



**PENGARUH WAKTU GESEK DAN SUDUT CHAMFER
TERHADAP SIFAT MEKANIK HASIL LASAN ALUMINIUM
6061 PADA PROSES FRICTION WELDING**

SKRIPSI

Oleh
Hendry Wicaksana Sugianto
NIM 111910101040

**PROGRAM STUDI STRATA SATU TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2016**



**PENGARUH WAKTU GESEK DAN SUDUT CHAMFER
TERHADAP SIFAT MEKANIK ALUMINIUM 6061 PADA
PROSES FRICTION WELDING**

SKRIPSI

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

Oleh
Hendry Wicaksana Sugianto
NIM 111910101040

**PROGRAM STUDI STRATA SATU TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2016**

PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan puji syukur kepada Allah SWT serta dengan tulus ikhlas dan segala kerendahan hati skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Allah SWT atas segala rizki dan hidayahnya yang telah diberikan, serta kepada junjunganku Nabi Muhammad SAW.
2. Keluargaku, Ayahanda tercinta, dan Ibunda tercinta, atas segala do'a, dukungan semangat dan materil. Kakak-kakakku tersayang yang tak henti-hentinya memberi semangat, serta saudara-saudaraku semua. Terimakasih atas semua cinta, kasih sayang, perhatian, doa, pengorbanan, motivasi dan bimbingan kalian semua demi terciptanya insan manusia yang beriman, bertaqwa, berakhlak mulia, dan berguna bagi bangsa negara. Semoga Allah SWT selalu melimpahkan rahmat dan karunia-Nya serta membalas semua kebaikan yang telah kalian lakukan.
3. Staf pengajar semua dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan ilmu dan bimbingan kepada saya terutama Bapak Santoso Mulyadi S.T., M.T., selaku dosen pembimbing utama, Bapak ir. Ahmad Syuhri, M.T., selaku dosen pembimbing anggota, Bapak Dr. Agus Triono S.T., M.T., selaku dosen penguji I dan Bapak Dedi Dwilaksana S.T., M.T., selaku dosen penguji II.
4. Semua guruku dari Sekolah Dasar sampai Perguruan Tinggi yang saya hormati, yang telah memberikan ilmu, mendidik, dan membimbingku dengan penuh rasa sabar.
5. Semua dulur Teknik Mesin 2011 yang telah memberikan dukungan dan semangat untuk menyelesaikan skripsi ini.
6. Saudaraku di organisasi IKMM yang selalu memberikan dukungannya
7. Almamater Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

MOTTO

“Allah tidak membebani seseorang itu melainkan sesuai dengan kesanggupannya.”
(Q.S. Al-Baqarah ayat 286)^{*)}

"Love what you do, do what you love"
(Billy Boen)

“Berangkat dengan penuh keyakinan. Berjalan dengan penuh keikhlasan. Istiqomah dalam menghadapi cobaan. YAKIN, IKHLAS, ISTIQOMAH.”

“ Ya Allah, tidak ada kemudahan kecuali yang engkau buat mudah. Dan engkau menjadikan kesedihan (kesulitan), jika engkau kehendaki pasti akan menjadi mudah”^{**)}

^{*)} Departemen Agama Republik Indonesia. 1998. Al-Qur'an dan Terjemahannya. Semarang: PT Kumudasmoro Grafindo

^{**)} Hadits ini dikeluarkan oleh Ibnu Hibban dalam Shahihnya (3/255). Dikeluarkan pula oleh Ibnu Abi 'Umar, Ibnu Suni dalam *'Amal Yaum wal Lailah*. (Lihat Jaami'ul Ahadits, 6/257, Asy Syamilah)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : **Hendry Wicaksana Sugianto**

NIM : **111910101040**

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul: “Pengaruh Waktu Gesek dan Sudut Chamfer Terhadap Sifat Mekanik Hasil Lasan Aluminium 6061 Pada Proses Friction Welding” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada instansi manapun, serta 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 adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 2016
Yang menyatakan,

Hendry Wicaksana S.
NIM. 111910101040

SKRIPSI

**PENGARUH WAKTU GESEK DAN SUDUT CHAMFER
TERHADAP SIFAT MEKANIK HASIL LASAN ALUMINIUM
6061 PADA PROSES FRICTION WELDING**

Oleh

Hendry Wicaksana Sugianto

NIM 111910101040

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Santoso Mulyadi S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Ir. Ahmad Syuhri, M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh Waktu Gesek dan Sudut Chamfer Terhadap Sifat Mekanik Hasil Lasan Aluminium 6061 Pada Proses Friction Welding” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal :

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua,

Sekretaris,

Santoso Mulyadi S.T., M.T..
NIP. 19700228 199702 1 001

Ir. Ahmad Syuhri, M.T..
NIP. 19670123 199702 1 001

Anggota I,

Anggota II,

Dr. Agus Triono S.T., M.T..
NIP. 19700807 200212 1 001

Dedi Dwi Laksana S.T., M.T..
NIP. 19691201 199602 1 001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M. UM
NIP. 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

Pengaruh Waktu Gesek dan Sudut Chamfer Terhadap Sifat Mekanik Hasil Lasan Aluminium 6061 Pada Proses Friction Welding; Hendry Wicaksana S., 111910101040; 2016; 103 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Aluminium 6061 adalah salah satu jenis material aluminium yang banyak digunakan dalam dunia industri. Namun dalam perkembangannya penyambungan aluminium ini masih memiliki banyak permasalahan. Aluminium tidak bisa di las menggunakan pengelasan fusi biasa. Metode yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan ini adalah *friction welding*. Pada *friction welding* proses penyambungan logam terjadi tanpa pencairan (*solid state process*), yang mana proses pengelasan terjadi sebagai akibat pengabungan 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*. Namun pada penelitian sebelumnya para peneliti hanya berfokus pada satu variasi parameter saja. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari pemvariasian dari parameter waktu dan parameter sudut *chamfer* terhadap sifat mekanik dari aluminium 6061.

Proses penelitian ini dilakukan di beberapa tempat yang berbeda. Proses penyambungan dilakukan di Laboratorium Permesinan Teknik Mesin Universitas Jember. Untuk pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Struktur Teknik Sipil Universitas Brawijaya. Pengamatan struktur mikro hasil sambungan dilakukan di Laboratorium Pengujian Bahan Teknik Mesin Universitas Brawijaya. Pengujian kekerasan dilakukan di Laboratorium Uji Bahan Teknik Mesin Universitas Jember.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi parameter 30°/120 detik memberikan hasil rata-rata yang paling baik. Sementara variasi parameter 60°/60 detik memberikan hasil rata-rata paling rendah. Pengujian tarik untuk variasi parameter 30°/120 detik menghasilkan rata-rata kekuatan tarik maksimal sebesar 15.86 N/mm², untuk variasi parameter 60°/60 detik menghasilkan rata-rata kekuatan tarik maksimal sebesar 5.16 N/mm². Sedangkan pengujian kekerasan pada daerah *Zud*, *Zpd*, dan *Zpl* untuk variasi parameter 30°/120 detik menghasilkan nilai rata-rata kekerasan 92, 99, 91 BHN. Untuk variasi parameter 60°/60 detik menghasilkan rata-rata kekerasan 79, 80, 74 BHN. Pada pengamatan mikro diketahui bahwa senyawa Mg₂Si lebih banyak tersebar pada daerah *Zpd*. Untuk variasi parameter 0°/60 detik terdapat *porosity*, sementara untuk variasi parameter 60°/60 detik terdapat cacat las *crack*.

SUMMARY

The Effect of Time Friction And Chamfer Angle to Mechanical Characteristic Aluminium 6061 Friction Welded Joint ; Hendry Wicaksana S., 111910101040; 2016; 103 pages; Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, Jember University.

Aluminum 6061 is one of aluminium material that common use industry. On the other side, the development of aluminium welding still has many problems. Aluminium can't be joined with the ordinary fusion welding. The method can be used to overcome this problem is friction welding method. Friction welding is a metal joint process which occur without melting (solid state process), the welding process occurs as a result of cobining between the rate of rotation one workpiece with compressive force that is performed by a rotating workpiece.

Friction welding method has several important parameters that can affect the mechanical properties and microstructure of welds results. The parameters include: time of friction, rotational speed, friction pressure, forging pressure and chamfer angle. However, in previous studies researchers focus on only one parameter variation alone. This study aims to determine the effect of timing parameters and parameter chamfer angle on mechanical properties of 6061.

The research process is carried out in several different places. Grafting process carried out in the Laboratory Machinery Mechanical Engineering University of Jember. For tensile test conducted at the University of Civil Engineering Structures Laboratory Brawijawa University. Microstructure observation results conducted in connection Mechanical Engineering Materials Testing Laboratory of the Brawijawa University. Hardness testing is done in the Materials Testing Laboratory of Mechanical Engineering University of Jember.

The test results showed that the variation of parameters 30° / 120s provides the average yield of the most good. While the variation of parameters 60° / 60 seconds specifies the average yield is lowest. Tensile test for parameter variation 30° / 120s produce an average of the ultimate tensile strength of 15,86 N / mm², for parameter variation 60° / 60 seconds to produce an average ultimate tensile strength of 5,16 N / mm². While testing the hardness in the area Zud, Zpd, and Zpl to parameter variations 30° / 120s resulted in the average value of hardness 92, 99, 91 BHN. For parameter variation 60° / 60 seconds to produce an average hardness 79, 80, 74 BHN. At the micro-known observation that the more dispersed Mg₂Si compound in the blood ZPD. Parameter variation 0° / 60 seconds there are porosity, while for parameter 60° / 60 seconds there are defective weld crack.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Pengaruh Waktu Gesek dan Sudut Chamfer Terhadap Sifat Mekanik Hasil Lasan Aluminium 6061 Pada Proses Friction Welding”. 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 dalam hidup ini.
2. Ayah Agus Sugianto, dan Ibu Chalimah yang telah menjadi orang tua yang sangat baik dalam hal mendidik, mengarahkan, memberi nasehat demi kehidupan penulis yang lebih baik, selalu memberikan kasih sayang, perhatian, materi, dan yang terpenting adalah doa yang selalu beliau haturkan setiap saat untuk penulis dan keluarga.
3. Mas Hengky, Mbak Mei, dan keponakan kecilku M. Yaffi yang sudah menjadi pemberi semangat, pembimbing, motivator, dan yang selalu mendoakan kebaikan untuk keluarga.
4. Bapak Santoso Mulyadi S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, Bapak Ir. Ahmad Syuhri, M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
5. Bapak Dr. Agus Triono, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Utama dan Bapak Dedi Dwilaksana, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Anggota yang telah banyak sekali memberikan saran dan berbagai pertimbangan menuju ke arah yang benar dalam penulisan skripsi ini;

6. Bapak Dosen Universitas Jember khususnya Jurusan Teknik Mesin yang telah membimbing penulis selama menjadi mahasiswa;
7. Penghuni Kontrakan Al Ikhwan Angga, Iir, Manu, Yulanta, Afif, Mahfud, Roin yang telah memberi semangat untuk menyelesaikan skripsi ini.
8. Satu tim skripsi *Friction Welding* Angga Rahmanto dan Niko yang telah banyak membantu dan member masukan tentang penulisan dan sumber-sumber referensi.
9. Ketua Angkatan BEDEBA TM 11 Universitas Jember, M. Syaifuddin Ihsan, yang telah sabar dan mengayomi dulur-dulur di angkatan 2011. Serta seluruh DULUR SAK LAWASE, Erdha, Harsono, Doni, Abid, Ropek, Agus, Aris, Farihen, Novan, Anton, Mariy, Agung Cilik, Sofyan Gundul, Yohanes, Asrofi, Ika, Novia, Yurike, Upit, Kiki, Aisyah, Pemi, Fian, Rian, Yunus, Bangkit, Imron, Sadam, Riski klit, Aang, Haqi, Riza, Anugrah, Irsad, Angga, Kahlil, Tito, Muslih, Romi, Rizki Wo, Halim, Jupri, Amril, Adam, Arif war, Arif Rahmat, Arif ngipret, Lutfi, Wildan gobes, Wildan kazik, Dani, Sinyo, Hegar, Yulius, Dimas, Ario, Mahfud, Adam, Sofyan Madura, dll. Semoga persaudaraan ini akan tetap terjaga hingga akhir waktu.
10. Saudara IKMM semuanya yang sudah menjadi tempat untuk berbagi kasih di sekret tercinta.
11. 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,

2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERSEMBAHAN	ii
MOTTO	iii
PERNYATAAN	iv
PEMBIMBING	v
PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan dan Manfaat	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pengelasan	5
2.1.1 <i>Friction Welding</i>	6
2.1.2 <i>Direct-Drive Welding</i>	7
2.2 Aluminium dan Paduannya	9
2.2.1 Pengaruh Unsur Paduan	10
2.2.2 Paduan Aluminium-Magnesium-Silicon (Seri 6061)..	11
2.3 Pengujian Tarik	12
2.3.1 Perilaku Mekanik Material.....	13

2.3.2 Mode Perpatahan Material	18
2.4 Pengujian Kekerasan	19
2.4.1 Metode indentasi	21
2.4.2 Metode Brinell.....	21
2.5 Pengamatan Mikro	23
2.5.1 <i>Cutting</i> (Pemotongan)	23
2.5.2 <i>Mounting</i>	24
2.5.3 <i>Grinding</i> (pengamplasan).....	25
2.5.4 <i>Polishing</i> (pemolesan).....	25
2.5.5 <i>Etching</i> (etsa).....	26
2.6 Aplikasi <i>Friction Welding</i>	27
BAB 3. METODE PENELITIAN	29
3.1 Metode Penelitian	29
3.2 Tempat dan Waktu	29
3.3 Alat dan Bahan	29
3.3.1 Bahan	29
3.3.2 Alat.....	30
3.4 Variabel Penelitian	30
3.4.1 Variabel Bebas.....	30
3.4.2 Variabel Terikat	31
3.4.3 Variabel Kontrol	31
3.5 Proses Pengelasan	31
3.6 Dimensi Benda Kerja	32
3.7 Proses Pengujian	33
3.4.1 Pengujian Tarik.....	33
3.4.2 Pengujian Kekerasan.....	34
3.4.3 Pengamatan Mikro.....	35
3.8 Teknik Penyajian Data	36

3.9 Hipotesis	36
3.10 Diagram Alir Penelitian	37
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	38
4.1 Hasil Pengelasan <i>Friction Welding</i> dan Pembahasan Analisa Visual	38
4.2 Hasil dan Pembahasan Uji Tarik	39
4.3 Hasil dan Pembahasan Uji Kekerasan	43
4.4 Hasil dan Pembahasan Pengamatan Mikro.....	50
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	55
5.1 Kesimpulan	55
5.2 Saran	56
DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN.....	61

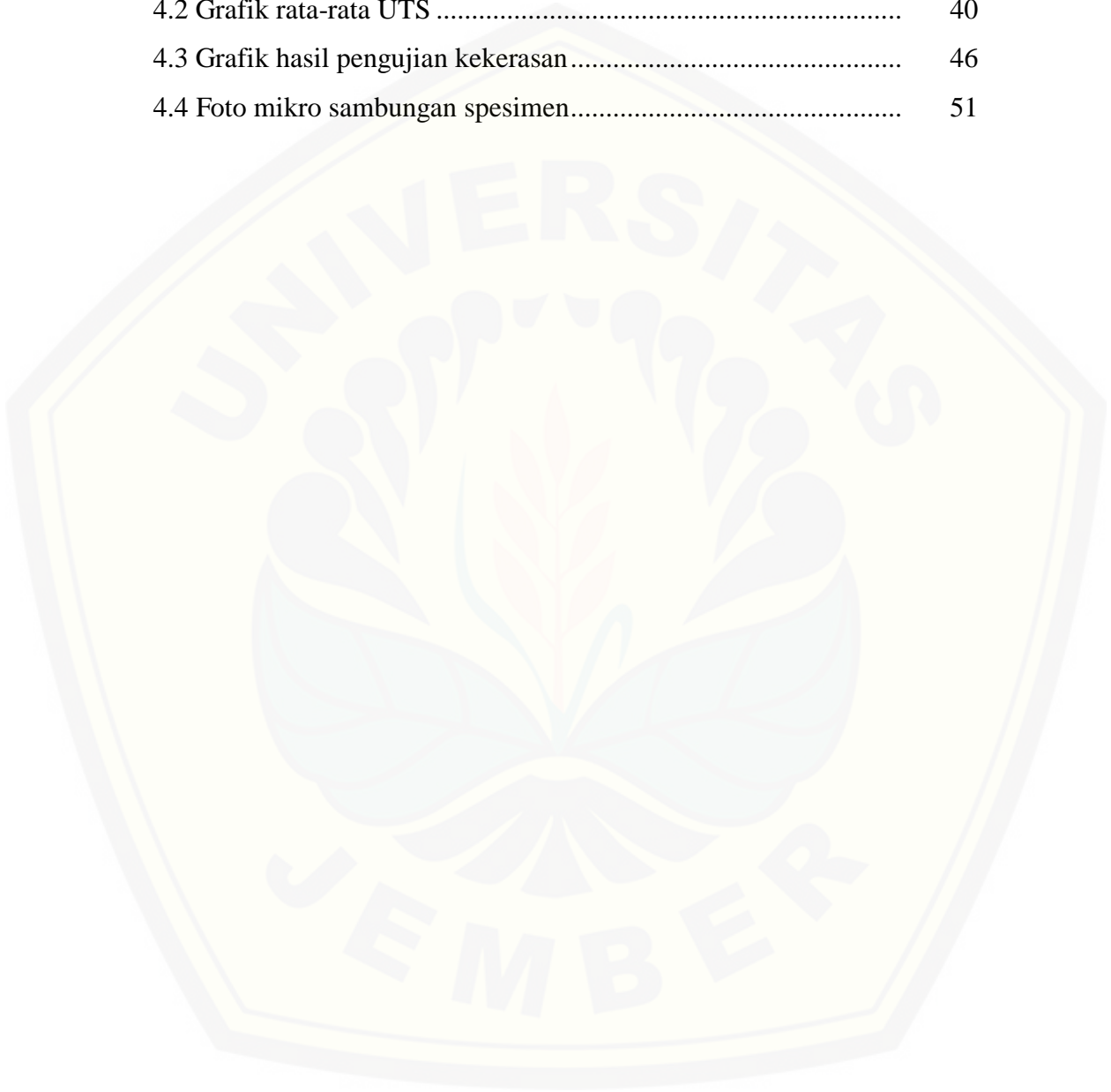
DAFTAR TABEL

3.1 Parameter Pengujian	33
4.1 Rata-rata hasil pengujian tarik	40
4.2 Hasil pengujian kekerasan variasi parameter waktu gesek 60 detik 44	
4.3 Hasil pengujian kekerasan variasi parameter waktu gesek 120 detik 45	
4.4 Rata-rata hasil pengujian kekerasan.....	46
4.4 Komposisi kimia AA 6061	54

DAFTAR GAMBAR

2.1 Klasifikasi Pengelasan	5
2.2 Skema <i>friction welding</i>	7
2.3 Skema <i>Direct-drive welding</i>	8
2.4 Hubungan antara parameter proses pengelasan <i>Direct-drive welding</i>	8
2.5 Diagram fasa paduan Al-Mg ₂ Si	11
2.6 Sifat Aluminium Paduan Al-Mg-Si seri 6061	12
2.7 Spesimen uji tarik	12
2.8 Kurva tegangan-regangan dari sebuah benda uji terbuat baja ulet	14
2.9 Kurva tegangan-regangan dari sebuah benda uji terbuat dari bahan getas	15
2.10 Perbandingan antara kurva tegangan-regangan rekayasa dan sesungguhnya dari baja karbon rendah (<i>mild steel</i>).....	18
2.11 Ilustrasi penampang samping bentuk perpatahan benda uji tarik sesuai dengan tingkat keuletan/kegetasan.....	19
2.12 Hubungan antara kekerasan dan kekuatan tarik pada besi cor, tembaga dan baja.....	20
2.13 Skematis prinsip indentasi dengan metode Brinell	22
2.12 Hasil indentasi Brinell berupa jejak berbentuk lingkaran dengan ukuran diameter dalam skala mm	22
2.15 <i>Drive Shaft</i>	28
3.1 Skema alat <i>Direct-Drive Friction Welding</i>	32
3.2 Rancangan spesimen yang akan disambung	32
3.3 Daerah pengujian kekerasan	35
3.3 Diagram Alir Penelitian	37

4.1 Tampilan penampang melintang dari sambungan <i>friction welding</i> 38	
4.2 Grafik rata-rata UTS	40
4.3 Grafik hasil pengujian kekerasan.....	46
4.4 Foto mikro sambungan spesimen.....	51



DAFTAR LAMPIRAN

A.1 Alat dan Bahan	61
A.2 Hasil pembuatan spesimen.....	64
A.3 ASTM E8/E8M - 09	
A.4 ASTM E 10 - 01	
A.5 ASTM E 3 - 95	
A.6 ASTM E 340 - 00	
A.7 Grafik Pengujian Tarik	

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada era globalisasi ini pengelasan merupakan salah satu proses penting dalam industri manufaktur. Pengelasan adalah penyambungan setempat antara dua buah logam atau lebih dengan memanfaatkan energi panas. Sedangkan menurut *American Welding Society (AWS)* 1989, pengelasan adalah proses penyambungan logam atau non logam dengan memanaskan material yang akan disambung hingga temperatur las yang dilakukan dengan atau tanpa penekanan, hanya dengan tekanan, atau dengan atau tanpa menggunakan logam pengisi. Pengelasan logam bertujuan untuk membuat suatu barang yang tidak mungkin dilakukan dengan teknik lain kemudian memudahkan pekerjaan, dan menekan biaya produksi.

Salah satu bahan yang banyak digunakan dalam industri manufaktur adalah aluminium. Jenis aluminium yang sering digunakan dalam industri yaitu aluminium seri 6061. Aluminium 6061 tergolong aluminium seri 6xxx dengan elemen padu magnesium dan silikon, paduan jenis ini termasuk dalam jenis yang dapat di *heat treatment* dan mempunyai sifat mampu potong dan daya tahan korosi yang cukup baik. Namun dalam perkembangannya penyambungan aluminium ini masih memiliki banyak permasalahan. Aluminium tidak bisa di las menggunakan pengelasan fusi biasa karena aluminium merupakan konduktor panas yang mempunyai konduktivitas termal mendekati $\frac{2}{3}$ konduktivitas termal tembaga sehingga sulit mengkonsentrasikan pemanasan hanya pada daerah lasan saat dilakukan pengelasan dengan menggunakan las busur atau las gas.

Metode yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan ini 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. Gesekan kedua permukaan benda kerja tersebut akan menghasilkan panas yang dapat melumerkan kedua ujung benda kerja yang bergesekan sehingga mampu melumerkan dan akhirnya terjadi proses penyambungan.

Beberapa keuntungan dari *friction welding* ini adalah penghematan material, memerlukan waktu yang cepat untuk penyambungan dua material yang sama maupun berbeda. *Friction welding* juga dapat menyambung material yang bulat maupun tidak bulat. Adapun parameter penting dalam proses pengelasan gesek (*friction welding*) meliputi waktu gesek, tekanan gesek, kecepatan putar, waktu tempa dan tekanan tempa. Faktor lain yang turut mempengaruhi hasil las gesek adalah sudut *chamfer*.

Kuswandi (2010) dalam penelitiannya melakukan pengelasan gesek pada material aluminium paduan dan menyimpulkan bahwa kekuatan impaknya akan menurun seiring dengan bertambahnya *friction time*. Kekuatan impak rata-rata tertinggi terjadi pada sambungan las gesek dengan *friction time* 60 detik sebesar 177,41 N.mm/mm², dan kekuatan impak rata-rata terendah terjadi pada sambungan las gesek dengan *friction time* 180 detik sebesar 102,51 N.mm/mm².

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. Kekuatan tarik rata-rata tertinggi terjadi pada waktu gesek 45 detik/1600 rpm sebesar 61,07 MPa, dan kekuatan tarik rata-rata terendah terjadi pada waktu gesek 20 detik/1600 rpm sebesar 28,81 MPa.

Panata (2013) dalam penelitiannya yang berjudul Analisis sifat mekanik dan struktur mikro Aluminium paduan seri 6061 hasil pengelasan *friction welding* dengan variasi sudut menyimpulkan bahwa rata-rata *Ultimate Tensile Strength* (UTS) tertinggi terjadi pada pengelasan dengan menggunakan sudut pengelasan 30⁰ adalah 124,3 MPa dan rata-rata *Ultimate Tensile Strength* (UTS) terendah didapat pada pengelasan dengan menggunakan sudut pengelasan 15⁰ adalah 49,3 MPa.

Dari beberapa penelitian diatas para peneliti hanya melakukan penelitian pada satu variasi parameter saja yaitu variasi pada waktu gesek saja atau variasi pada pemberian sudut *chamfer* saja. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari pemvariasian dari parameter waktu dan parameter sudut *chamfer* terhadap sifat mekanik dari aluminium 6061.

1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian latar belakang di atas berikut ini adalah rumusan masalah dari penelitian ini :

1. Bagaimanakah pengaruh waktu gesek dan sudut *chamfer* terhadap kekuatan tarik sambungan las gesek pada Aluminium 6061.
2. Bagaimanakah pengaruh waktu gesek dan sudut *chamfer* terhadap struktur mikro sambungan las gesek pada Aluminium 6061.
3. Bagaimanakah pengaruh waktu gesek dan sudut *chamfer* terhadap kekerasan sambungan las gesek pada Aluminium 6061.

1.3 Batasan Masalah

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

1. Proses yang dilakukan adalah *Direct Drive Friction Welding*.
2. Proses pengelasan gesek langsung dilakukan pada temperatur kamar (30° C).
3. Tidak membahas distribusi temperatur pada proses pengelasan gesek.
4. Seluruh pengukuran variabel pengelasan dianggap tepat seperti pada alat pengukuran.
5. Kondisi peralatan yang digunakan saat pengambilan data diasumsikan terkalibrasi.
6. Tekanan gesek dan tekanan tempa diasumsikan tidak mengalami perubahan selama proses berlangsung.
7. Kecepatan putar diasumsikan tidak mengalami perubahan selama proses berlangsung.
8. Tegangan sisa yang terjadi pada proses pengelasan diabaikan

9. Kekasaran permukaan benda kerja yang akan di las diasumsikan sama.
10. Pengujian yang dilakukan hanya uji tarik, uji kekerasan dan pengamatan mikro.

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.4.1 Tujuan

Adapun tujuan penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh waktu gesek dan sudut *chamfer* terhadap kekuatan tarik sambungan las gesek pada Aluminium 6061.
2. Mengetahui pengaruh waktu gesek dan sudut *chamfer* terhadap struktur mikro sambungan las gesek pada Aluminium 6061.
3. Mengetahui pengaruh waktu gesek dan sudut *chamfer* terhadap kekerasan sambungan las gesek pada Aluminium 6061.

1.4.2 Manfaat

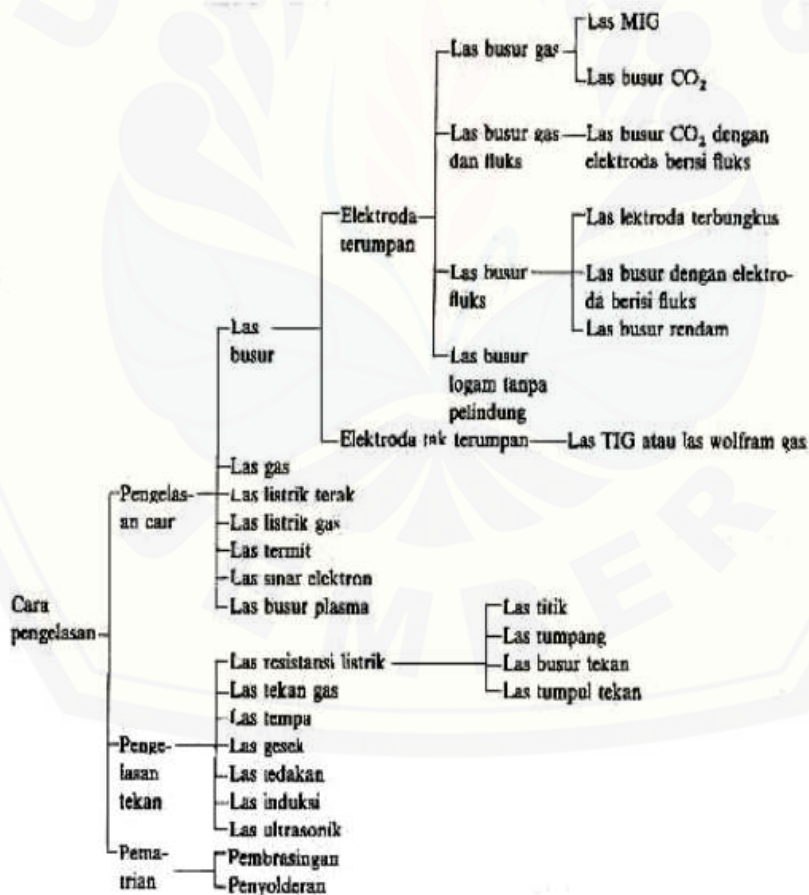
Penelitian ini diharapkan mampu memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Dapat mengaplikasikan teori yang didapat selama perkuliahan khususnya yang berhubungan dengan pengelasan aluminium.
2. Sebagai usaha pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang selalu berkembang searah dengan perkembangan zaman.
3. Sebagai dasar acuan sehingga dapat dilakukan penelitian lebih lanjut.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengelasan

Pengelasan adalah proses penyambungan logam akibat panas dengan atau tanpa pengaruh tekanan (Djapire, 1997:162). Las juga dapat didefinisikan sebagai ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan cair (Wirjosumarto, 2000:1). Berdasarkan cara pengelasannya klasifikasi pengelasan dijelaskan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Klasifikasi Pengelasan. (Sumber: Wirjosumarto, 2000:8)

Penggolongan jenis las menurut cara kerjanya dibagi dalam (Wiryosumarto, 2000:7):

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

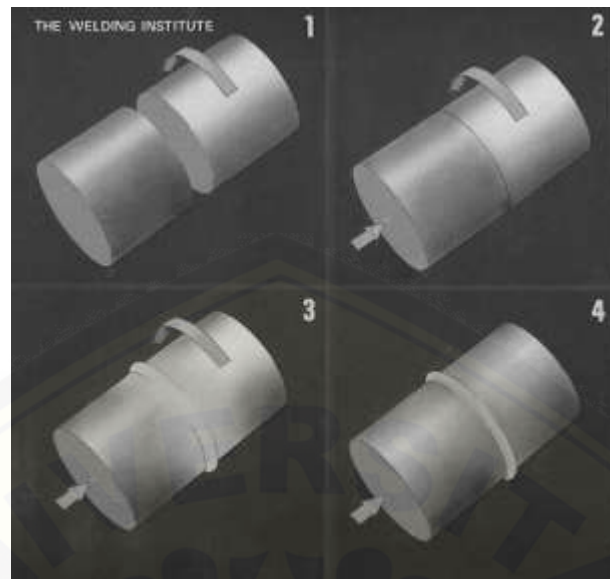
Pengelasan dimana sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu.

3. Pematrian

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

2.1.1 *Friction Welding*

Friction welding (las gesek) merupakan proses penyambungan logam dalam keadaan *solid state* yang memanfaatkan panas dari gesekan pada permukaan dari bagian yang akan disambung (Setyawan, et. al, 2014). Gesekan kedua permukaan benda kerja tersebut akan menghasilkan panas yang dapat melumerkan kedua ujung benda kerja yang bergesekan sehingga mampu melumerkan dan akhirnya terjadi proses penyambungan. Proses ini memanfaatkan energi panas dari daerah lasan secara efisien sehingga memungkinkan untuk mendistribusikan panas secara merata pada permukaan yang akan disambung. Selama proses pengelasan, permukaan ditekan dan pada tahap ini disebut tahap pemanasan kontinu hingga temperatur deformasi plastis tercapai kemudian kedua material yang disambung menjadi dingin dan membentuk ikatan dalam keadaan padat (Uzkut, et. al, 2010). Skema *friction welding* ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Skema *friction welding* (sumber: Mathers, 2002:160)

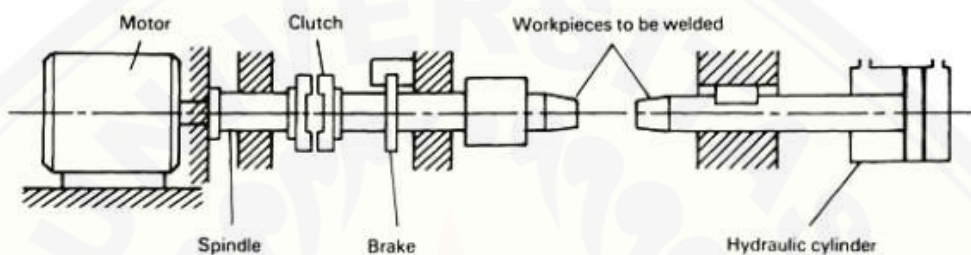
Beberapa keunggulan las gesek jika dibandingkan dengan las fusi atau las resistansi listrik antara lain tidak menggunakan logam pengisi atau gas pelindung, dan tidak menghasilkan emisi UV dan lelehan logam (Blondeau, 2008:449). Selain itu juga pada pengelasan gesek penghematan material, waktu pemrosesan yang cepat, serta dapat menyambung dua material yang berbeda ataupun sama jenis. Serta dapat menyambung material berbentuk silinder ataupun material dengan penampang persegi (Santoso, et. al, 2012).

Pada pengelasan gesek terdapat dua metode yaitu *direct-drive welding* dan *inertia-drive welding*. *Direct-drive welding* atau bisa disebut dengan pengelasan gesek konvensional menggunakan putaran motor dengan kecepatan konstan yang menghasilkan energi untuk proses pengelasan. Sementara *inertia-drive welding* memanfaatkan *flywheel* untuk menghasilkan energi untuk proses pengelasan (ASM Handbook).

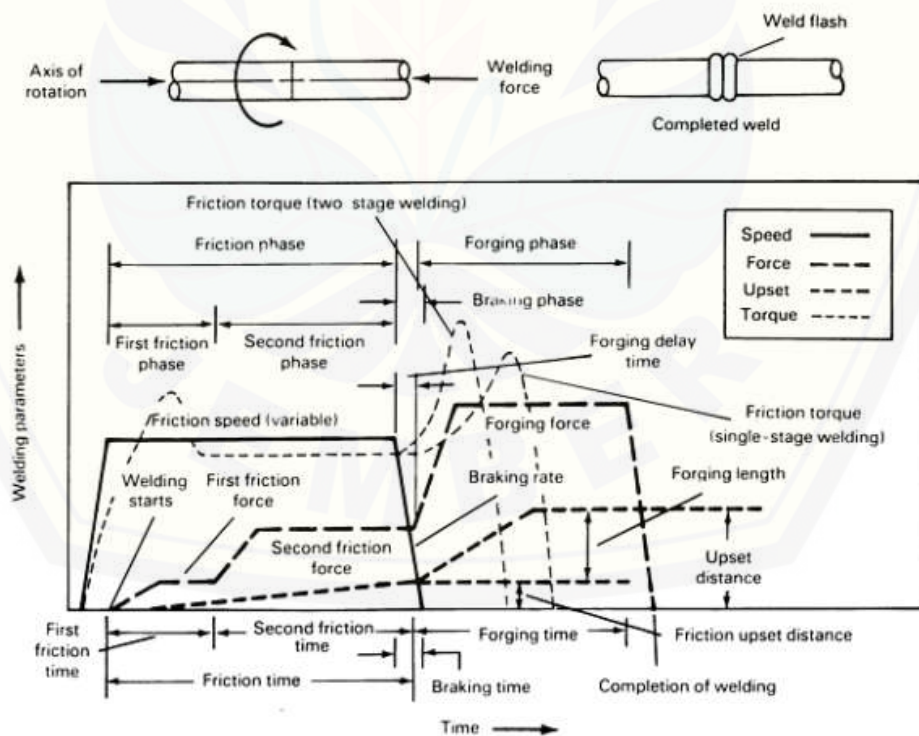
2.1.2 *Direct-Drive Welding*

Pada *Direct-drive welding* salah satu benda kerja dicekam pada motor penggerak dan berputar dengan kecepatan konstan sementara gaya aksial diberikan pada benda kerja yang diam. Skema pengelasan *Direct-drive welding*

ditunjukkan pada gambar 2.3. Benda kerja yang diam harus dicekam dengan kaku untuk mencegahnya ikut berputar. Putaran terus dilakukan hingga seluruh permukaan yang disambung mencapai temperatur yang diinginkan. Kemudian putaran dihentikan dan gaya tekan diberikan pada proses akhir pengelasan. Pada kasus ini parameter proses pengelesan gesek ini antara lain kecepatan putar, gaya tekan aksial, waktu pengelasan dan tekanan tempa. Hubungan antara parameter proses pengelasan ini ditunjukkan pada gambar 2.4



Gambar 2.3 Skema *Direct-drive welding* (sumber: ASM HANDBOOK)



Gambar 2.4 Hubungan antara parameter proses pengelasan *Direct-drive welding* (sumber: ASM HANDBOOK)

Pemberian tekanan tempa dapat dilakukan dengan dua cara. Cara pertama dengan memberikan tekanan tempa yang lebih besar ketika *spindle* mengalami perlambatan putaran. Cara kedua memberikan tekanan tempa saat *spindle* berhenti berputar pada akhir fasa berhenti. Pada kasus pertama torsi akan meningkat dan menghasilkan gaya torsi, sedangkan pada kasus kedua karena pengereman yang cepat torsi gesekan tidak dapat meningkat dan mulai menurun pada fase penempaan. Pada kasus kedua tidak ada gaya torsi dan penempaan hanya dipengaruhi oleh gaya tekan.

2.2 Aluminium dan Paduannya

Aluminium dan paduannya merupakan logam ringan yang mempunyai kekuatan yang tinggi, ketahanan terhadap korosi yang baik, dan daya hantar listrik yang baik serta sifat-sifat baik lainnya sebagai sifat logam (Wiryosumarto, 2000:113). Penambahan unsur paduan lain seperti Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, dan sebagainya, secara satu persatu atau bersama-sama akan meningkatkan kekuatan mekaniknya (Surdia, 200:129).

Paduan aluminium dapat diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu (Wiryosumarto, 2000:113) :

1. Berdasarkan pembuatan

Ada dua jenis yaitu paduan cor dan paduan tempa. Paduan coran dinyatakan dengan 3 angka, sedangkan paduan tempa dinyatakan dengan satu atau dua angka "S". (Surdia, 2000:135)

2. Berdasarkan perlakuan panas

Ada dua jenis yaitu paduan yang dapat dan tidak dapat diperlakukan-panaskan. Paduan yang dapat diperlakukan-panaskan adalah paduan yang kekuatannya dapat diperbaiki dengan *hardening* dan *tempering*, sedangkan paduan yang tidak dapat diperlakukan-panaskan kekuatannya hanya dapat diperbaiki dengan pengerjaan dingin. (Wiryosumarto, 2000:113)

3. Berdasarkan unsur-unsur paduan

Klasifikasi jenis ini menggunakan penandaan dengan 4 angka sebagai berikut : angka pertama menyatakan kemurnian dalam paduan dengan unsur

paduannya. Angka pada tempat kedua menyatakan kemurnian dalam paduan yang dimodifikasi dan Al murni sedangkan angka ketiga dan keempat dimaksudkan untuk tanda klasifikasi terdahulu. Berdasarkan klasifikasi ini aluminium dibagi dalam tujuh jenis yaitu : 1: Al murni, 2: Al-Cu, 3: Al-Mn, 4: Al-Si, 5: Al-Mg, 6: Al-Mg-Si dan 7: Al-Zn (Surdia, 2000:135).

2.2.1 Pengaruh Unsur Paduan

1. Penambahan Tembaga (Cu)

Penambahan tembaga (Cu) akan meningkatkan kekuatan dalam paduan aluminium. Kandungan tembaga (Cu) dalam aluminium menyebabkan ketahanan korosinya menjadi jelek, jadi apabila ketahanan korosi yang khusus diperlukan permukaannya dilapisi dengan Al murni atau paduan Al yang tahan korosi yang disebut pelat alklad (Surdia, 2000:136).

2. Penambahan Mangan (Mn)

Penambahan mangan (Mn) akan memperkuat aluminium (Al) tanpa mengurangi ketahanan korosinya dan dipakai untuk membuat paduan yang tahan korosi. Paduan Al ini digunakan sebagai paduan tahan korosi tanpa perlakuan panas (Surdia, 2000:136) .

3. Penambahan Silikon (Si)

Penambahan Silikon (Si) mampu memperbaiki beberapa sifat dari paduan aluminium. Sifat paduan dari Al-Si ini mempunyai ketahanan korosi yang baik, sangat ringan, koefisien pemuaian termal yang kecil dan sebagai penghantar yang baik untuk listrik dan panas (Surdia, 2000:138).

4. Penambahan Magnesium (Mg)

Penambahan magnesium (Mg) akan membuat aluminium (Al) mempunyai ketahanan terhadap korosi yang sangat baik, dapat mudah ditempa, dirol dan diekstrusi (Surdia, 2000:139).

5. Penambahan Magnesium-Silikon (Mg-Si)

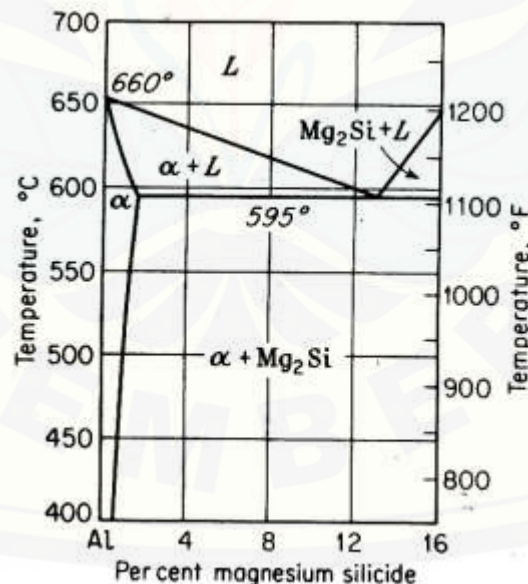
Penambahan magnesium-silikon (Mg-Si) akan membuat aluminium (Al) mempunyai sifat mampu bentuk yang baik dan tahan korosi. Paduan Al ini juga dapat diperkuat dengan perlakuan panas setelah pengerjaan (Surdia, 2000:140).

6. Penambahan Magnesium-Zink (Mg-Zn)

Paduan magnesium-zink (Mg-Zn) dengan Al ini mempunyai sifat patah getas oleh retakan korosi regangan. Paduan ini mempunyai kekuatan tertinggi di antara paduan-paduan lainnya.

2.2.2 Paduan Aluminium-Magnesium-Silicon (Seri 6061)

Magnesium dan silica menjadi unsur paduan yang sangat penting bagi paduan aluminium seri 6061 karena magnesium dan silica akan membentuk karbida Mg_2Si yang menyebabkan paduan seri 6061 ini bisa diberikan perlakuan panas untuk memperbaiki sifat mekaniknya. Hal ini disebabkan karena senyawa Mg_2Si berkelakuan panas sebagai komponen murni dan membuat keseimbangan dari sistem biner semu dengan Al (Surdia, 2000:139). Gambar 2.5 menunjukkan fasa paduan Al- Mg_2Si . Penambahan dari unsur paduan Mg dan Si dibatasi 0,03% - 0,1% untuk menghindari agar paduan ini tidak menjadi getas (Heine dalam Kuswandi, 2010).



Gambar 2.5 Diagram fasa paduan Al- Mg_2Si . (sumber: Heine dalam Kuswandi, 2010).

Pada diagram terlihat bahwa kelarutan Mg_2Si semakin menurun terhadap larutan padat Al dari temperatur tinggi ke temperatur yang lebih rendah (Surdia,

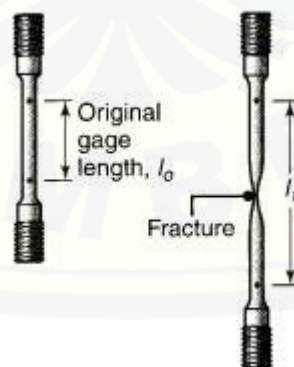
2000:140). Kelarutan Mg_2Si dalam Aluminium/fasa α terjadi sampai 16% pada $595^{\circ}C$. Selain itu, titik cair terendah untuk mencairkan Al-Mg-Si pada temperatur $595^{\circ}C$ dengan komposisi 13% Mg_2Si dan 87% Al. Beberapa sifat yang dimiliki paduan Al-Mg-Si seri 6061 ditunjukkan dalam Gambar 2.6

Paduan	Keadaan	Kekuatan tarik (kgf/mm ²)	Kekuatan mulur (kgf/mm ²)	Perpanjangan (%)	Kekuatan geser (kgf/mm ²)	Kekerasan Brinell	Batas leleh (kgf/mm ²)
6061	O	12,6	5,6	30	8,4	30	6,3
	T4	24,6	14,8	28	16,9	65	9,5
	T6	31,6	28,0	15	21,0	95	9,5

Gambar 2.6 Sifat Aluminium Paduan Al-Mg-Si seri 6061 (sumber : surdia, 2000)

2.3 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 2.7. 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, 2009:57).



Gambar 2.7 Spesimen uji tarik (sumber : kalpakjian, 2009)

Pada uji tarik, kedua ujung benda dijepit; salah satu ujung dihubungkan dengan perangkat pengukur beban dari mesin uji dan ujung lainnya dihubungkan

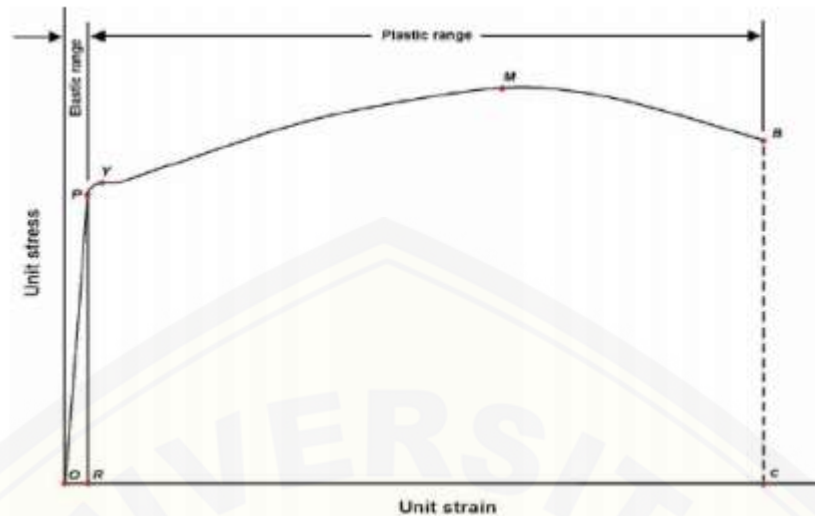
ke perangkat peregang (Djaprie, 2000:214). Benda uji diberi beban gaya tarik sesumbu yang bertambah besar secara kontinu, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan mengenai perpanjangan yang dialami benda uji (Djaprie, 1996:277). Data yang didapat berupa perubahan panjang dan perubahan beban yang selanjutnya ditampilkan dalam bentuk grafik tegangan-regangan, sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 2.8. Data-data penting yang diharapkan didapat dari pengujian tarik ini adalah: perilaku mekanik material dan karakteristik perpatahan (Yuwono, 2009).

2.3.1 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. Informasi penting yang bisa didapat adalah:

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 $\sigma = E\varepsilon$ (bandingkan dengan hubungan $y = mx$; dimana y mewakili tegangan; x mewakili regangan dan m mewakili slope kemiringan dari modulus kekakuan). Titik P pada Gambar 2.7 di bawah ini menunjukkan batas proporsionalitas dari kurva tegangan- regangan.



Gambar 2.8 Kurva tegangan-regangan dari sebuah benda uji terbuat baja ulet

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*). Titik luluh ditunjukkan oleh titik Y pada Gambar 2.8 di atas. 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 2.9 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 2.9 Kurva tegangan-regangan dari sebuah benda uji terbuat dari bahan getas

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:

- Tidak boleh dilewati dalam penggunaan struktural (*in service*)
- 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 σ_{uts} ditentukan dari beban maksimum F_{maks} dibagi luas penampang awal A_o .

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

Pada bahan ulet tegangan maksimum ini ditunjukkan oleh titik M (Gambar 2.9) dan selanjutnya bahan akan terus berdeformasi hingga titik B. Bahan yang bersifat getas memberikan perilaku yang berbeda dimana tegangan maksimum sekaligus tegangan perpatahan (titik B pada Gambar 2.9). 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 perpatahan. 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 perpatahan terhadap panjang.

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

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 perpatahan 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*). Pada grafik tegangan-regangan (Gambar 2.8 dan 2.9), modulus kekakuan tersebut dapat dihitung dari *slope* kemiringan garis elastis yang linier, diberikan oleh:

$$E = \sigma / \epsilon \text{ atau } E = \tan \alpha \quad (2.4)$$

Dimana α 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.

- g. Modulus kelentingan (*modulus of resilience*)

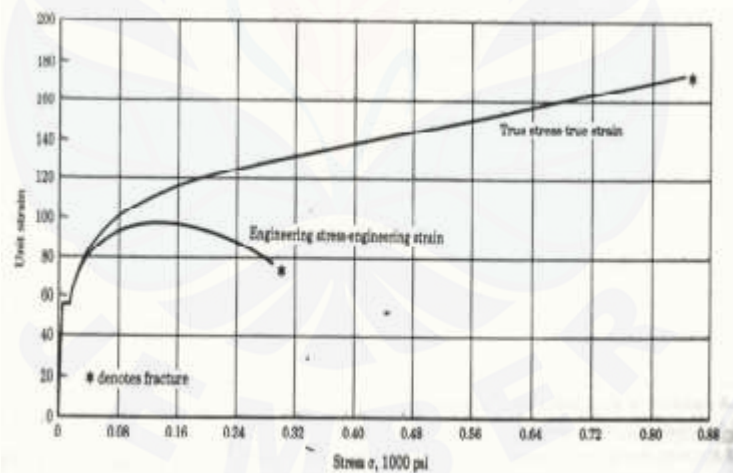
Mewakili kemampuan material untuk menyerap energi dari luar tanpa terjadinya kerusakan. Nilai modulus dapat diperoleh dari luas segitiga yang dibentuk oleh area elastis diagram tegangan-regangan pada Gambar 2.8.

- h. Modulus ketangguhan (*modulus of toughness*)

Merupakan kemampuan material dalam menyerap energi hingga terjadinya perpatahan. Secara kuantitatif dapat ditentukan dari luas area keseluruhan di bawah kurva tegangan-regangan hasil pengujian tarik seperti Gambar 2.8. 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.

i. Kurva tegangan-regangan rekayasa dan sesungguhnya

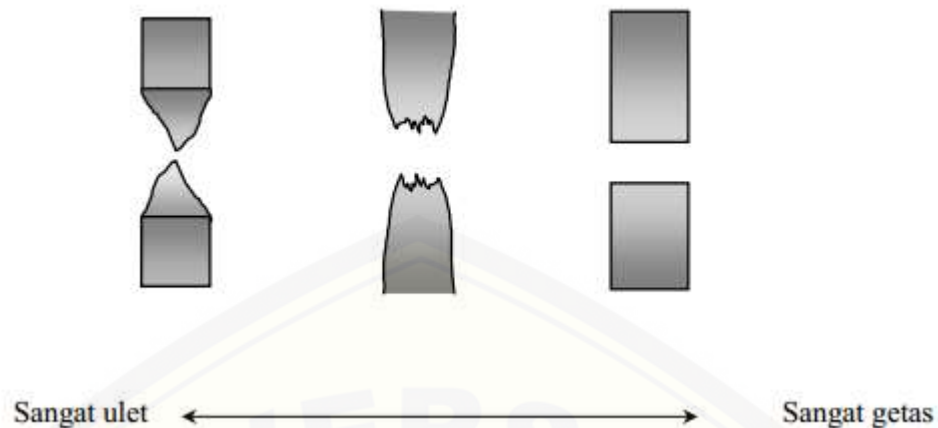
Kurva tegangan-regangan rekayasa didasarkan atas dimensi awal (luas area dan panjang) dari benda uji, sementara untuk mendapatkan kurva tegangan-regangan sesungguhnya diperlukan luas area dan panjang aktual pada saat pembebanan setiap saat terukur. Perbedaan kedua kurva tidaklah terlalu besar pada regangan 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 $\sigma = P/A$. Gambar 2.10 di bawah ini memperlihatkan contoh kedua kurva tegangan-regangan tersebut pada baja karbon rendah (*mild steel*).



Gambar 2.10 Perbandingan antara kurva tegangan-regangan rekayasa dan sesungguhnya dari baja karbon rendah (*mild steel*)

2.3.2 Mode Perpatahan Material

Sampel hasil pengujian tarik dapat menunjukkan beberapa tampilan perpatahan seperti diilustrasikan oleh Gambar 2.11 di bawah ini:



Gambar 2.11 Ilustrasi penampang samping bentuk perpatahan benda uji tarik sesuai dengan tingkat keuletan/kegetasan

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

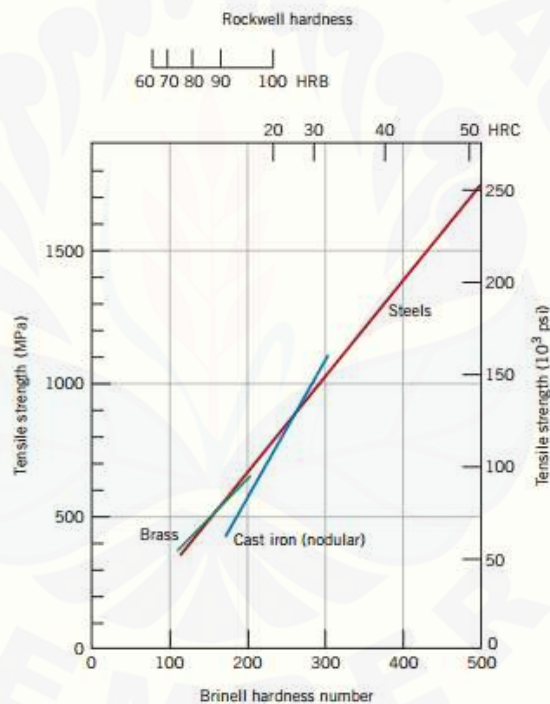
Pengamatan kedua tampilan perpatahan itu dapat dilakukan baik dengan mata telanjang maupun dengan bantuan *stereoscan macroscope*. Pengamatan lebih detail dimungkinkan dengan penggunaan SEM (*Scanning Electron Microscope*).

2.4 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, 2000:32). 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, 2000:216).

Pengujian kekerasan ini memiliki beberapa keuntungan antara lain (Callister, 2007:155) :

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 (lihat gambar 2.12).



Gambar 2.12 Hubungan antara kekerasan dan kekuatan tarik pada besi cor, tembaga dan baja. (sumber : callister, 2007)

Pada prinsipnya pengujian kekerasan ini mempunyai tiga metode yaitu penggosokan (*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).

2.4.1 Metode indentasi

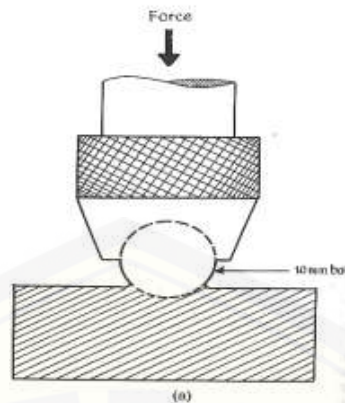
Pengujian dengan metode ini dilakukan dengan penekanan benda uji dengan indenter dengan gaya tekan dan waktu indentasi yang ditentukan. Kekerasan suatu material ditentukan oleh dalam ataupun luas area indentasi yang dihasilkan (tergantung jenis indenter dan jenis pengujian). Berdasarkan prinsip bekerjanya 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).

2.4.2 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 2.13. Hasil penekanan adalah jejak berbentuk lingkaran bulat, yang harus dihitung diameternya di bawah mikroskop khusus pengukur jejak. Contoh pengukuran hasil penjeakan diberikan oleh Gambar 2.13. Pengukuran nilai kekerasan suatu material diberikan oleh rumus:

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

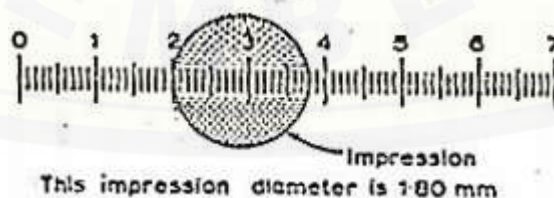
dimana P adalah beban (kg), D diameter indenter (mm) dan d diameter jejak (mm).



Gambar 2.13 Skematis prinsip indentasi dengan metode Brinell

(sumber : 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. Contoh: 75 HB 10/500/30 menyatakan nilai kekerasan Brinell sebesar 75 dihasilkan oleh suatu pengujian dengan indenter 10 mm, pembebanan 500 kg selama 30 detik.



Gambar 2.14 Hasil indentasi Brinell berupa jejak berbentuk lingkaran dengan ukuran diameter dalam skala mm. (sumber : Yuwono, 2009)

2.5 Pengujian 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 pula. 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 kemungkina 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 eksotermis 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 ketidakraturan 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/in² 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 silicon karbit (SiC) dengan berbagai tingkat kekasaran yang ukuran butir abrasifnya dinyatakan dengan mesh, yaitu kombinasi dari 220, 330, 500, 600, 800, dan 1000. 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 ketidakrataan 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 pinggiran 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 / nital (asam nitrat + alcohol 95%), picral (asam picric + alcohol), ferric chloride, hydrofluoric acid, dll. 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 Aplikasi *Friction Welding*

Metode *friction welding* telah banyak dipergunakan sebagai salah satu metode penyambungan beberapa komponen permesinan dalam bidang otomotif, industri perkapalan dan industri militer (Hadi, 2011). Selain itu penerapan metode *friction welding* ini juga banyak dilakukan oleh para peneliti. Pada penelitian sebelumnya metode *friction welding* diterapkan untuk membuat beberapa produk. Efendi (2011) menerapkan metode *friction welding* dengan benda kerja St41 sebagai alternatif pengganti proses produksi as roda sepeda motor. Husodo (2013) melakukan penyambungan dua buah logam baja karbon St41 pada produk *back spring pin*. Polami (2014) melakukan proses *friction welding* untuk menghasilkan komponen *drive pinion* pada kendaraan berat.

Aluminium 6061 merupakan material yang banyak digunakan dalam industri automotif (Taban, 2009). Salah satu komponen mobil yang terbuat dari aluminium 6061 adalah *drive shaft*. *Drive shaft* adalah sebuah komponen mekanik yang berfungsi untuk meneruskan putaran dan daya serta menghubungkan motor penggerak dengan komponen lain yang tidak dapat dihubungkan langsung (Bhajantri, 2014). *Drive shaft* terdiri dari dua komponen penyusun yaitu *sleeve yoke tube* dan bagian *shaft*. Metode *friction welding* ini dapat diterapkan sebagai alternatif proses manufaktur *drive shaft* untuk menyambungkan bagian *sleeve yoke tube* dengan bagian *shaft*. Contoh produk dari *drive shaft* ditampilkan pada gambar 2.15.



Gambar 2.15 *Drive Shaft*



BAB 3. METODE 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 ini dimulai pada bulan Juli 2015 sampai dengan Agustus 2015. 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 Laboratorium. Pengamatan mikro dilakukan di Laboratorium Desain Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

3.3 Bahan dan Alat

3.3.1 Bahan

1. Poros Aluminium paduan Al-Mg-Si seri 6061 dengan diameter 19 mm (*solid round*) dan kedua ujung benda kerja dibentuk *chamfer*.
2. Bahan Etsa

Bahan Etsa digunakan untuk membuat struktur permukaan benda tampak jelas. Mengetsa 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
2. Kertas gosok
3. Mesin *grinding-polishing*
4. Gergaji
5. Jangka sorong
6. Gerinda
7. *Stopwatch*
8. Alat ukur tekanan gesek dan tempa
9. Alat Uji Tarik
10. Alat Uji Kekerasan
11. Mikroskop

3.4 Variabel Penelitian

3.4.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan sebelum dilakukan penelitian. Variabel bebas yang digunakan adalah sudut *chamfer* dengan variasi sudut 0° , 30° , 60° dan waktu pengelasan dengan variasi waktu gesek 60 detik dan 120 detik.

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 tarik, kekerasan, dan struktur mikro.

3.4.3 Variabel Kontrol

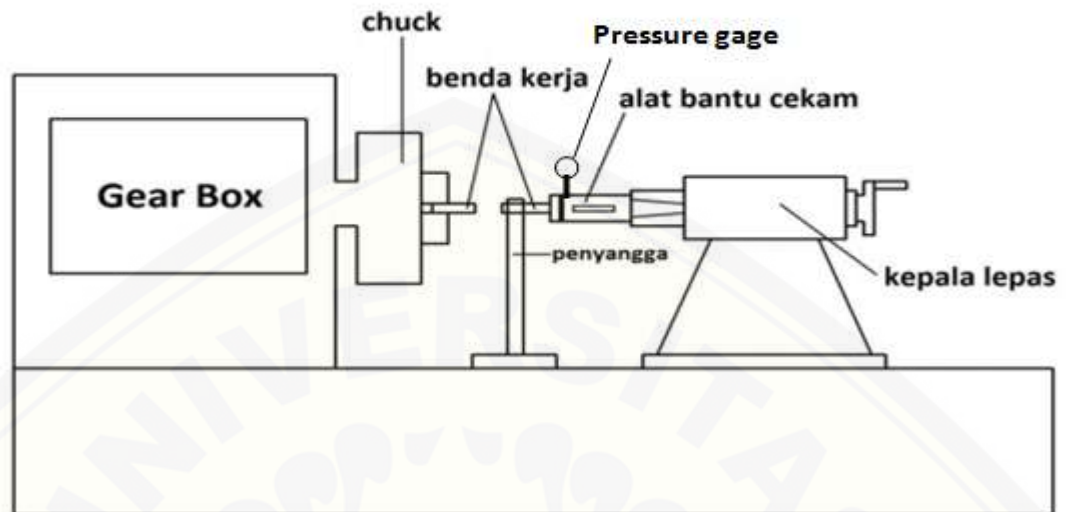
Variabel kontrol adalah variabel yang besarnya dikendalikan selama penelitian. Dalam penelitian ini yang menjadi variabel kontrol adalah:

1. Gaya tekan pengelasan 15 kg/cm²
2. Gaya tekan akhir 75 kg/cm²
3. Waktu *preheating* 10 detik
4. Waktu tekan 30 detik
5. *RPM Spindle* 800 rpm

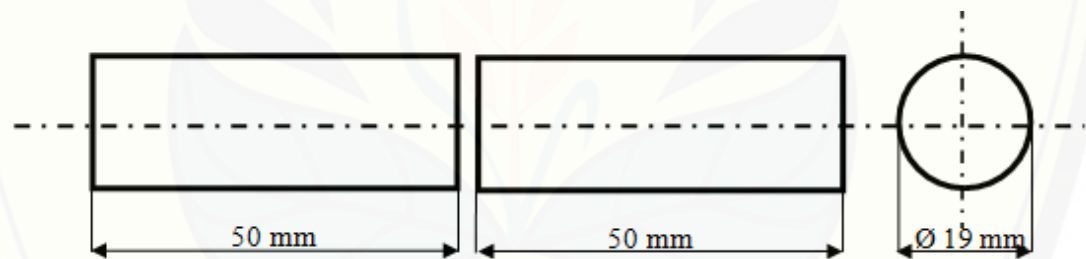
3.5 Proses Pengelasan

Berikut ini adalah langkah-langkah dalam proses pengelasan dengan metode *Direct Drive Friction Welding* :

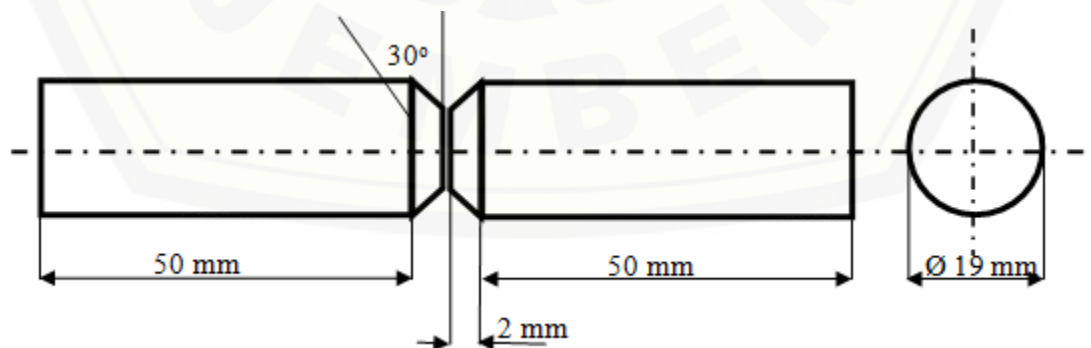
1. Spesimen terlebih dahulu dibubut pada permukaan yang akan digesek, kemudian dibersihkan dari kotoran dan minyak.
2. Membuat *chamfer* dengan sudut 30° dan 60° pada beberapa spesimen yang akan disambung.
3. Spesimen dicekam pada alat pencekam yang terpasang pada kepala lepas dan *rotating chuck* kemudian diberi tekanan gesek sebesar 15 kg/cm².
4. Mesin dinyalakan dengan *RPM* 800.
5. Menghitung waktu gesekan untuk *preheating* selama 10 detik, kemudian dilanjutkan menghitung waktu gesekan selama 60 detik dan 120 detik.
6. Setelah waktu terpenuhi maka mesin dimatikan dan dilakukan pengereman agar putaran mengalami perlambatan.
7. Kemudian spesimen ditekan sebesar 75 kg/cm² dan ditahan selama 30 detik.
8. Spesimen dilepas dari mesin dan dibersihkan.

Gambar 3.1 Skema alat *Direct-Drive Friction Welding*

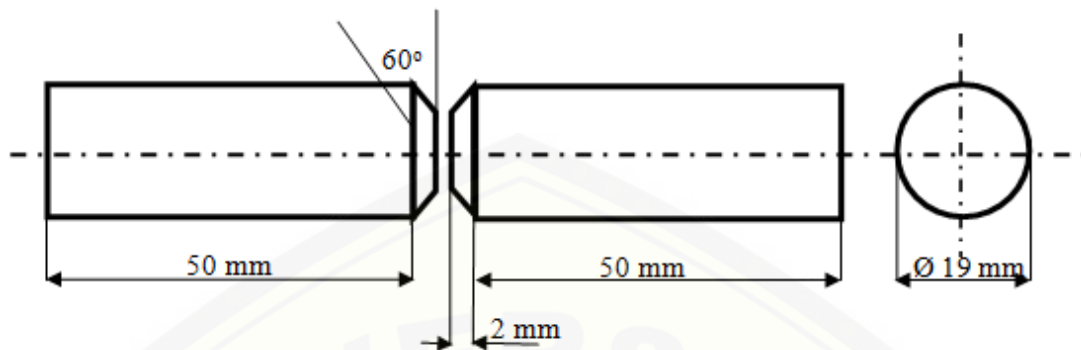
3.6 Dimensi Benda Kerja



Gambar spesimen (a)



Gambar spesimen (b)



Gambar spesimen (c)

Gambar 3.2 (a) Spesimen tanpa sudut chamfer, (b) Spesimen dengan sudut chamfer 30°, (c) Spesimen dengan sudut chamfer 60°

3.7 Proses Pengujian

Parameter pengujian meliputi beberapa pengujian adalah sebagai berikut:

Tabel 3.1 Parameter Pengujian

<i>Friction Time</i>	<i>Chamfer</i>	Uji Tarik	Uji Kekerasan	Pengamatan Mikro
60 s	0°	3 spesimen	1 spesimen	1 spesimen
	30°	3 spesimen	1 spesimen	1 spesimen
	60°	3 spesimen	1 spesimen	1 spesimen
120 s	0°	3 spesimen	1 spesimen	1 spesimen
	30°	3 spesimen	1 spesimen	1 spesimen
	60°	3 spesimen	1 spesimen	1 spesimen

3.7.1 Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan pada spesimen hasil pengelasan. Spesimen yang digunakan untuk uji tarik dibuat menurut standar ASTM E8/E8M – 09 (*Annual Book of Astm Standards*).

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

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (3.1)$$

F : beban yang diberikan (N)

A_0 : luas penampang bahan sebelum dibebani (mm^2)

Sedangkan regangan (ε) didapat dengan menggunakan rumus :

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

ε : persentase perpanjangan atau keuletan (%)

L_i : panjang akhir (mm)

L_0 : panjang awal (mm)

ΔL : selisih batang uji (mm)

Tabel 3.2 Rancangan Perhitungan Data Uji Tarik

L_0 (mm)	ΔL (mm)	P_i (kg)	A_0 (mm^2)	$\sigma = F/A_0$ (kg/mm^2)	$\varepsilon = \Delta L/L_0$ (%)	$E = \sigma/\varepsilon$ (kg/mm^2)
------------	--------------------	------------	-------------------------	---	-------------------------------------	---

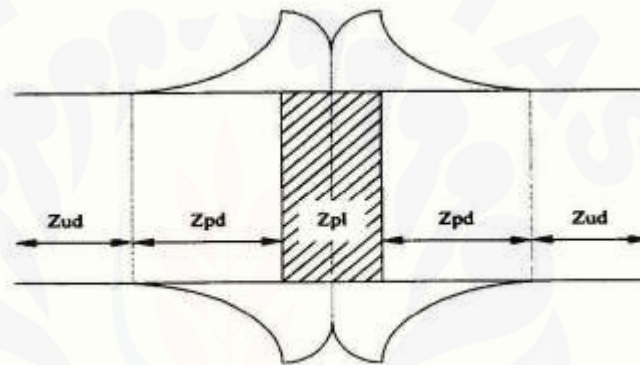
Rata-rata

3.7.2 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. Pada uji kekerasan ini menggunakan alat *Electric Brinell Hardness Tester* dengan menggunakan indenter bola baja berbentuk bulat. Daerah yang akan

diuji kekerasannya ditampilkan pada gambar 3.3. Berikut ini adalah langkah – langkah dalam melakukan pengujian kekerasan :

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



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

Gambar 3.3 Daerah pengujian kekerasan.

Tabel 3.3 Perencanaan Uji Kekerasan

<i>Friction Time</i>	<i>Chamfer</i>	Spesimen	Nilai Kekerasan (BHN)		
			<i>Zpd</i>	<i>Zud</i>	<i>Zpl</i>
60 s	0°	1			
	30°	1			
	60°	1			
120 s	0°	1			
	30°	1			
	60°	1			

3.7.3 Pengujian Metalografi

Setelah dilakukan proses *friction welding* untuk menganalisa struktur mikro yang terbentuk diperlukan pengamatan mikro atau pengujian *metalografi*. Prosedur pengujian 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 mesin *grinding-polishing*.
4. Pengetsaan dilakukan dengan pemberian larutan HNO_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.

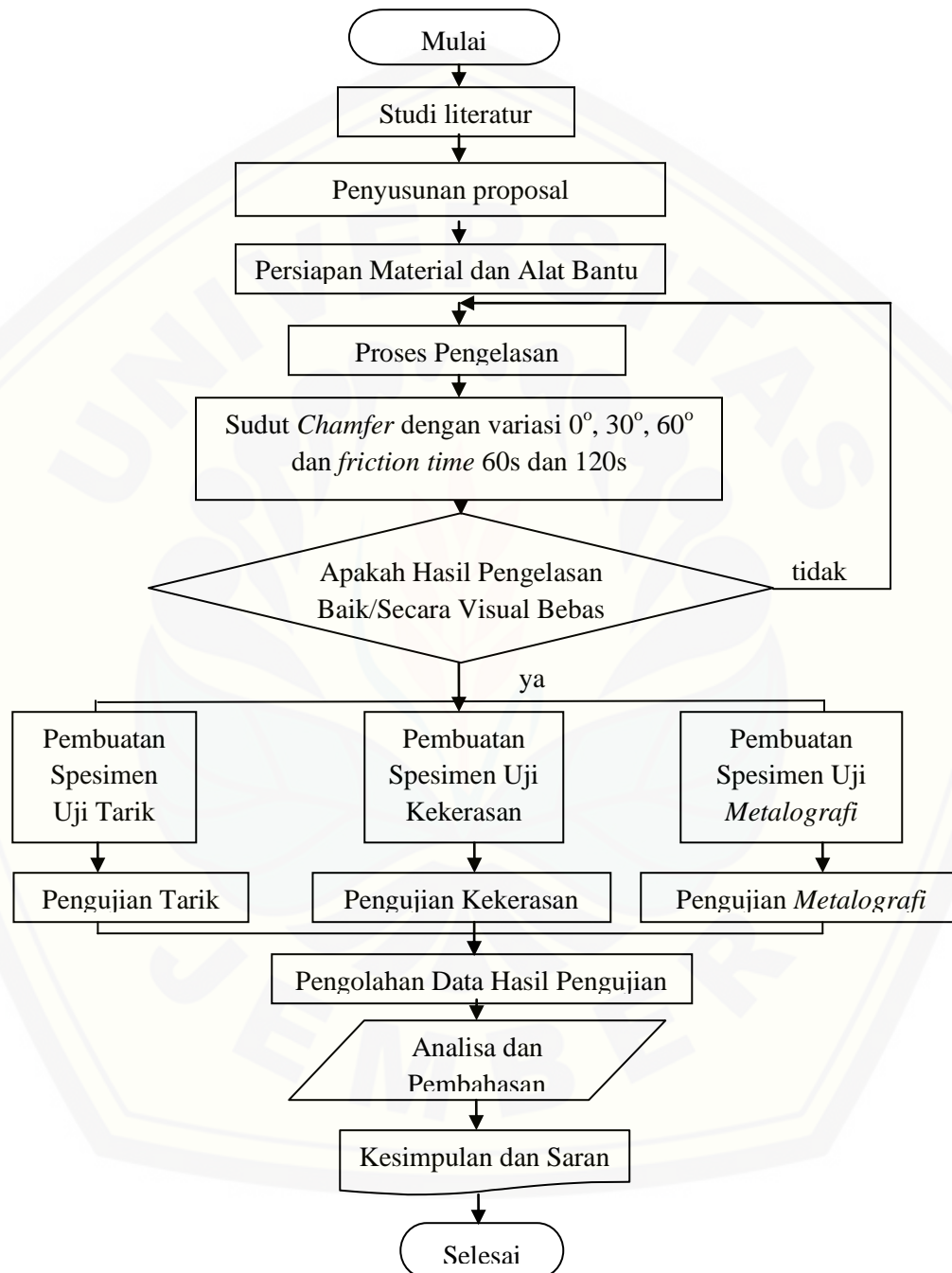
3.8 Teknik Penyajian Data

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.

3.9 Hipotesis

Penggunaan waktu gesek dan sudut *chamfer* yang semakin besar akan meningkatkan kekuatan tarik dan kekerasan material hasil penyambungan dengan las gesek.

3.10 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.4 Diagram Alir Penelitian

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 waktu dan sudut chamfer dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Waktu gesek dan sudut *chamfer* berpengaruh terhadap kekuatan tarik hasil sambungan las gesek pada Aluminium 6061. Hasil pengujian tarik tertinggi diperoleh dari variasi 30°/120 detik dengan nilai sebesar 15.86 Kgf/mm². Sementara hasil pengujian tarik terendah diperoleh dari variasi 60°/60 detik sebesar 5.16 Kgf/mm².
2. Waktu gesek dan sudut *chamfer* berpengaruh terhadap kekerasan hasil sambungan las gesek pada Aluminium 6061. Hasil pengujian kekerasan tertinggi diperoleh dari variasi 30°/120 detik dengan nilai masing-masing *Zud* 92 BHN, *Zpd* 99 BHN dan *Zpl* 91 BHN. Sementara hasil pengujian kekerasan terendah diperoleh dari variasi 60°/60 detik sebesar dengan nilai masing-masing *Zud* 79 BHN, *Zpd* 80 BHN dan *Zpl* 74 BHN.
3. Pada struktur mikro hasil sambungan las gesek pada Aluminium 6061 untuk variasi waktu gesek 60 detik menunjukkan adanya *crack*. Hal ini menandakan bahwa pemanasan untuk waktu gesek 60 detik masih kurang.
4. Secara keseluruhan sifat mekanis yang paling baik dari hasil penelitian pengelasan Aluminium 6061 dengan metode *friction welding* terjadi pada variasi 30°/120 detik.

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.

DAFTAR PUSTAKA

- ASM International. 1994. Fundamentals of Friction Welding, *ASM Handbook, Welding, Brazing and Soldering, vol. 6*
- Bhajantri, V. S., et. al. 2014. *Design and Analysis of Composite Drive Shaft*. IJRET Volume : 03 Special Issue : 03.
- Blondeau, Regis. 2008. *Metallurgy and Mechanics of Welding*. Great Britain : CPI/Antony Rowe Ltd, Chippenham, Wiltshire.
- Callister. William D. 2007. *Materials Science and Engineering*. New York : John Wiley & Sons, Inc.
- 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. Dieter, George E. 1996 *Metalurgi Mekanik*. Erlangga . Jakarta.
- Djaprie, Sriati. Smallman, R. E. Bishop R. J. 2000. *Metalurgi Fisik Modern Dan Rekayasa Material*. Erlangga . Jakarta.
- Efendi, A. H. Fuad. Tugas Akhir. 2011. “Analisa Pengaruh Tekanan Tempa Dengan Metode *Direct Drive Friction Welding* Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Baja St41 Sebagai *Alternative* Pengganti Proses Produksi As Roda Sepeda Motor.” Tidak Diterbitkan. Surabaya : Jurusan D3 Teknik Mesin Fakultas Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh November.
- 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.

- Gama, Anggun P. Skripsi. 2013. "Analisis Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Alumunium Paduan Seri 6061 Hasil Pengelasan Friction Welding Dengan Variasi Sudut." Tidak Diterbitkan. Jember : Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Hadi, Amri. Skripsi. 2012. "Analisis Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Alumunium Paduan Seri 6061 Hasil Pengelasan Friction Welding Dengan Variasi Waktu Gesek." Tidak Diterbitkan. Jember : Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Harsono, Wiryosunarto dan Okumura,Toshie.2000. *Teknik Pengelasan Logam*. Jakarta:PT.Pradnya Paramita.
- Husodo, Nur, dkk. 2013. Penerapan Teknologi Las Gesek (*Friction Welding*) dalam Rangka Penyambungan Dua Buah Logam Baja Karbon St41 pada Produk *Back Spring Pin*. Jurnal energy dan Manufaktur Vol. 6, no. 1, April 2013:1-94.
- Jenney, Cynthia L., O'Brien, Annette. 2001. *Welding Hand book Ninth Edition Volume 1 Welding Science and Technology*. United States of America : American Welding Society.
- Kalpakjian, Serope., Schmid, Steven R. 2009. *Manufacturing Engineering And Technology*. London : Prentice Hall.
- Katoh, K. dan Tokisue, H. 2009. *Properties Of 6061 Aluminium Alloy Friction Welded Joints*. Welding International, 8:11, 863-868.
- Kuswandi, Ari. Skripsi. 2010. "Pengaruh Friction Time Terhadap Kekuatan Impak Sambungan Las Gesek Pada Paduan Al-Mg-Si." Tidak Diterbitkan. Malang : Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

- Lin, C. B., et. al. *The Effect of Joint Design and Volume Fraction on Friction Welding Properties of A360/SiC Composites*, *Welding Journal* 78(3), (1999), 100-108.
- Mathers, G. 2002. *The Welding of Aluminium and its Alloys*. England: Woodhead
- Polami, Samareh Mohammadzadeh, et. al. 2014. *Joint-Site Structure Friction Welding Method As A Tool For Drive Pinion Light Weighting In Heavy-Duty Trucks*. *Journal Of Materials Processing Technology* 214 (2014) 1921-1927.
- Santoso, Eko., dkk. 2012. Pengaruh Sudut *Chamfer* dan Gaya Tekan Akhir Terhadap Kekuatan Tarik dan Porositas Sambungan Las Gesek Pada Paduan Al-Mg-Si. *Jurnal Rekayasa Mesin* Vol.3, No. 1 pp 293-298.
- Setyawan, dkk. 2014. Kekuatan Tarik dan Porositas Hasil Sambungan Las Gesek Aluminium 6061 dengan Berbagai Suhu Aging. *Jurnal Rekayasa Mesin* Vol.5. No.2. pp 141-148
- Surdia, Tata., Saito, Shinroku. 2000. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta : Pradnya Paramita.
- Richard H. G., Wrighton. 1971. *Practical Microscopical Metallography*. Chapman Hall Ltd.
- Uzkut, Mehmet. et. al. 2010. *Friction Welding And Its Applications In Today's World*. Sarajevo: International Symposium on Sustainable Development, issd 2010 science book,710-724.
- 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.

Yuwono, Herman A. 2009. Buku Panduan Praktikum Karakterisasi Material 1 pengujian Merusak (*Destructive Testing*). Depok : Departemen Metalurgi Dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia.



LAMPIRAN

A.1 Alat dan Bahan



A



B



D



E



F



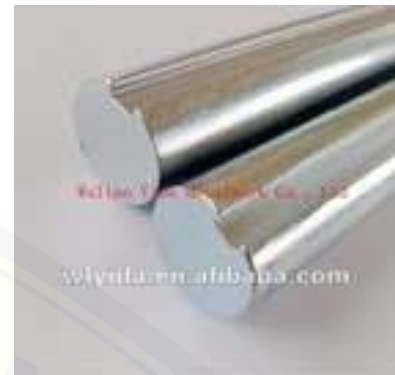
G



H



I



J

Keterangan :

- A : Mesin Bubut
- B : Alat Bantu Cekam
- C : Penyangga
- D : Leeb Hardness Teser TH120
- E : Mesin Uji Tarik
- F : Mikroskop
- G : Mesin Grinding-Polishing
- H : Amplas
- I : Autosol
- J : Aluminium Pejal Diameter 19 mm

A.2 Hasil Lasan Friction Welding



A



B



C



D



E



F

Keterangan :

A : Spesimen Variasi Parameter $0^{\circ}/60$ detik

B : Spesimen Variasi Parameter $30^{\circ}/60$ detik

C : Spesimen Variasi Parameter $60^{\circ}/60$ detik

D : Spesimen Variasi Parameter $0^{\circ}/120$ detik

E : Spesimen Variasi Parameter $30^{\circ}/120$ detik

F : Spesimen Variasi Parameter $60^{\circ}/120$ detik