebihan. Oleh karena itu, setiap proses pemotongan harus diberi pendinginan yang memadai.

Ada beberapa sistem pemotongan sampel berdasarkan media pemotong yang digunakan, yaitu meliputi proses pematahan, pengguntingan, penggergajian, pemotongan abrasi (*abrasive cutter*), gergaji kawat, EDM (*Electric Discharge*

Machining). Berdasarkan tingkat deformasi yang dihasilkan, teknik pemotongan terbagi menjadi menjadi dua, yaitu :

1. Teknik pemotongan dengan deformasi yang besar, menggunakan gerinda.
2. Teknik pemotongan dengan deformasi kecil, menggunakan *low speed diamond saw*.

2.5.2 Mounting

Spesimen yang berukuran kecil atau memiliki bentuk yang tidak beraturan akan sulit untuk ditangani khususnya ketika dilakukan pengamplasan dan pemolesan akhir. Sebagai contoh adalah spesimen yang berupa kawat, spesimen lembaran metal tipis, potongan yang tipis, dll. Untuk memudahkan penanganannya, spesimen-spesimen tersebut harus ditempatkan pada suatu media (*media mounting*). Secara umum syarat-syarat yang harus dimiliki bahan *mounting* adalah:

1. Bersifat inert (tidak bereaksi dengan material maupun zat etsa).
2. Sifat eksoterimis rendah.
3. Viskositas rendah.
4. Penyusutan linier rendah.
5. Sifat adhesi baik.
6. Memiliki kekerasan yang sama dengan sampel.
7. *Flowabilitas* baik, dapat menembus pori, celah dan bentuk ketidakteraturan yang terdapat pada sampel.
8. Khusus untuk etsa elektrolitik dan pengujian SEM, bahan *mounting* harus konduktif.

Media *mounting* yang dipilih haruslah sesuai dengan material dan jenis reagen etsa yang akan digunakan. Pada umumnya *mounting* menggunakan material plastik sintetik. Materialnya dapat resin (*castable resin*) yang dicampur dengan *hardener* atau bakelit. Penggunaan *castable resin* lebih mudah dan alat yang digunakan lebih sederhana dibandingkan bakelit, karena tidak memiliki sifat mekanis yang baik (lunak) sehingga kurang cocok untuk material-material keras. Teknik *mounting* yang

paling baik adalah menggunakan *thermosetting* resin dengan menggunakan material bakelit. Material ini berupa bubuk yang tersedia dengan warna beragam. *Thermosetting mounting* membutuhkan alat khusus, karena dibutuhkan aplikasi tekanan 4200 lb/in^2 dan panas 149° pada *mold* saat *mounting*.

2.5.3 *Grinding* (pengamplasan)

Sampel yang baru saja dipotong atau sampel yang telah terkorosi memiliki permukaan yang kasar. Permukaan yang kasar ini harus diratakan agar pengamatan struktur mudah untuk dilakukan. Pengamplasan dilakukan dengan menggunakan kertas amplas silikon karbid (SiC) dengan berbagai tingkat kekasaran yang ukuran butir abrasifnya dinyatakan dengan mesh, yaitu kombinasi dari 600, 800, 1000, 1200 dan 1500. Ukuran grit pertama yang dipakai tergantung pada kekasaran permukaan dan kedalaman kerusakan yang ditimbulkan oleh pemotongan. Seperti perubahan struktur akibat panas yang timbul pada saat proses pemotongan dan perubahan bentuk sampel akibat beban alat potong.

Hal yang perlu diperhatikan pada saat pengamplasan adalah pemberian air. Air berfungsi sebagai pemindah geram, memperkecil kerusakan akibat panas yang timbul yang dapat merubah struktur mikro sampel dan memperpanjang masa pemakaian kertas amplas. Hal lain yang harus diperhatikan adalah ketika melakukan perubahan arah pengamplasan, maka arah yang baru adalah 45° atau 90° terhadap arah sebelumnya.

2.5.4 *Polishing* (pemolesan)

Setelah diamplas sampai halus, sampel harus dilakukan pemolesan. Pemolesan bertujuan untuk memperoleh permukaan sampel yang halus bebas goresan dan mengkilap seperti cermin dan menghilangkan ketidakteraturan sampel hingga orde $0.01 \mu\text{m}$. Permukaan sampel yang akan diamati di bawah mikroskop harus benar-benar rata. Apabila permukaan sampel kasar atau bergelombang, maka pengamatan

struktur mikro akan sulit untuk dilakukan karena cahaya yang datang dari mikroskop dipantulkan secara acak oleh permukaan sampel.

Tahap pemolesan dimulai dengan kasar terlebih dahulu kemudian dilanjutkan dengan pemolesan halus. Ada 3 metode pemolesan antara lain yaitu sebagai berikut :

a. Pemolesan Elektrolit Kimia

Hubungan rapat arus dan tegangan bervariasi untuk larutan elektrolit dan material yang berbeda dimana untuk tegangan, berbentuk lapisan tipis pada permukaan dan hampir tidak ada arus yang lewat, maka terjadi proses etsa. Sedangkan pada tegangan tinggi terjadi pemolesan.

b. Pemolesan Kimia Mekanis

Merupakan kombinasi antara etsa kimia dan pemolesan mekanis yang dilakukan serentak di atas piringan halus. Partikel pemoles abrasif dicampur dengan larutan pengetsa yang umum digunakan.

c. Pemolesan Elektro Mekanis (Metode Reinacher)

Merupakan kombinasi antara pemolesan elektrolit dan mekanis pada piring pemoles. Metode ini sangat baik untuk logam mulia, tembaga, kuningan dan perunggu.

2.5.5. *Etching* (Etsa)

Etsa merupakan proses penyerangan atau pengikisan batas butir secara selektif dan terkendali dengan pencelupan ke dalam larutan pengetsa baik menggunakan listrik maupun tidak ke permukaan sampel sehingga detail struktur yang akan diamati akan terlihat dengan jelas dan tajam. Untuk beberapa material, mikrostruktur baru muncul jika diberi zat etsa. Sehingga perlu pengetahuan yang tepat untuk memilih zat etsa yang tepat.

a. Etsa Kimia

Merupakan proses pengetsaan dengan menggunakan larutan kimia dimana zat etsa yang digunakan ini memiliki karakteristik tersendiri sehingga pemilihannya disesuaikan dengan sampel yang akan diamati. Contohnya antara lain : nitrid acid /

natal (asam nitrat + alcohol 95%), picral (asam picric + alcohol), ferric chloride, hydrofluoric acid, dan lain-lain. Perlu diingat bahwa waktu etsa jangan terlalu lama (umumnya sekitar 4 – 30 detik), dan setelah dietsa segera dicuci dengan air mengalir lalu dengan alkohol kemudian dikeringkan dengan alat pengering.

b. Elektro Etsa (Etsa Elektrolitik)

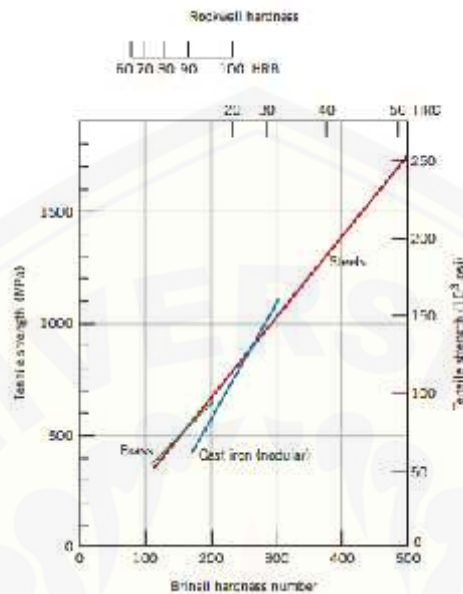
Merupakan proses etsa dengan menggunakan reaksi elektroetsa. Cara ini dilakukan dengan pengaturan tegangan dan kuat arus listrik serta waktu peetsaan. Etsa jenis ini biasanya khusus untuk stainless steel karena dengan etsa kimia susah untuk mendapatkan detil strukturnya.

2.6 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan adalah satu dari sekian banyak pengujian yang dipakai, karena dapat dilaksanakan pada benda uji yang kecil tanpa kesukaran mengenai spesifikasi. Dalam pengujian kekerasan, seperti pada pengujian statik lainnya diukur ketahanan terhadap deformasi (Surdia, 2000). Kekerasan dapat dihubungkan dengan kekuatan luluh atau kekuatan tarik logam, karena sewaktu indentasi, material di sekitar jejak mengalami deformasi plastis mencapai beberapa persen regangan tertentu (Djaprie, 2000).

Pengujian kekerasan ini memiliki beberapa keuntungan antara lain:

1. Pengujian ini mudah dilakukan dan relatif murah, karena spesimen yang diuji tidak memerlukan persiapan khusus dan peralatan yang digunakan relatif murah.
2. Pengujiannya tidak merusak, karena spesimen yang di uji tidak mengalami perubahan bentuk yang ekstrim atau patah; satu-satunya deformasi yang terjadi adalah indentasi yang kecil.
3. Sifat mekanik yang lain dapat diperkirakan dari data kekerasan seperti kekuatan tarik (Callister, 2007) yang ditunjukkan pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Hubungan antara kekerasan dan kekuatan tarik pada besi cor, tembaga dan baja. (Callister, 2007)

Pada prinsipnya pengujian kekerasan ini mempunyai tiga metode yaitu penggoresan (*scratching*), pantulan ataupun indentasi dari material keras terhadap suatu permukaan benda uji. Berdasarkan mekanisme penekanan tersebut, dikenal 3 metode uji kekerasan yaitu metode gores, metode elastik/pantul (*rebound*), dan metode indentasi (Yuwono, 2009).

2.6.1 Metode indentasi

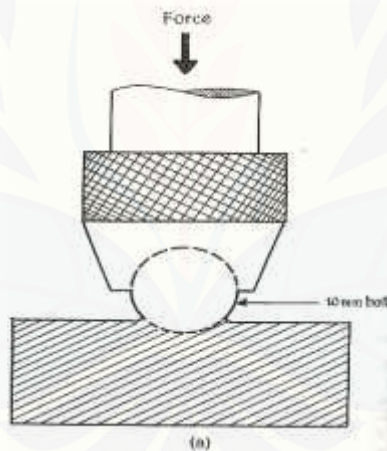
Pengujian dengan metode ini dilakukan dengan penekanan benda uji dengan indenter dengan gaya tekan dan waktu indentasi yang ditentukan. Kekerasan suatu material ditentukan oleh dalam ataupun luas area indentasi yang dihasilkan (tergantung jenis indenter dan jenis pengujian). Berdasarkan prinsip bekerjanya metode uji kekerasan dengan cara indentasi ada tiga metode yaitu metode Brinell, metode Vickers, dan metode Rockwell. Pengujian yang paling sering digunakan untuk meneliti suatu kekerasan suatu material adalah metode Brinell (Yuwono, 2009).

2.6.2 Metode Brinell

Metode ini diperkenalkan pertama kali oleh J.A. Brinell pada tahun 1900. Pengujian kekerasan dilakukan dengan memakai bola baja yang diperkeras (hardened steel ball) dengan beban dan waktu indentasi tertentu, sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 2.10. Hasil penekanan adalah jejak berbentuk lingkaran bulat, yang harus dihitung diameternya di bawah mikroskop khusus pengukur jejak. Contoh pengukuran hasil penjeakan diberikan oleh Gambar 2.11. Pengukuran nilai kekerasan suatu material diberikan oleh rumus:

$$BHN = \frac{2P}{(\pi D)(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (2.5)$$

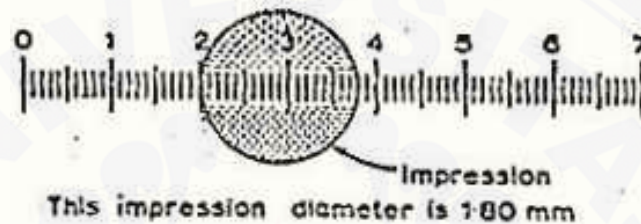
dimana P adalah beban (kg), D adalah diameter indentor (mm) dan d adalah diameter jejak (mm).



Gambar 2.10 Skematis prinsip indentasi dengan metode Brinell (Yuwono, 2009)

Prosedur standar pengujian mensyaratkan bola baja dengan diameter 10 mm dan beban 3000 kg untuk pengujian logam-logam ferrous, atau 500 kg untuk logam-logam non-ferrous. Untuk logam-logam ferrous, waktu indentasi biasanya sekitar 10 detik sementara untuk logam-logam non-ferrous sekitar 30 detik. Walaupun demikian pengaturan beban dan waktu indentasi untuk setiap material dapat pula ditentukan oleh karakteristik alat penguji. Nilai kekerasan suatu material yang dinotasikan

dengan 'HB' tanpa tambahan angka di belakangnya menyatakan kondisi pengujian standar dengan indenter bola baja 10 mm, beban 3000 kg selama waktu 1-15 detik. Untuk kondisi yang lain, nilai kekerasan HB diikuti angka-angka yang menyatakan kondisi pengujian.



Gambar 2.11 Hasil indentasi Brinell berupa jejak berbentuk lingkaran dengan ukuran diameter dalam skala mm. (Yuwono, 2009)

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental. Eksperimental adalah suatu observasi dibawah kondisi buatan, dimana kondisi tersebut sengaja dibuat dan diatur oleh peneliti. Dengan demikian penelitian eksperimental ialah penelitian yang dilakukan dengan memanipulasi terhadap objek penelitian serta adanya kontrol.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dimulai pada bulan September 2015 sampai selesai. Penelitian ini meliputi dua kegiatan utama yaitu pengelasan dan pengujian. Untuk pengelasan dilakukan di Laboratorium Permesinan dan pengujian sifat mekanik dilakukan di Laboratorium Desain dan Uji Bahan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

3.3 Bahan dan Alat Penelitian

3.3.1 Bahan

1. Aluminium paduan Al-Mg-Si seri 6061 dengan diameter 19 mm (*solid round*).
2. Bahan Etsa

Bahan Etsa digunakan untuk membuat struktur permukaan benda tampak jelas. Mengetsas adalah merusak permukaan benda uji dengan cairan tertentu yang sesuai, sehingga strukturnya terlihat dengan jelas.

3. Resin dan *Hardener*

Resin dan *Hardener* adalah bahan kimia yang digunakan untuk membuat pegangan pada benda uji waktu pengujian kekerasan dan metalografi.

4. Pasta poles

Pasta poles digunakan untuk menggosok permukaan benda uji sebelum dilakukan penelitian agar permukaan menjadi bersih. Pasta poles yang digunakan adalah Autosol.

3.3.2 Alat

Adapun peralatan yang digunakan dalam pengujian ini sebagai berikut:

1. Mesin Bubut (kepala lepas dimodifikasi)
2. Kertas gosok.
3. Gergaji.
4. Jangka sorong.
5. Gerinda.
6. *Stopwatch*.
7. Alat ukur tekanan gesek dan tempa.
8. Alat Uji Tarik.
9. Alat Uji Kekerasan.
10. Alat pengamatan Struktur mikro.

3.4 Variabel Penelitian

3.4.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan sebelum dilakukan penelitian. Variabel bebas yang digunakan adalah kecepatan putar dengan variasi putaran 600 rpm, 800 rpm, 1000 rpm dan tekanan tempa sebesar 50 Mpa dan 60 Mpa.

3.4.2 Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besar nilainya tergantung oleh variabel bebas. Dalam penelitian ini yang menjadi variabel terikat adalah kekuatan impact, kekerasan dan struktur mikro.

3.4.3 Variabel kontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang besarnya dikendalikan selama penelitian.

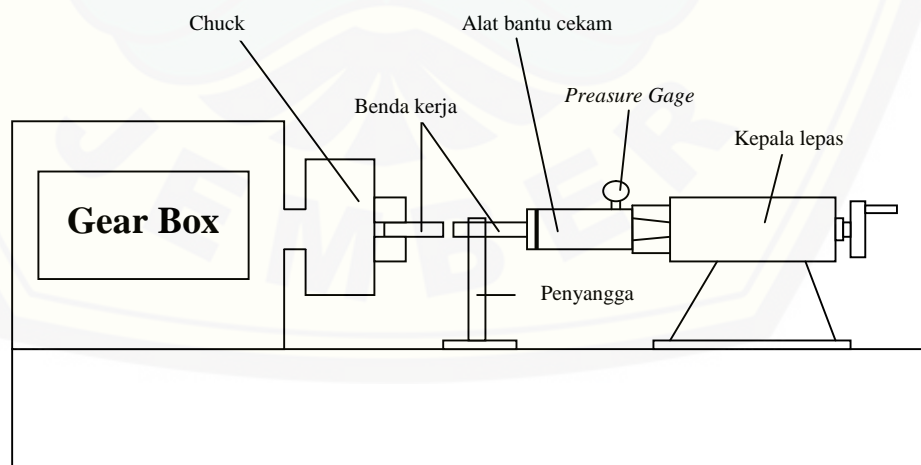
Dalam penelitian ini yang menjadi variabel kontrol adalah:

1. Gaya tekan pengelasan 15 Mpa.
2. Waktu pengelasan (*friction time*) 60 detik.
3. *Holding time* 30 detik

3.5 Proses Pengelasan

Berikut ini adalah langkah-langkah dalam proses pengelasan gesek :

1. Spesimen terlebih dahulu dibubut pada permukaan yang akan dilakukan proses pengelasan gesek, kemudian dibersihkan dari kotoran dan minyak.
2. Spesimen dicekam pada alat pengecam yang terpasang pada kepala lepas dan *rotating chuck* kemudian diberi tekanan gesek sebesar 15Mpa.
3. Mesin dinyalakan dengan kecepatan putar 600 rpm, 800 rpm, dan 1000 rpm.
4. Menghitung waktu gesekan untuk *preheating* selama 10 detik, kemudian dilanjutkan menghitung waktu gesekan selama 40 detik



Gambar 3.1 Skema alat *Friction Welding*

3.6 Proses Pengujian

Parameter pengujian meliputi beberapa pengujian adalah sebagai berikut:

Tabel 3.1 Parameter Pengujian

Tekan tempa	Kecepatan putar	Uji Tarik	Uji Kekerasan	Pengamatan Struktur Mikro
50 Mpa	600 rpm	2 Spesimen	1 Spesimen	1 Spesimen
	800 rpm	2 Spesimen	1 Spesimen	1 Spesimen
	1000 rpm	2 Spesimen	1 Spesimen	1 Spesimen
60 Mpa	600 rpm	2 Spesimen	1 Spesimen	1 Spesimen
	800 rpm	2 Spesimen	1 Spesimen	1 Spesimen
	1000 rpm	2 Spesimen	1 Spesimen	1 Spesimen

3.6.1 Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan pada spesimen hasil pengelasan. Spesimen yang digunakan untuk uji tarik dibuat menurut standar (*Annual Book of Astm Standards*).

Dari pengujian tarik ini didapat grafik tegangan vs regangan. Tegangan () didapat dengan menggunakan rumus :

$$= \frac{F}{A_0} \dots\dots\dots (3.1)$$

F : beban yang diberikan (N)

A₀ : luas penampang bahan sebelum dibebani (mm²)

Sedangkan regangan () didapat dengan menggunakan rumus :

$$= \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L_i - L_0}{L_0} \times 100\% \dots\dots\dots (3.2)$$

: persentase perpanjangan atau keuletan (%)

L_i : panjang akhir (mm)

- L_0 : panjang awal (mm)
 L : selisih batang uji (mm)

3.6.2 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan ini menggunakan metode brinell menggunakan acuan ASTM E 10 – 01. Spesimen uji untuk uji kekerasan ini harus mempunyai permukaan yang rata dan halus agar pada pengujian bisa dengan dengan mudah untuk diidentifikasi. Beban penekanan indenter yang diberikan dengan gaya 1 kg. Pada uji kekerasan ini menggunakan alat *Electric Brinell Hardness Tester* Hauser Henry S A. dengan menggunakan indenter bola baja berbentuk bulat. Berikut ini adalah langkah – langkah dalam melakukan pengujian kekerasan :

- a. Persiapan spesimen uji kekerasan dengan memotong benda kerja setelah dilakukan pengelasan dengan dimensi sesuai ASTM E 10 - 01.
- b. Spesimen digrinding dengan menggunakan kertas gosok dengan grit 80-1500 pada mesin *grinding-polishing* hingga rata halus.
- c. Penentuan titik indentasi pada daerah sambungan (*base metal*, HAZ, dan *weld metal*).

3.6.2 Pengamatan Struktur Mikro

Setelah dilakukan proses pengelasan gesek, untuk menganalisa struktur mikro yang terbentuk diperlukan pengamatan mikro atau pengujian *metalografi*. Persiapan spesimen uji *metalografi* sebagai berikut:

1. Persiapan spesimen uji sesuai standar ASTM E 3 – 95.
2. Pembuatan pemegang spesimen uji dengan bahan resin Polyester pada cetakan dengan perbandingan 50 gram resin Polyester dicampur 3 ml larutan katalis pengeras, didiamkan selama ± 48 jam.
3. Penghalusan permukaan spesimen uji menggunakan kertas gosok dengan grit 80 – 2000 pada mesin *grinding-polishing*.

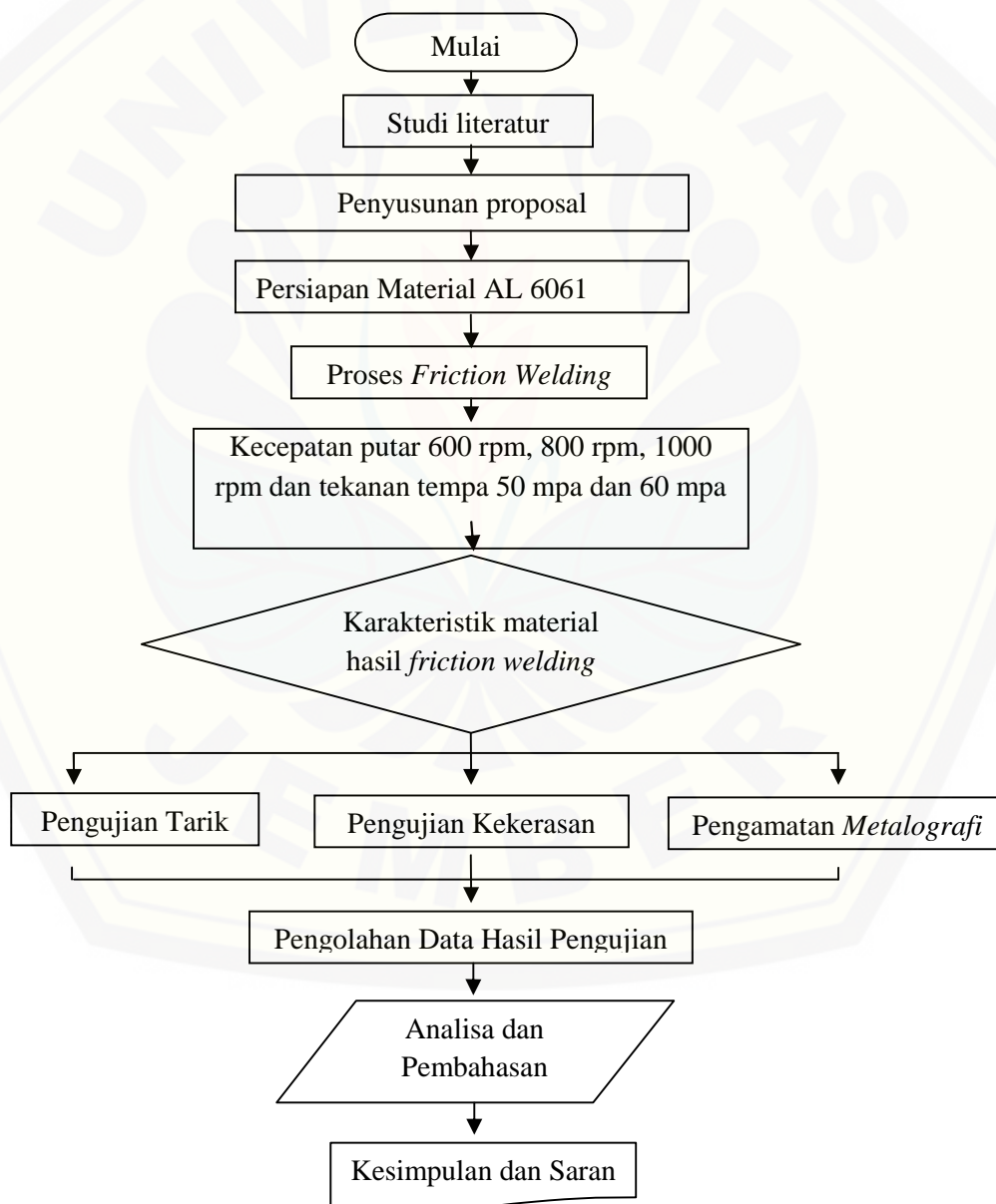
4. Pengetsaan dilakukan dengan pemberian larutan NH_3 , HCl , dan HF sesuai standar ASTM E 340 – 00 yang bertujuan untuk mengekstraksikan fasa yang terjadi.
5. Pengeringan spesimen dengan menggunakan *hair dryer*.
6. Spesimen diamati struktur mikro pada daerah *weld metal*, HAZ, dan *base metal* yang terjadi dengan mikroskop optis dengan perbesaran 1000X.

3.7 Teknik Penyajian Data

Penyajian data dalam penelitian ini dilakukan dengan memasukkan data yang diperoleh dari penelitian dalam lembar pengamatan. Data yang diperoleh, pengujian tarik, pengujian kekerasan dan pengamatan struktur mikro.

1.8 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan dengan berbagai tahap, diantaranya adalah studi literatur, selanjutnya persiapan alat dan bahan uji setelah itu dilakukan pengujian dan pengambilan data, kemudian data yang diambil dianalisa dan dibahas yang nantinya ditarik kesimpulan untuk mengakhiri penelitian ini. Berikut diagram alir penelitian tersebut:



Gambar 3.2 Diagram Alir

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian proses pengelasan dengan metode *friction welding* yang telah dilakukan pada material Aluminium paduan 6061 dengan variasi putaran spindel dan tekanan tempa dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Putaran spindel dan tekanan tempa berpengaruh terhadap kekuatan tarik hasil sambungan pengelasan *friction welding* pada Aluminium 6061. Hasil pengujian tarik tertinggi diperoleh dari variasi 1000 rpm dengan tekanan tempa 60 Mpa dengan nilai sebesar 126,80 N/mm². Sementara hasil pengujian tarik terendah diperoleh dari variasi 600 rpm dengan tekanan tempa 50Mpa sebesar 16,22 N/mm².
2. Putaran spindel dan tekanan tempa berpengaruh terhadap kekerasan hasil sambungan las gesek pada Aluminium 6061. Hasil pengujian kekerasan tertinggi diperoleh dari variasi 1000 rpm dengan tekanan tempa 60 Mpa dengan nilai masing-masing *zud* 68 BHN, *zpd* 121 BHN dan *zpl* 89 BHN. Secara keseluruhan sifat mekanis yang paling baik dari hasil penelitian pengelasan Aluminium 6061 dengan metode *friction welding* terjadi pada variasi 1000 rpm dan tekanan tempa sebesar 60Mpa
3. Pada struktur mikro hasil sambungan las gesek pada Aluminium 6061 untuk variasi tekanan tempa 50 Mpa menunjukkan adanya cacat las. Hal ini menandakan bahwa tekanan yang kurang besar akan menimbulkan cacat las.

5.2 Saran

Saran yang dapat diajukan agar percobaan berikutnya dapat lebih baik dan dapat menyempurnakan percobaan yang telah dilakukan dalam penelitian ini adalah :

1. Perlu adanya pengembangan penelitian lanjutan untuk metode lain dari aspek material, termodinamika, desain dan manufaktur.
2. Perlu dilakukan pengujian-pengujian lain seperti pengamatan SEM/TEM, uji *impact*, uji *bending*, uji XRD, dll.
3. Disarankan menggunakan mesin kerja dan alat bantu dengan kemampuan yang lebih tinggi agar mampu mencapai hasil yang lebih tinggi.



Adhy purnomo. 2012. pengaruh kecepatan putar dan tekanan terhadap struktur mikro dan kekerasan sambungan friction welding antara bahan paduan tembaga dan paduan aluminium.

Anggara. 2012. Analisis Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Aluminium Paduan Al-Mg-Si Hasil Pengelasan Linier Friction Welding dengan Variasi Rotation Speed

Angger sudrajat f. P. 2012. Analisis sifat mekanik hasil pengelasan aluminium aa 1100 dengan metode friction stir welding.

Callister. 2007. Callister W.D. 1990. "Materials Science and Engineering". Second Edition. John Wiley and Sons Inc. New York.

Darsin, Mahros, et. al. 2013. *Mechanical Properties and Micro Structure of Aluminum Alloys [Al-Mg-Si] as Results of Variation Time in Friction Welding*. International Symposium on Mechanical and Maritime Engineering 2013.

Djaprie, Sriati. Smallman, R. E. Bishop R. J. 2000. *Metalurgi Fisik Modern Dan Rekayasa Material*. Erlangga . Jakarta

Fauzi, M. N. A., et. al. 2010. *Microstructure And Mechanical Properties Of Alumina-6061 Aluminum Alloy Joined By Friction Welding*. Materials and Design 31 (2010) 670–676.

Hadi, Amri. 2012. "Analisis Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Alumunium Paduan Seri 6061 Hasil Pengelasan Friction Welding Dengan Variasi Waktu Gesek.". Jember : Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Johnny R. H. 2010. Studi eksperimental dan simulasi pada kampuh pengelasan busur listrik plat baja st 37. Fakultas teknik Universitas negeri Sumatra Utara Medan.

Joko santoso. 2006. pengaruh arus pengelasan terhadap kekuatan tarik dan ketangguhan las smaw dengan elektroda e7018. fakultas teknik universitas negeri semarang.

Kalpakjian, Serope., Schmid, Steven R. 2009. *Manufacturing Engineering And Technology*. London : Prentice Hall

M. Marini and a. B. Ismail. 2001. Torsional deformation and fatigue behaviour Of 6061 aluminium alloy. School of Materials and Mineral Resources Engineering. University Sanis Malaysia

Mikell P, Groover . 2010. "Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes and systems".4th ed.

Sigied prasetyono dan ir. Hari subiyanto.m.sc. 2012. Pengaruh durasi gesek, tekanan gesek dan tekanan tempa terhadap impact strength sambungan lasan gesek langsung pada baja karbon aisi 1045. Jurnal sains dan seni pomits vol. 1, no. 1, (2012) 1-5

Surdia, tata dan saito, shinroku,; "pengetahuan bahan teknik". PT. pradnya paramita, tahun 1999.

Wirjosumarto Harsono & Okumura toshie.2000. *Teknik Pengelasan Logam*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.

Yoedhawan, A. J. P. dan Sumarji. 2014. Analisis Kekerasan, Cacat Las, Dan Struktur Mikro Pada Sambungan T Paduan Aluminium 6061 T6511 Hasil Gas Metal Arc Welding (Gmaw) Dengan Variasi Kuat Arus. Jurnal ROTOR, Volume 7 Nomor 2.

Lampiran

Al 6061 sebelum dilakukan proses pengelasan



Proses pengelasan *friction welding*





Hasil pengelasan *friction welding* Al6061







Spesimen yang sudah siap dilakukan uji tarik

