PENGARUH SUDUT *CHAMFER* TERHADAP KEKUATAN IMPAK SAMBUNGAN LAS GESEK PADA PADUAN ALUMINIUM AA6061

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:
NUR MUHAMAD FUAD
NIM. 0310620092-62

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN MESIN
MALANG
2009

repository.ub.ac
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LEMBAR PERSETUJUAN

PENGARUH SUDUT *CHAMFER* TERHADAP KEKUATAN IMPAK SAMBUNGAN LAS GESEK PADA PADUAN ALUMINIUM AA 6061

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

NUR MUHAMAD FUAD
NIM. 0310620092-62

Telah diperiksa dan disetujui Oleh:

Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II
Dr. Eng. Yudy Surya Irawan, ST., M.Eng	**Ir. Marsoedi Wirohardjo, M.MT**
NIP. 132 233 147	**NIP. 130 531 861**

repository.ub.ac

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH SUDUT *CHAMFER* TERHADAP KEKUATAN IMPAK SAMBUNGAN LAS GESEK PADA PADUAN ALUMINIUM AA6061

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

NUR MUHAMAD FUAD
NIM. 0310620092-62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 13 Februari 2009

DOSEN PENGUJI

Skripsi 1

Ir. Winarno Yahdi Admodjo, MT.
NIP. 131 280 655

Skripsi 2

Ir. Endi Sutikno, MT.
NIP. 131 756 002

Komprehensif

Ir. Suharto, MT.
NIP. 131 131 025

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.
NIP. 132 159 708

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah kami panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah senantiasa melimpahkan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul "**Pengaruh Sudut *Chamfer* terhadap Kekuatan Impak Sambungan Las Gesek Pada Paduan Aluminium AA6061**" ini dengan baik. Tidak lupa shalawat serta salam kami haturkan kepada Nabi Muhammad SAW.

Penulis sadar bahwa selama dalam penulisan skripsi ini telah dibantu oleh banyak pihak. Oleh sebab itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini, yaitu:

- Bapak dan Ibuku Suparyo dan Sulasri, serta ke dua kakakku Nur Adi Cahyo dan Nur Isnainingrum yang telah memberikan kasih sayang, doa, serta dorongan spriritual maupun material selama ini.
- Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT, selaku Ketua Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, M.Sc. CSE, selaku Sekretaris Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Bapak Ir. Marsoedi Wirohardjo, M.MT, selaku Ketua Konsentrasi Produksi Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya sekaligus dosen pembimbing kedua yang telah banyak meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, arahan, dan masukan dalam penyusunan skripsi ini.
- Bapak Dr. Eng. Yudy Surya I, ST., M.Eng, selaku dosen pembimbing pertama yang banyak memberikan bimbingan, arahan,dan masukan pada penulis dalam menyusun skripsi ini.
- Bapak Ir. Suharto, MT. selaku dosen wali.
- Pak Mudjiono dan Pak Hastomo yang telah banyak membantu dalam penelitian.
- Andhika Setiawan dan Yova Andika Yeni, terima kasih banyak atas kerjasama dan perjuangan selama pengerjaan skripsi ini.
- Riris Sefti Nurhidayati yang telah memberikan semangat, dorongan untuk selalu berusaha sebaik-baiknya dalam segala hal, serta pengertian dan perhatiannya selama ini.
- Teman-teman kontrakan : Andhika, Yuda, Andreas, Farid, Zia, Yova, Bambang, Nanang, Robith, Wisnu.

- Semua teman-teman M'03 : Andi, Naro, A Bambang, Sidiq, Erik, Taufan, Herdian, Bagus H, Arif, Catur, Firman, Ningsih, Putu, Wulan, Rizki, Whiki, Ezra, Endo, dan lain lain. Jangan sampai luntur kebersamaan kita teman!
- Segenap pihak yang telah mendukung terselesaikannya skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Kami menyadari bahwa betapa banyak kekurangan dan kelemahan dalam penyusunan skripsi ini. Kritik dan saran yang bersifat membangun penulis harapkan dari pembaca dan semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Harapan penulis, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembacanya. Amin.

Malang, Februari 2009

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

KATA PENGANTAR i

DAFTAR ISI iii

DAFTAR TABEL v

DAFTAR GAMBAR vi

DAFTAR LAMPIRAN vii

DAFTAR SIMBOL viii

RINGKASAN ix

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 4

1.3 Batasan Masalah 4

1.4 Tujuan Penelitian 4

1.5 Manfaat Penelitian 4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5

2.1 Penelitian Sebelumnya 5

2.2 Aluminium dan Paduannya 6

2.3 Pengaruh Unsur Paduan 6

2.4 Sifat Mampu Las Aluminium 7

2.5 Paduan Al-Mg-Si 8

2.6 Pengelasan 9

2.7 Las Gesek (*Friction Welding*) 10

2.7.1 Stir Friction Welding 10

2.7.2 Linier Friction Welding 11

2.8 Kelebihan Pengelasan Gesek 12

2.9 Pengujian Impak 12

2.10 Ketangguhan dan Daerah *Heat Affected Zone* (HAZ) 17

2.11 Masukan Panas/ *Heat Input* 17

2.11 Aplikasi Pengelasan Gesek 19

2.12 Hipotesis 21

BAB III METODOLOGI PENELITIAN 22
3.1 Metode Penelitian 22
3.2 Variabel Penelitian 22
3.2.1 Variabel Bebas 22
3.2.2 Variabel Terikat 22
3.2.3 Variabel Kontrol 22
3.3 Tempat dan Waktu Penelitian 22
3.4 Alat yang Digunakan 23
3.5 Bahan yang Digunakan 23
3.6 Dimensi Benda Kerja 23
3.7 Skema Pengelasan Gesek 24
3.8 Prosedur Penelitian 24
3.8.1 Pengelasan Gesek 24
3.8.2 Pengujian Kekuatan Impak 25
3.8.3 Pengujian Makrostruktur 25
3.9 Rancangan Penelitian 26
3.9.1 Analisis Statistik 26
3.9.2 Analisis Ragam Klasifikasi Satu-Arah 26
3.10 Diagram Alir Penelitian 29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 30
4.1 Data Hasil Pengujian Kekuatan Impak 30
4.2 Analisis Statistik 30
4.2.1 Analisis Statistik Kekuatan Impak 30
4.2.2 Analisis Ragam Klasifikasi Satu-Arah 32
4.3 Pembahasan 34
4.3.1 Hubungan antara Sudut *Chamfer* Terhadap Kekuatan Impak 34
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 45
5.1 Kesimpulan 45
5.2 Saran 45
DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Sifat Aluminium Paduan Al-Mg-Si	9
Tabel 3.1	Komposisi kimia paduan Al-Mg-Si seri AA6061	23
Tabel 3.2	Rancangan Penulisan Data Penelitian	27
Tabel 3.3	Analisis Ragam Klasifikasi Satu-Arah Data Kekuatan Impak	28
Tabel 4.1	Data Hasil Pengujian Kekuatan Impak	30
Tabel 4.2	Interval Penduga Kekuatan Impak	31
Tabel 4.3	Analisis Ragam Klasifikasi Satu-Arah Data Kekuatan Impak	33
Tabel 4.4	Luas Daerah HAZ pada Diameter 10 mm	37
Tabel 4.5	Dimensi Spesimen dan Volume Alur Akibat Sudut *Chamfer*	39

DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
Gambar 1.1	Permukaan Benda Kerja: a. dengan *chamfer*, b. tanpa *chamfer*	2
Gambar 2.1	Diagram Fase Magnesium-Silikon pada Paduan Aluminium	8
Gambar 2.2	Klasifikasi Pengelasan	10
Gambar 2.3	*Stir Friction Welding*	11
Gambar 2.4	*Linier Friction Welding*	11
Gambar 2.5	Pemasangan Spesimen Pengujian Impak dengan Metode *Charpy*	13
Gambar 2.6	Pemasangan Spesimen Pengujian Impak dengan Metode *Izod*	13
Gambar 2.7	Sifat-sifat Patahan a). Patahan getas, b). Patahan liat, c). Patahan campuran	14
Gambar 2.8	Skema *Charpy Impak Test*	15
Gambar 2.9	Mesin Uji Impak	16
Gambar 2.10	Aplikasi Las Gesek pada Paduan Al-Mg-Si	18
Gambar 2.11	Aplikasi Las Gesek pada komponen permesinan	19
Gambar 3.1	Bentuk dan Dimensi Benda Kerja	23
Gambar 3.2	Skema Alat Pengelasan Gesek	24
Gambar 3.3	Spesimen Pengujian Kekuatan Impak	25
Gambar 3.4	Diagram Alir Penelitian	29
Gambar 4.1	Grafik Hubungan antara Sudut *Chamfer* terhadap Kekuatan Impak Rata-rata Sambungan Las Gesek pada Paduan Aluminium AA6061	34
Gambar 4.3	Bagian Sambungan Las Gesek	35
Gambar 4.4	Kondisi Makrostruktur Sambungan Las Gesek Paduan Aluminium AA6061 pada Sudut *Chamfer* 0^o, 15^o, 22.5^o, 30^o, 45^o, 60^o, dan 75^o	36
Gambar 4.5	Dimensi Spesimen Las Gesek pada Sudut *Chamfer* 0^o, 15^o, dan 22.5^o	37
Gambar 4.6	Dimensi Spesimen Las Gesek pada Sudut *Chamfer* 30^o, 45^o, 60^o. dan 75^o	38

DAFTAR LAMPIRAN

No Judul

Lampiran 1. Foto Benda Kerja

Lampiran 2. Komposisi Kimia Paduan Aluminium AA6061

Lampiran 3. Tabel Distribusi F

Lampiran 4. Tabel Distribusi T

Lampiran 5. Gambar Alat Bantu Cekam

Lampiran 6. Foto Alat yang Digunakan

DAFTAR SIMBOL

Besaran dasar	Satuan dan Singkatannya	Simbol
Berat	Newton atau N	W
Energi	Joule atau J	E
Gaya	*Kilogram force* atau kgf	F
Luas penampang	Milimeter persegi atau mm^2	A
Massa	Kilogram atau kg	m
Panjang	Milimeter atau mm	l
Putaran	Radian per menit atau rpm	ω
Sudut	Derajat atau ^{o}	α
Tekanan	Pascal atau Pa	P
Temperatur dalam celcius	Derajat celcius atau ^oC	T
Waktu	Menit atau m	t
Interval penduga		μ
Jumlah variasi		k
Jumlah pengulangan		n
Jumlah data yang diambil		N
Standar deviasi		δ

RINGKASAN

Nur Muhamad Fuad, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Februari 2009, *Pengaruh Sudut Chamfer terhadap Kekuatan Impak Sambungan Las Gesek pada Paduan Aluminium AA6061*, Dosen Pembimbing: Yudy Surya Irawan dan Marsoedi Wirohardjo.

Aluminium banyak dipakai dalam pembuatan komponen-komponen permesinan, memiliki beberapa kesulitan dalam proses pengelasannya. Hal ini dikarenakan sifatnya dalam penyerapan panas, sehingga sulit terjadi pemanasan daerah lasan saat dilakukan pengelasan dengan menggunakan *fusion welding* (pengelasan cair). Salah satu metode yang bisa dipakai dalam pengelasan Aluminium adalah pengelasan gesek yang merupakan salah satu metode penyambungan material dengan memanfaatkan panas dari gesekan antara permukaan dua material. Penyambungan material terjadi akibat adanya panas yang timbul dari gesekan antara material yang diputar dan di lain sisi material diberi tekanan dengan gaya tertentu. Penggunaan sudut *chamfer* pada sisi kontak spesimen pengelasan gesek memberikan perbedaan terhadap besarnya masukan panas dan berpengaruh terhadap kekuatan impak sambungan las gesek yang terbentuk.

Permasalahan yang akan diteliti adalah bagaimana pengaruh sudut *chamfer* terhadap kekuatan impak sambungan las gesek pada paduan Aluminium AA6061. Hasil yang diperoleh akan memberikan kemudahan untuk menentukan seberapa besar sudut *chamfer* yang sesuai untuk menghasilkan kekuatan impak sambungan las gesek dari suatu komponen permesinan yang akan dibuat. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen nyata dengan parameter yang dipakai adalah besar sudut *chamfer* 0^o(dianggap tanpa sudut *chamfer*), 15^o, 22.5^o, 30^o, 45^o, 60^o, dan 75^o sebagai variabel bebas, kekuatan impak sambungan sebagai variabel terikat dan variabel terkendali yang digunakan adalah putaran 1600 rpm, gaya tekan pengelasan 156.8 kgf, waktu pengelasan 2 menit, dan *holding time* 2 menit. Data yang diperoleh diolah menggunakan analisis statistik dan teoritis.

Dari hasil percobaan menunjukkan bahwa sudut *chamfer* berpengaruh nyata terhadap kekuatan impak sambungan las gesek. Kekuatan impak rata-rata tertinggi yang dapat dicapai pada sudut chamfer 15^o yaitu 336.04 N.mm/mm^2. Hal ini menunjukkan peningkatan yang berarti jika dibandingkan pengelasan yang dilakukan tanpa adanya sudut *chamfer* yang mana nilai kekuatan impak rata-ratanya paling rendah yaitu hanya sebesar 146.5 N.mm/mm^2. Penggunaan sudut *chamfer* akan menghasilkan sambungan yang berbeda, ditinjau dari foto makrostrukturnya, kekuatan impak sambungan dipengaruhi oleh sempitnya luasan daerah HAZ yang dihasilkan, sedikit adanya porositas, dan besarnya luasan daerah *fully plasticized*.

Kata Kunci: Las gesek, sudut *chamfer*, kekuatan impak, paduan aluminium AA6061

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi pengelasan telah mengalami perkembangan dengan pesat. Ditemukannya metode-metode baru untuk mengatasi permasalahan dalam proses penyambungan material merupakan petunjuk adanya perkembangan dalam teknologi pengelasan. Aluminium merupakan material yang memiliki sifat yang kurang baik dalam hal pengelasan yaitu disebabkan karena panas jenis dan daya hantar panas aluminium yang tinggi sehingga sukar sekali untuk memanaskan dan mencairkan sebagian dari dimensinya (Wiryosumarto, 2000).

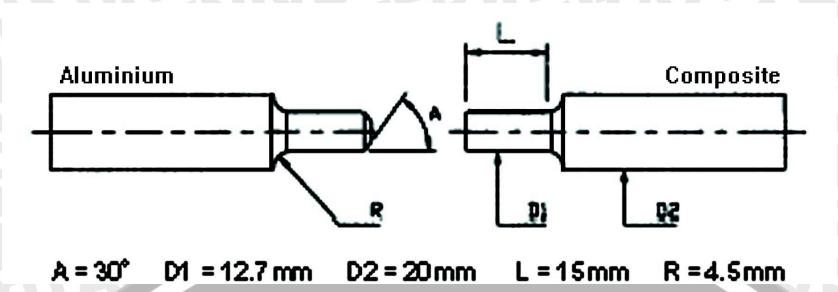
Pengelasan gesek (*friction welding*) merupakan salah satu solusi dalam memecahkan permasalahan penyambungan aluminium yang sulit dilakukan dengan *fusion welding* (pengelasan cair). Pengelasan gesek merupakan proses penyambungan yang komplek, karena didalamnya terdapat fenomena fisik, perubahan panas akibat gesekan, deformasi plastis, solidifikasi, perubahan struktur dan sebagainya.

Pengelasan gesek (*friction welding*) merupakan suatu proses penyambungan logam tanpa pencairan (*solid state process*), yang mana proses pengelasan terjadi sebagai akibat penggabungan antara laju putaran salah satu benda kerja dengan gaya tekan yang dilakukan oleh benda kerja yang lain terhadap ujung benda kerja yang berputar. Gesekan yang diakibatkan oleh pertemuan kedua benda kerja tersebut akan menghasilkan panas yang dapat melumerkan kedua ujung benda kerja yang bergesekan sehingga mampu melumerkannya yang akhirnya terjadi proses penyambungan (Astrom, P., 2002).

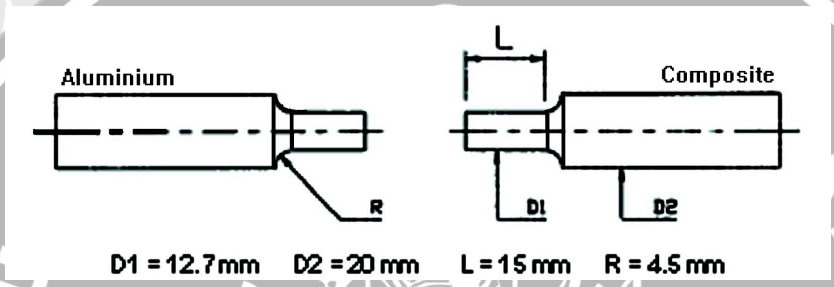
Pada waktu dan tekanan yang sama, besarnya masukan panas pada pengelasan gesek sangat dipengaruhi oleh luas kontak antar permukaan benda kerja. Gaya yang diterima oleh benda kerja akan menghasilkan tekanan yang lebih besar pada permukaan dengan luasan kontak kecil. *Chamfer* adalah suatu bentuk geometri benda kerja yang dibuat dengan memotong tepi material tersebut dengan sudut tertentu sampai dengan 90^{o}. Sudut *chamfer* dibuat dengan tujuan untuk mengurangi besarnya luas kontak permukaan benda kerja.

Kekuatan sambungan las gesek dengan model menggunakan sudut *chamfer* (*bevelled bars*) memiliki nilai yang lebih tinggi dibanding model tanpa sudut *chamfer* (Lin et al, 1999). Perbedaan bentuk model ini terlihat pada Gambar 1.1.

a.



b.



Gambar 1.1 Permukaan Benda Kerja : a. dengan *chamfer*, b. tanpa *chamfer*
Sumber : Lin et al, 1999

Penelitian yang dilakukan C.B. Lin yang membandingkan hasil sambungan las gesek antara paduan Aluminium dan Komposit ini menunjukkan bahwa nilai kekuatan tarik sambungan las gesek benda kerja dengan ditambahkan sudut *chamfer* lebih tinggi daripada benda kerja dengan model permukaan kontak tanpa sudut *chamfer*. Salah satu sifat mekanik yang penting dalam aplikasinya terutama pada hasil sambungan las gesek adalah kekuatan impak. Kekuatan impak sambungan las gesek perlu diketahui karena perlunya gambaran bagaimana sikap bahan apabila mengalami pembebanan yang mendadak dan juga sangat membantu dalam menentukan kepantasan bahan untuk penggunaan-penggunaan teknik pada temperatur rendah. Pada penelitian C.B. Lin tidak dibahas pengaruh sudut *chamfer* terhadap kekuatan impak sambungan las gesek. Oleh sebab itu, maka untuk menghasilkan sambungan las gesek yang baik maka perlu dilakukan penelitian terhadap pengaruh sudut *chamfer* terhadap kekuatan impak sambungan las gesek.

Huang W-Z et al (2002) meneliti pengaruh variasi sudut *bevel* pengelasan gesek dengan menggunakan material yang berbeda, yaitu besi cor grafit *spheroidal* dan baja lunak (*mild steel*). Penelitiannya menyimpulkan bahwa besarnya sudut *bevel* sangat berpengaruh terhadap struktur hasil sambungan las gesek. Hal ini menunjukkan bahwa

penggunaan sudut *bevel* memberikan pengaruh pada perubahan mikrostuktur dan berdampak pada sifat mekanik sambungan yang terjadi khususnya kekuatan impak.

Muchamad Saleh (2004), dalam penelitiannya melakukan pengelasan gesek pada material aluminium paduan dan menyimpulkan kekuatan impak hasil lasan semakin meningkat dengan semakin tinggi putaran mesin yang digunakan dan semakin besar tekanan yang diberikan pada saat pengelasan. Muchamad Saleh hanya meneliti pengaruh besar putaran dan tekanan terhadap kekuatan impak, sedangkan pengaruh sudut *chamfer* terhadap kekuatan impak tidak diteliti.

P.Sathiya (2006), dalam penelitiannya melakukan pengelasan gesek pada material *ferritic stainless steel* dan menyimpulkan bahwa kekuatan impak hasil lasan meningkat dengan semakin besar tekanan penempaan dan tekanan gesekan yang diberikan pada saat pengelasan. Dalam penelitiannya ini, P. Sathiya hanya membahas pengaruh tekanan penempaan dan tekanan gesekan terhadap kekuatan impak sambungan las gesek saja tanpa membahas pengaruh sudut *chamfer*, sehingga perlu dilakukan penelitian yang membahas pengaruh sudut *chamfer* terhadap kekuatan impak sambungan las gesek.

Hery Purnomo (2008), dalam penelitiannya melakukan pengelasan gesek pada material aluminium paduan dan menyimpulkan bahwa penggunaan sudut *chamfer* pada spesimen pengelasan gesek memberikan peningkatan kekuatan tarik sambungan las dibandingkan dengan spesimen tanpa menggunakan sudut *chamfer*. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan sudut *chamfer* memberikan pengaruh terhadap kekuatan tarik sambungan las gesek, namun dalam penelitiannya ini belum dibahas pengaruh sudut *chamfer* terhadap kekuatan impak. Pentingnya kekuatan impak pada sambungan las, maka perlu diketahui pengaruh dari sudut *chamfer* terhadap kekuatan impak sambungan las gesek.

Dalam penelitian ini digunakan material paduan Aluminium AA6061 karena paduan aluminium AA6061 memiliki ketahanan korosi dan sifat mampu las yang baik (Materials Data Books). Beberapa penggunaan material ini terutama untuk pembuatan komponen-komponen permesinan dimana memungkinkan untuk dilakukan proses pengelasan gesek. Dari beberapa hasil penelitian di atas masih belum diketahui pengaruh sudut *chamfer* terhadap kekuatan impak sambungan las gesek. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian tentang bagaimana pengaruh besarnya sudut *chamfer* untuk menghasilkan kekuatan impak sambungan las gesek yang baik pada paduan Aluminium AA6061.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan dapat dirumuskan permasalahan yang akan diteliti, yaitu: *bagaimana pengaruh sudut chamfer terhadap kekuatan impak sambungan las gesek pada paduan Aluminium AA6061?*

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Jenis sambungan yang digunakan adalah pada dua material yang sama.
2. Material yang digunakan adalah paduan Aluminium AA6061
3. Tidak membahas distribusi temperatur pada proses pengelasan gesek
4. Variabel putaran dan waktu pengelasan dijaga konstan pada putaran 1600 rpm dan waktu pengelasan 2 menit.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar *pengaruh sudut chamfer terhadap kekuatan impak sambungan las gesek pada paduan Aluminium AA6061?*

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Mampu menerapkan teori-teori yang didapatkan selama perkuliahan terutama berkenaan dengan teknologi pengelasan.
2. Membantu memecahkan permasalahan-permasalahan yang sering dihadapi dalam pengelasan terutama tentang pengelasan Aluminium dan paduannya.
3. Memberikan hasil penelitian dalam bidang pengelasan khususnya pengelasan material paduan Aluminium.
4. Dapat digunakan sebagai referensi awal untuk pengembangan penelitian lebih lanjut terutama tentang teknologi pengelasan gesek.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Lin et al (1999), melakukan penelitian pengelasan gesek antara Aluminium paduan dan Komposit dengan membandingkan dua desain benda kerja, dimana salah satu sisi permukaan diberi sudut *chamfer*. Kekuatan tarik pada sisi bersudut *chamfer* memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa sudut *chamfer*, yaitu 215,9 MPa untuk sambungan dengan sudut *chamfer* dan 151,5 MPa untuk sambungan tanpa sudut *chamfer*. Hal ini menunjukkan bahwa adanya sudut *chamfer* pada sisi benda kerja berpengaruh terhadap kekuatan mekanik sambungan las gesek yang terbentuk khususnya kekuatan impak.

Huang W-Z et al (2002) meneliti pengaruh sudut *bevel* pada stuktur pengelasan gesek besi cor grafit *spheroidal* ke baja lunak (*mild steel*). Penelitiannya menyimpulkan bahwa besarnya sudut *bevel* berpengaruh terhadap lapisan deformasi grafit *spheroidal*. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan sudut *bevel* memberikan pengaruh pada perubahan mikrostuktur dan berdampak pada sifat mekanik sambungan yang terjadi khususnya kekuatan impak.

Muchamad Saleh (2005), dalam penelitiannya melakukan pengelasan gesek pada material Aluminium paduan dan menyimpulkan kekuatan impak hasil lasan semakin meningkat dengan semakin tinggi putaran mesin yang digunakan dan semakin besar tekanan yang diberikan pada saat pengelasan. Kekuatan impak tertinggi sebesar 0,394 $J.mm^{-2}$ dengan kekuatan impak rata-rata 0.345 $J.mm^{-2}$ pada putaran 1600 rpm dan tekanan 9,5 kgf.

P.Sathiya (2006), dalam penelitiannya melakukan pengelasan gesek pada material *ferritic stainless steel* dan menyimpulkan bahwa kekuatan impak hasil lasan meningkat dengan semakin besar tekanan penempaan dan tekanan gesekan yang diberikan pada saat pengelasan.

Hery Purnomo (2008), dalam penelitiannya melakukan pengelasan gesek pada material Aluminium paduan dan menyimpulkan bahwa penggunaan sudut *chamfer* pada spesimen pengelasan gesek memberikan peningkatan kekuatan tarik sambungan las dibandingkan dengan spesimen tanpa menggunakan sudut *chamfer*. Kekuatan tarik rata-rata paling tinggi terjadi pada sambungan las gesek dengan sudut *chamfer* 22.5° sebesar 141.4 N/mm^2.

2.2 Aluminium dan Paduannya

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 (Tata Surdia, 1999). Paduan Aluminium dapat digolongkan menjadi dua kelompok utama, yaitu:

1. Paduan Aluminium Tempa (*Aluminium Wrought Alloy*)

Paduan ini dibuat untuk dikerjakan dengan proses *forming* untuk menghasilkan bentuk yang diinginkan seperti pelat, lembaran, atau kawat.

2. Paduan Aluminium Cor (*Aluminium Casting Alloy*)

Pada paduan ini, bentuk benda yang diinginkan diperoleh dari logam cair yang dituang pada cetakan dengan bentuk yang diinginkan dan dibiarkan membeku, sehingga didapatkan produk yang mendekati bentuk aslinya untuk kemudian di-*finishing*.

2.3 Pengaruh Unsur Paduan

Penambahan unsur paduan dilakukan untuk memperbaiki sifat dari Aluminium seperti yang dikehendaki. Sifat unsur paduan ini akan mempengaruhi kualitas dari Aluminium. Berikut beberapa pengaruh penambahan unsur paduan dalam Aluminium.

a. Tembaga (Cu)

Penambahan unsur 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, meningkatkan daya alirnya. Selain itu, paduan Silikon akan meningkatkan ketahanan korosinya, baik ditambah unsur lain ataupun tidak.

c. Magnesium (Mg)

Dipergunakan untuk meningkatkan daya tahan 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 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.

2.4 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:(Wiryosumarto, 2000)

1. Karena panas jenis dan 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; (Wiryosumarto, 2000)

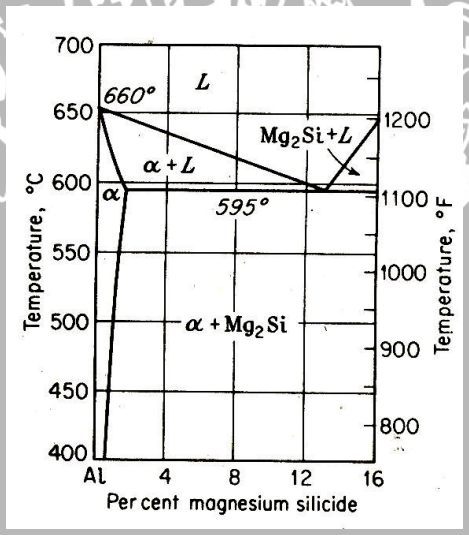
1. Jenis Aluminium murni dan paduan Al-Mn
2. Jenis paduan Al-Mg
3. Jenis paduan Al-Zn-Mg
4. Jenis paduan Al-Mg-Si

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

2.5 Paduan Al-Mg-Si

Paduan Aluminium-Magnesium-Silikon termasuk dalam jenis yang dapat diperlakupanaskan dan mempunyai sifat mampu potong, mampu las dan tahan korosi yang cukup (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% (Heine, 1995:320).

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. Kelebihan partikel silikon mungkin juga terjadi. Diagram fase Magnesium-Silikon pada paduan Aluminium ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Diagram Fase Magnesium-Silikon pada paduan Aluminium
Sumber: Hiene, 1995

Pada diagram terlihat bahwa kelarutan Mg_2Si semakin menurun terhadap kelarutan Aluminium yakni dari temperatur tinggi ke temperatur rendah. Kelarutan Mg_2Si dalam Aluminium/fasa α terjadi sampai 16% pada 595^0C. Selain itu, titik cair terendah untuk mencairkan Al-Mg-Si pada temperatur 595^0C dengan komposisi 13% Mg_2Si dan 87% Al.

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

Tabel 2.1 Sifat Aluminium Paduan Al-Mg-Si

Sifat	Nilai
Density	2.71 g/cm^3
Melting Point	600^{o}C
Modulus of Elasticity	67 GPa
Electrical Resistivity	0.035x10$^{-6}\Omega$.m
Thermal Conductivity	180 W/m.K
Coefficient of Friction	0.36

Sumber: aalco, 2007

2.6 Pengelasan

Berdasarkan pengertian dari *Deutche Industrie Normen* (DIN), 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.

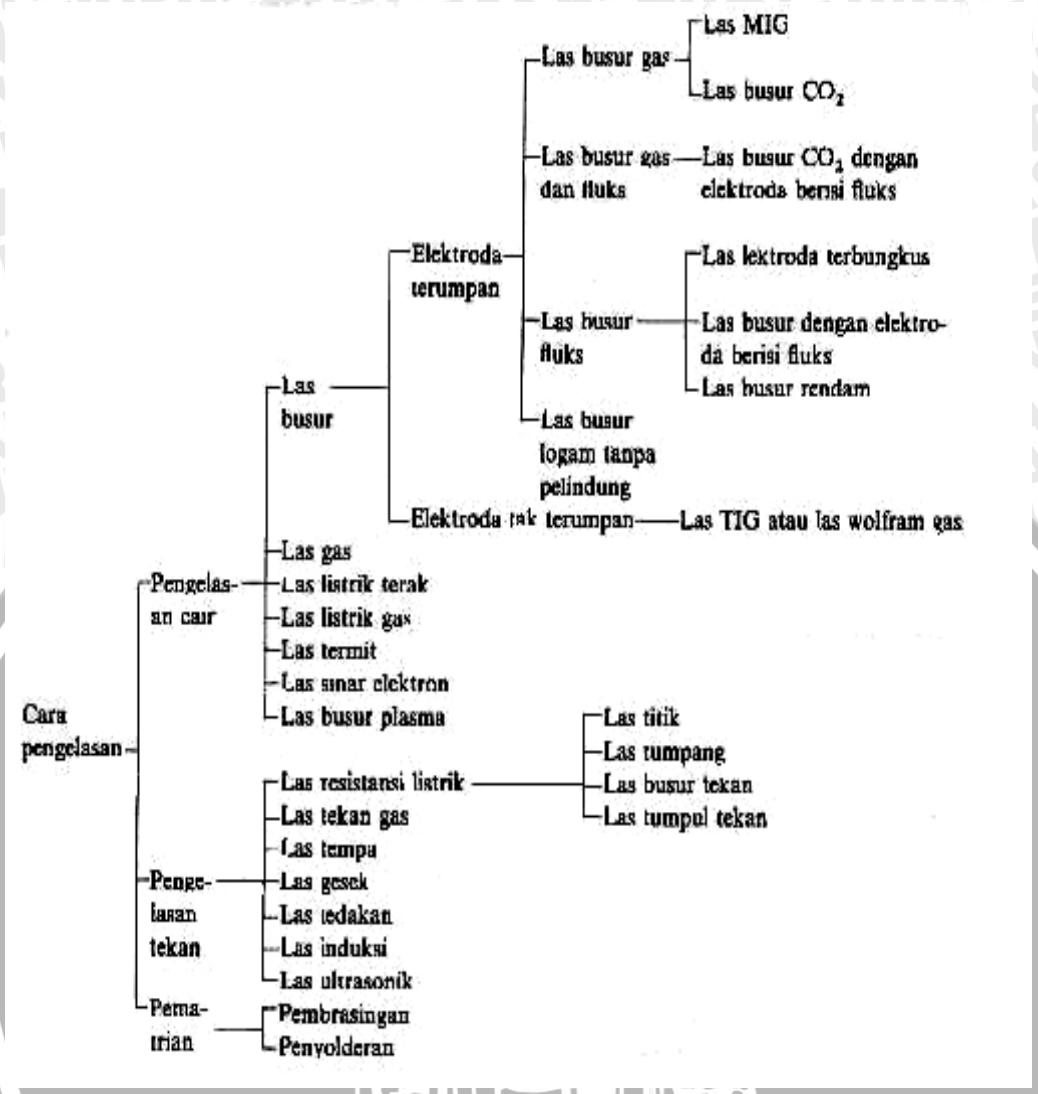
2. Pengelasan tekan

   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.

Berdasarkan cara pengelasannya klasifikasi pengelasan dijelaskan pada Gambar 2.2.



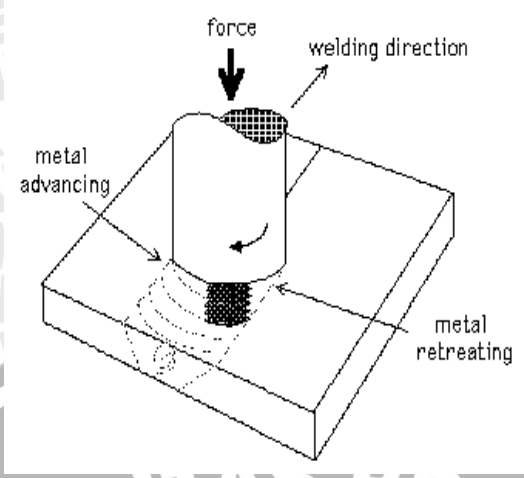
Gambar 2.2 Klasifikasi Pengelasan
Sumber: Wiryosumarto, 1994: 8

2.7 Las Gesek (*Friction Welding*)

Metode pengelasan dimana sumber panas yang dipakai untuk mencairkan benda kerja berasal dari gesekan kedua benda kerja. Klasifikasi las gesek berdasarkan metode penggesekan dibedakan atas:

2.7.1 *Stir Friction Welding*

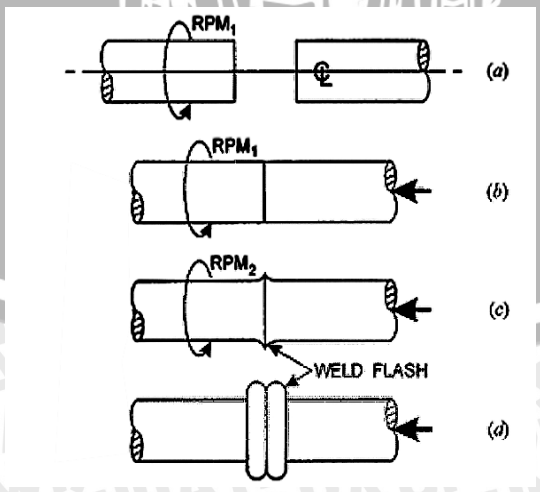
Las gesek dengan sumber panas berasal dari gesekan antara benda kerja dan pahat. Metode las gesek yang memanfaatkan gesekan antara benda kerja dengan pahat seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3. Umumnya proses ini digunakan untuk penyambungan pelat. Kedua pelat yang akan disambung dicekam berimpit, kemudian pahat berputar dan menekan di atas himpitan tersebut sehingga akan terjadi gesekan dan menimbulkan panas yang akan melelehkan sambungan pelat.



Gambar 2.3 *Stir Friction Welding*
Sumber: H. K. D. H. Bhadeshia, 1999

2.7.2 *Linier Friction Welding*

Las gesek dengan sumber panas 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 pengerjaannya ditunjukkan pada Gambar 2.4, terdapat dua bagian benda kerja (a) salah satu benda kerja berputar relatif dengan kecepatan tertentu terhadap benda kerja yang lainnya dimana benda kerja yang satunya memberikan tekanan. Gesekan antara kedua permukaan akan menghasilkan panas yang akan melelehkan ujung permukaan benda kerja (b). tekanan terus diberikan hingga lelehan kedua permukaan menyatu dan membentuk sambungan (c). jika kedua permukaan telah menyatu, putaran dihentikan dan pada sisi tekan diberikan tekanan tambahan untuk mengasilkan sambungan yang sempurna (d).



Gambar 2.4 *Linier Friction Welding*
Sumber: T. C. Nguyen, 1999

2.8 Kelebihan Pengelasan Gesek

Beberapa hal yang menjadi pertimbangan dalam pemilihan las gesek sebagai metode penyambungan antara lain;

1. Prosesnya meminimalisir energi yang dibutuhkan
2. Tidak menghasilkan asap dan geram
3. Dapat dilakukan pada logam yang berbeda jenis
4. Kekuatan sambungan sama/lebih dari logam induknya
5. Pengelasan pada temperatur rendah dapat mempertahankan mikrostruktur dan sifat material
6. Daerah *Heat Affected Zone* (HAZ) yang sempit

2.9 Pengujian Impak (*Impact Test*)

Pengujian impak merupakan salah satu cara yang dapat digunakan untuk mengetahui ketangguhan suatu material. Pada pengujian impak, spesimen (benda kerja) mendapatkan beban kejut hingga patah. Dari data yang didapatkan dalam pengujian impak dan perhitungan yang dilakukan dapat diketahui besar energi yang dapat diserap material sebelum material mengalami kerusakan.

Terdapat beberapa metode dalam pengujian impak antara lain:

1. Pengujian Tarik Kejut (*Tensile Impact Test*)

Pada pengujian tarik kejut, salah satu ujung spesimen dijepit sedangkan ujung yang lain mendapatkan beban tarik secara kejut. Biasanya digunakan untuk material yang ulet.

2. *Torsion Impact Test*

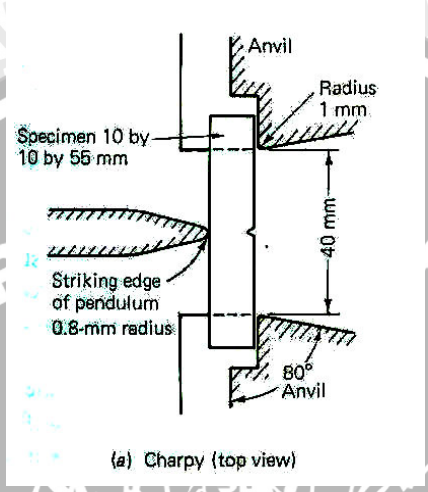
Prinsip kerjanya sama dengan *Tensile Impact Test*, perbedaannya pada pemberian beban kejut terhadap spesimen. Pada *Torsion Impact Test* beban kejut berupa torsi yang dikenakan pada salah satu ujungnya.

3. Pengujian Pukul Takik

Pada pengujian pukul takik spesimen sebelumnya diberi takik dengan bentuk dan dimensi tertentu dan kemudian mendapatkan beban pukulan secara kejut. Pada pengujian ini energi yang digunakan untuk mematahkan spesimen berasal dari energi potensial dari pendulum yang digunakan untuk memberi beban pukulan pada spesimen. Dalam pengujian pukul takik terdapat 2 cara pembebanan, antara lain:

a. Metode *Charpy*

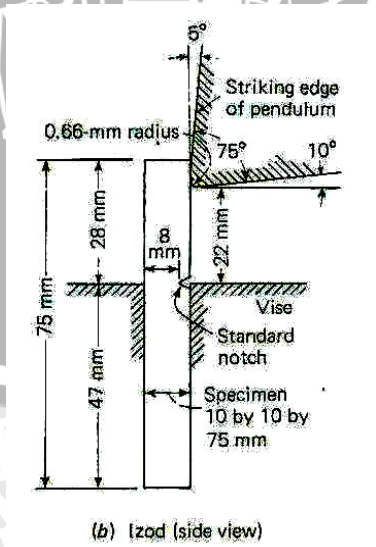
Dalam pengujian impak dengan metode *Charpy*, pemasangan spesimen ditumpu pada kedua ujungnya dan posisi takik membelakangi arah datangnya ayunan pendulum seperti tampak pada Gambar 2.5. Pendulum akan memukul pada daerah punggung takikan dan gaya tumbukan akan mematahkan spesimen.



Gambar 2.5 Pemasangan Spesimen Pengujian Impak dengan Metode C*harpy*
Sumber : Davis, 1982:233

b. Metode *Izod*

Pada pengujian impak dengan metode *Izod*, spesimen dipasang tegak dengan dijepit pada salah satu ujungnya dengan batas jepitan tepat di tengah takikan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6. Posisi takikan menghadap arah datangnya ayunan pendulum, gaya yang diterima dari pukulan pendulum akan mematahkan spesimen uji.



Gambar 2.6. Pemasangan Spesimen Pengujian Impak dengan Metode *Izod*
Sumber : Davis, 1982:233

Pada spesimen yang telah dilakukan pengujian impak, akan dapat diketahui jenis patahan yang dihasilkan. Adapun jenis-jenis patahan tersebut antara lain:

1. Patahan Getas

   Ciri-ciri patahan getas adalah memiliki permukaan rata dan mengkilap, apabila potongan ini disambung kembali maka kedua potongan ini akan menyambung dengan baik dan rapat. Hal ini disebabkan pada saat proses patahnya, spesimen tidak mengalami deformasi. Bahan yang memiliki jenis patahan ini mempunyai kekuatan impak yang rendah.

2. Patahan Liat

   Ciri-ciri permukaan patahan jenis ini tidak rata dan dan tampak seperti beludru, buram dan berserat. Jika potongan disambungkan kembali maka sambungan tidak akan rapat. Bahan yang memiliki jenis patahan ini mempunyai kekuatan impak yang tinggi, karena sebelum patah bahan mengalami deformasi terlebih dahulu.

3. Patahan Campuran

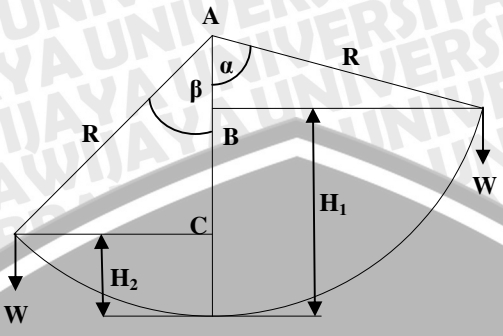
   Ciri-cirinya patahan jenis ini adalah permukaan patahan sebagian terdiri dari patahan getas dan sebagian yang lain adalah patahan liat.

   Adapun sifat-sifat patahan dapat dijelaskan pada Gambar 2.7.

a. Patahan getas b. Patahan liat c. Patahan campuran

Gambar 2.7 Sifat-sifat Patahan
a). Patahan getas, b). Patahan liat, c). Patahan campuran
Sumber: ASM Handbook, 1996

Adapun rumus yang digunakan dalam pengujian impak dengan metode pukul takik dapat diturunkan berdasarkan gambar 2.8 berikut:



Gambar 2.8 Skema *Charpy Impact Test*
Sumber : Verma, ER. CL, 1976: 86

a. Energi untuk mematahkan spesimen (*E*')

Energi atau usaha untuk mematahkan spesimen dapat dicari dari persamaan sebagai berikut (Verma, ER. CL, 1976: 86):

$$\begin{aligned} E' &= WH_1 - WH_2 \\ &= W(H_1 - H_2) \\ &= W(BC) \\ &= W(AC - AB) \\ &= W(R\cos\beta - R\cos\alpha) \\ &= WR(\cos\beta - \cos\alpha) \end{aligned} \qquad (2.1)$$

dengan:

E' = Energi untuk mematahkan spesimen (N·mm)
m = Massa dari pendulum atau palu (kg)
W = Berat pendulum atau palu (N)
g = Percepatan gravitasi (10 m/s^2)
H_1 = Tinggi kedudukan awal pendulum atau palu (mm)
H_2 = Tinggi pendulum atau palu setelah mematahkan spesimen (mm)
R = Panjang lengan pendulum (mm)
α = Sudut simpang awal ayunan pendulum (^{o})
β = Sudut simpang akhir ayunan pendulum setelah mematahkan spesimen (^{o})

b. Kerugian energi pada alat (*f*)

Energi yang hilang dapat disebabkan karena gesekan dalam poros bantalan (Herman E, Davis, 1964: 236). Energi yang hilang atau kerugian energi pada alat dapat kita

hitung melalui besarnya energi ayunan pada saat tanpa spesimen (Verma, ER. CL, 1976: 86).

$$f = WR(\cos\beta_o - \cos\alpha) \quad (2.2)$$

dengan:

f = Kerugian energi yang disebabkan oleh gesekan (N·mm)

β_o = Sudut simpang akhir ayunan pendulum tanpa spesimen (^{o})

c. Energi aktual yang dibutuhkan (Verma, ER. CL, 1976: 86).

$$E_a = E' - f \quad (2.3)$$

dengan:

E_a = Energi aktual yang dibutuhkan (N·mm)

d. Energi aktual yang dibutuhkan untuk mematahkan spesimen tiap satuan luas penampang (Verma, ER. CL, 1976: 86).

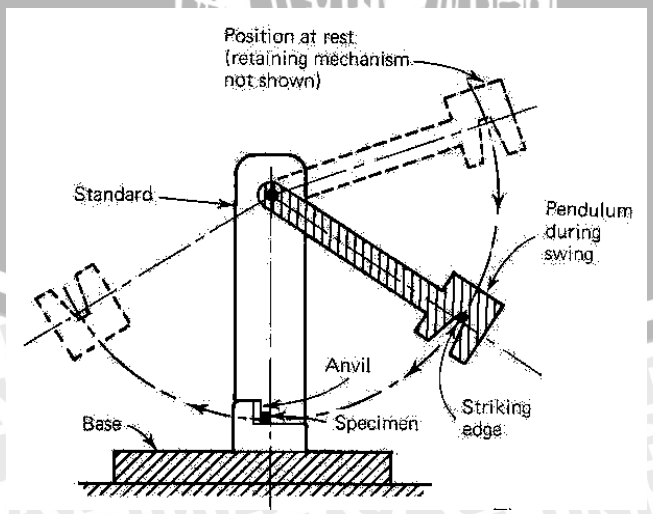
$$E = \frac{E_a}{A} \quad (2.4)$$

dengan:

E = Kekuatan impak atau nilai pukul takik (N·mm/mm^2)

A = Luas penampang patahan benda kerja (mm^2)

Bentuk konstruksi mesin uji impak ditunjukkan seperti pada Gambar 2.9. Terdapat bagian berupa batang berpendulum yang dapat memutar membentuk ayunan yang ditumpu pada batang tegak yang dihubungkan ke alas mesin uji. Ayunan pendulum akan membentuk sudut yang besarnya tergantung pada seberapa besar ketangguhan spesimen menerima tumbukan.



Gambar 2.9 Mesin Uji Impak
Sumber : Davis, 1982:228

2.10 Ketangguhan dan Daerah *Heat Affected Zone* (HAZ)

Ketika pengelasan berlangsung, logam induk di sekitar logam las mengalami siklus thermal berupa pemanasan sampai mendekati titik cair kemudian diikuti pendinginan. Sebagai akibatnya struktur mikro dan sifat-sifat mekanisnya berubah dari keadaan semula. Daerah atau zona ini dinamakan *heat affected-zone* (HAZ).

Hilangnya kekuatan di HAZ sangat dipengaruhi oleh proses pengelasan, masukan panas, dan kecepatan pengelasan. Jika masukan panas yang diberikan semakin tinggi, maka HAZ yang terbentuk semakin lebar dan semakin banyak kekuatan yang hilang. Oleh karena itu, masukan panas seharusnya diminimalisir ketika mengelas paduan aluminium (Sindo Kou, 2002).

Menurut Avinash et al (2007), pada pengelasan gesek, sambungan las yang memiliki daerah HAZ yang sempit akan menghasilkan kekuatan impak sambungan las yang tinggi. Hal ini disebabkan pada daerah HAZ terjadi perubahan struktur material yang menjadi lebih besar, sehingga menurunkan kemampuan dalam menerima beban yang diterima. Jika daerah HAZ lebar, maka kemampuan sambungan las gesek dalam menerima beban menjadi kecil.

2.11 Masukan Panas/ *Heat Input*

Panas total yang dihasilkan dari gesekan kedua permukaan yang berguna untuk mencairkan logam benda kerja. Harga *heat input* merupakan fungsi dari kecepatan (m/s), tekanan (N/m^2), luas bidang kontak (m^2), dan koefisien gesek.

Harga *heat input* didekati dengan persamaan akibat gaya gesek yang ditimbulkan sebagai berikut:

$$q = P \cdot A_c \cdot \mu \cdot v \qquad (2.5)$$

dengan:

$$P = \frac{F}{A_c} \qquad (2.6)$$

$$v = 2\frac{\pi \cdot \omega \cdot r}{60} \qquad (2.7)$$

Yang mana:

q = masukan panas/ *heat input* (Watt)

P = tekanan yang diberikan (N/m^2)

A_c = luasan bidang kontak (m^2)

V = kecepatan (m/s)

μ = koefisien gesek

F = gaya tekan pengelasan (N)

ω = putaran (rpm)

R = jari-jari bidang kontak (m)

Substitusikan pers. (2.6) dan (2.7) ke dalam pers. (2.5), sehingga didapat:

$$q = \frac{F}{A_c} \cdot A_c \cdot \mu \cdot 2\frac{\pi \cdot \omega \cdot r}{60}$$

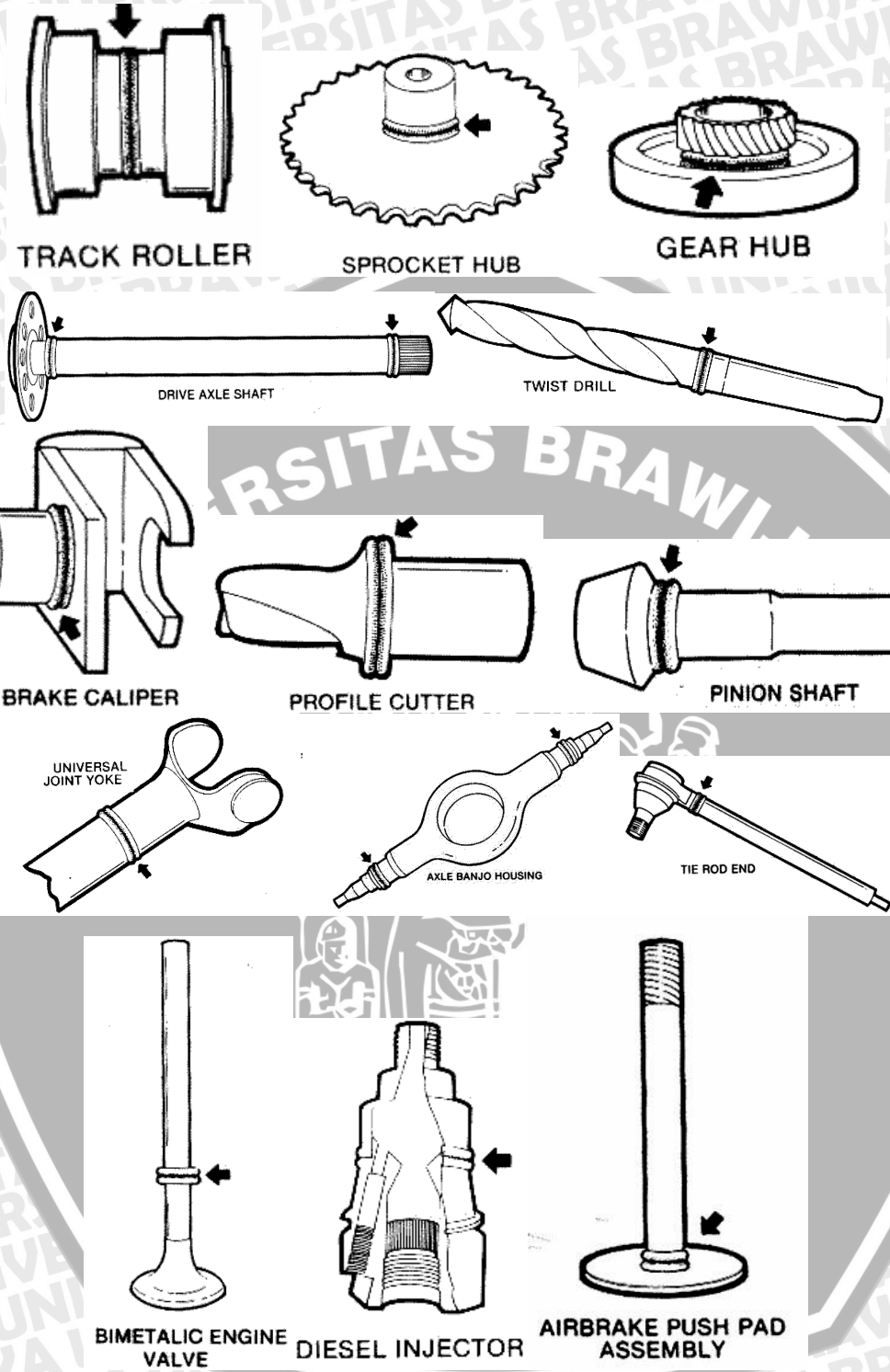
$$q = 2\frac{\pi \cdot \omega \cdot r}{60} \cdot F \cdot \mu \qquad (2.8)$$

Harga *heat input* bisa diasumsikan sebagai harga panas yang diterima benda kerja untuk menaikkan temperatur dari temperatur awal hingga temperatur plastis benda kerja.

2.12 Aplikasi Pengelasan Gesek

Las gesek telah banyak dipergunakan sebagai salah satu metode penyambungan beberapa componen permesinan dalam bidang otomotif, industri perkapalan dan industri militer. Beberapa contoh aplikasi las gesek ditunjukkan pada Gambar 2.10 dan 2.11.

Gambar 2.10 Aplikasi Las Gesek pada Paduan Al-Mg-Si,
Sumber : *Manufacturing Technology Inc*. 2000



Gambar 2.11 Aplikasi Las Gesek pada Komponen Permesinan
Sumber : *NCT Inc*. 2001

2.13 Hipotesis

Penggunaan sudut *chamfer* akan mengurangi besarnya jari-jari bidang kontak pada pengelasan gesek, sehingga panas yang dihasilkan akan berbeda. Semakin besar sudut *chamfer* (0° dianggap tanpa sudut) akan menyebabkan masukan panasnya semakin besar dan akan menghasilkan daerah *Heat Affected Zone* yang semakin lebar. Oleh karena itu, dapat diduga bahwa dengan semakin besar sudut *chamfer* yang digunakan pada putaran dan gaya tekan yang sama pada proses pengelasan gesek paduan Aluminium AA6061, maka kekuatan impak hasil sambungan las gesek yang terbentuk akan semakin rendah.

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan adalah penelitian eksperimental sejati (*true experimental research*), untuk mendapatkan data-data dan informasi tambahan diperoleh melalui kajian literatur dari buku dan jurnal penelitian.

3.2 Variabel Penelitian

3.2.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan sebelum dilakukan penelitian. Variabel bebas yang digunakan adalah sudut *chamfer* permukaan kontak yaitu; 0º, 15º, 22,5º, 30º, 45°, 60°, dan 75°.

3.2.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besar nilainya tergantung oleh variabel bebas. Dalam penelitian ini yang menjadi variabel terikat adalah kekuatan impak.

3.2.3 Variabel Kontrol

Variabel yang besarnya dikendalikan selama penelitian yaitu:

- Gaya tekan pengelasan 156,8 kgf
- Waktu pengelasan 2 menit
- Putaran *spindle* 1600 rpm
- *Holding* 2 menit

3.3 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Oktober-November 2008. Tempat yang digunakan untuk penelitian yaitu:

1. Laboratorium Proses Produksi Teknik Mesin Universitas Brawijaya
2. Laboratorium Pengujian Bahan Teknik Mesin Universitas Brawijaya

3.4 Alat yang Digunakan

a. *Stopwatch*
b. Jangka sorong
c. Mesin bubut
d. Mesin milling
e. Mesin sekrap
f. Kamera digital
g. Mesin uji impak
h. Gergaji
i. Alat bantu cekam

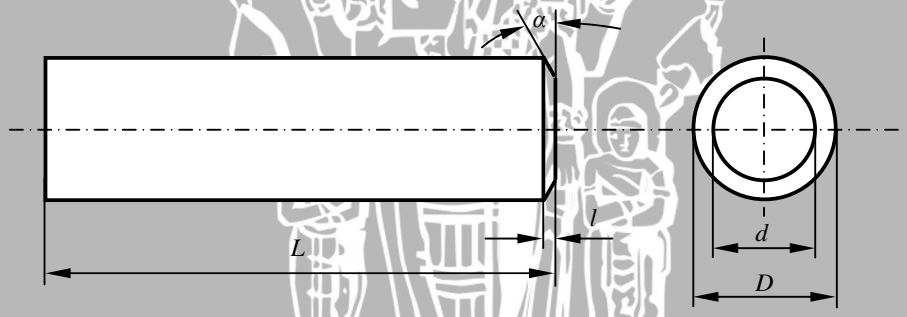
3.5 Bahan yang Digunakan

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

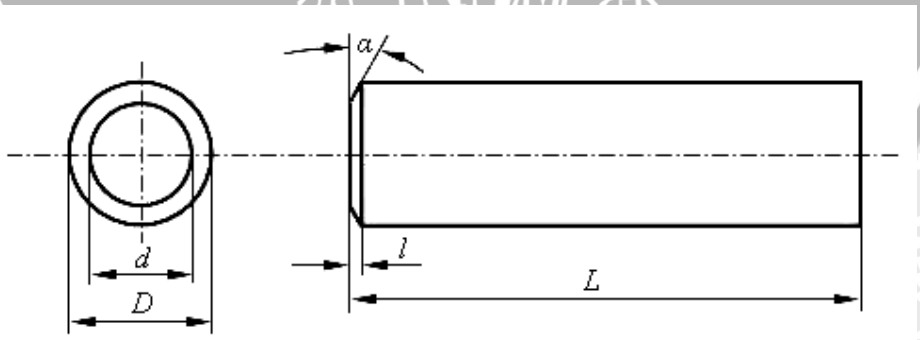
Tabel 3.1 Komposisi kimia paduan Al-Mg-Si seri AA6061

Kandungan Unsur (% berat)											
Al	Mg	Si	Fe	Cu	Zn	Mn	Cr	Pb	Ti	Ni	Sn
97,3843	0,90732	0,69491	0,43594	0,20956	0,19028	0,09383	0,03647	0,02147	0,01362	0,00812	0,00423

3.6 Dimensi Benda Kerja



a. Sisi kiri

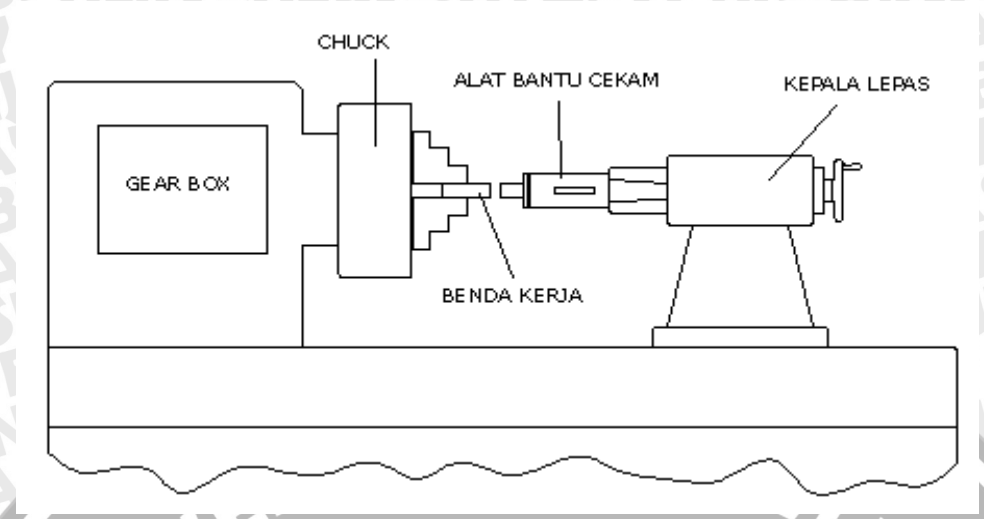


b. Sisi kanan

Keterangan:

L = 70 mm
l = 2 mm
D = 20 mm
α = 0°, 15°, 22,5°, 30°, 45°, 60°, 75°

3.7 Skema Alat Pengelasan Gesek



Gambar 3.2 Skema Alat Pengelasan Gesek

3.8 Prosedur Penelitian

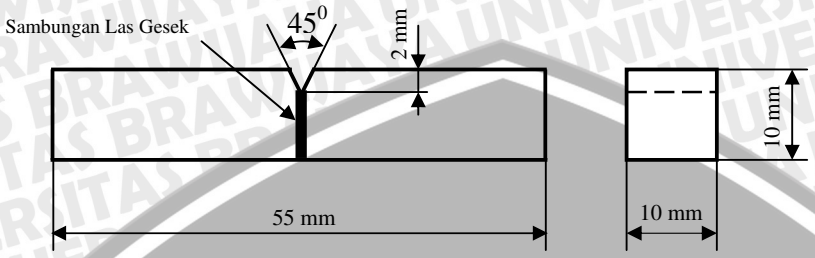
3.8.1 Pengelasan gesek

Proses pengelasan gesek dilakukan pada mesin bubut dengan langkah-langkah yang dilakukan sebagai berikut:

a. Pembentukan sudut *chamfer*
b. Penghalusan permukaan kedua benda kerja
c. Pemasangan benda kerja pada cekam
d. Pengaturan kecepatan putaran *spindle* yang digunakan
e. Mesin dihidupkan
f. Pengaturan tekanan yang diberikan
g. Proses pengelasan dimulai, perhitungan waktu 2 menit
h. Mesin dimatikan
i. *Holding* 2 menit
j. Pelepasan benda kerja pada cekam
k. Pengecekan hasil lasan

3.8.2 Pengujian Kekuatan Impak

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian kekuatan impak dengan bentuk spesimen seperti ditunjukkan Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Spesimen Pengujian Kekuatan Impak
Sumber: ASTM E23-82

Prosedur pengujian sebagai berikut:

1. Spesimen dipasang erat pada cekam penjepit dengan arah takikan membelakangi pendulum
2. Pendulum dilepaskan dengan nilai beban yang telah ditentukan
3. Pencatatan penunjukan jarum sesuai hasil pengujian impak

3.8.3 Pengujian Makrostruktur

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui hubungan sudut *chamfer* terhadap perubahan kondisi daerah *Heat Affected Zone* (HAZ) dari sambungan pengelasan gesek yang terbentuk.

Prosedur pengujian sebagai berikut:

1. Pemotongan spesimen uji
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 nomor 800, 1000, 1200 dan 1500 dan terakhir dengan Autosol
4. Pengetsaan dilakukan dengan pemberian larutan *Hydroflouric Acid* (HF), ditahan selama 1 menit.
5. Pencucian specimen
6. Dilakukan pemeriksaan dengan camera, kemudian hasilnya dicetak.

3.9 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian ini merupakan cara untuk menentukan keberhasilan suatu penelitian atau eksperimen dan juga menentukan analisis yang sesuai sehingga didapat suatu kesimpulan yang tepat.

Pencatatan data merupakan hal yang sangat penting dalam proses analisis data untuk memperoleh informasi tentang sesuatu hal yang benar. Oleh karena itu, diperlukan ketelitian serta adanya sampel yang cukup mewakili populasi dari masalah yang akan diteliti.

Data yang telah diperoleh kemudian diolah dengan analisis statistik dengan menggunakan analisis varian satu arah.

3.9.1 Analisis Statistik

- Data rata-rata

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \quad \text{.....(3-1)}$$

- Standar Deviasi

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum \left| x - \bar{x} \right|^2}{n-1}} \quad \text{.....(3-2)}$$

- Standar Deviasi Rata-Rata

$$\bar{\delta} = \frac{\delta}{\sqrt{n}} \quad \text{.....(3-3)}$$

- Interval Penduga

$$\bar{x} - \left[t\left(\frac{\alpha}{2}, db\right) \cdot \bar{\delta} \right] < \mu < \bar{x} + \left[t\left(\frac{\alpha}{2}, db\right) \cdot \bar{\delta} \right] \quad \text{.....(3-4)}$$

3.9.2 Analisis Ragam Klasifkasi Satu-Arah

Analisis ragam klasifikasi satu-arah digunakan untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh sudut *chamfer* terhadap kekuatan impak sambungan las gesek. Harga tengah dianggap sebagai $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4, \mu_5, \mu_6,$ dan μ_7 sehingga hipotesis penelitian dapat ditulis sebagai berikut:

H_o : $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6 = \mu_7$ (besar sudut *chamfer* tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap kekuatan impak sambungan las)

H_1 : sekurang-kurangnya dua nilai tengah tidak sama (besar sudut *chamfer* memberikan pengaruh yang nyata terhadap kekuatan impak sambungan las)

Pengamatan ditabelkan seperti Tabel 3.2 sebagai berikut

Nilai sudut *chamfer* yaitu; 0º, 15º, 22,5º, 30º, 45°, 60°, dan 75° dengan putaran *spindle* 1600 rpm dengan gaya tekan sebesar 156,8 kgf.

Tabel 3.2 Rancangan Penulisan Data Penelitian

Pengulangan Uji kekuatan impak ($N \cdot mm/mm^2$)	**Sudut *Chamfer***							
	0º	**15º**	**22,5º**	**30º**	**45°**	**60°**	**75°**	
1	x_{11}	x_{21}	x_{31}	x_{41}	x_{51}	x_{61}	x_{71}	
2	x_{12}	x_{22}	x_{32}	x_{42}	x_{52}	x_{62}	x_{72}	
3	x_{13}	x_{23}	x_{33}	x_{43}	x_{53}	x_{63}	x_{73}	
Jumlah	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	$T..$
Rata-rata	$\bar{x}_1$	$\bar{x}_2$	$\bar{x}_3$	$\bar{x}_4$	$\bar{x}_5$	$\bar{x}_6$	$\bar{x}_7$	$\bar{x}..$

Berdasarkan pada tabel:

- Jumlah seluruh perlakuan = $\sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{n} x_{ij}$ .....(3-5)
- Jumlah kuadrat seluruh perlakuan= $\sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{n} x_{ij}^{\ 2}$ .....(3-6)
- Faktor Koreksi (*fk*)

  $fk = \frac{T..^{2}}{nk}$ .....(3-7)
- Jumlah Kuadrat Total (JKT)

  $JKT = \sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{n} x_{ij}^{\ 2} - \frac{T..^{2}}{nk}$ .....(3-8)
- Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP)

  $JKP = \frac{\sum_{i=1}^{k} T_{i.}^{\ 2}}{n} - \frac{T..^{2}}{nk}$ .....(3-9)
- Jumlah Kuadrat Galat (JKG)

  $JKG = JKT - JKP$ .....(3-10)

Setelah dilakukan perhitungan data, kemudian hasil perhitungan tersebut ditabelkan seperti pada Tabel 3.3 dibawah ini.

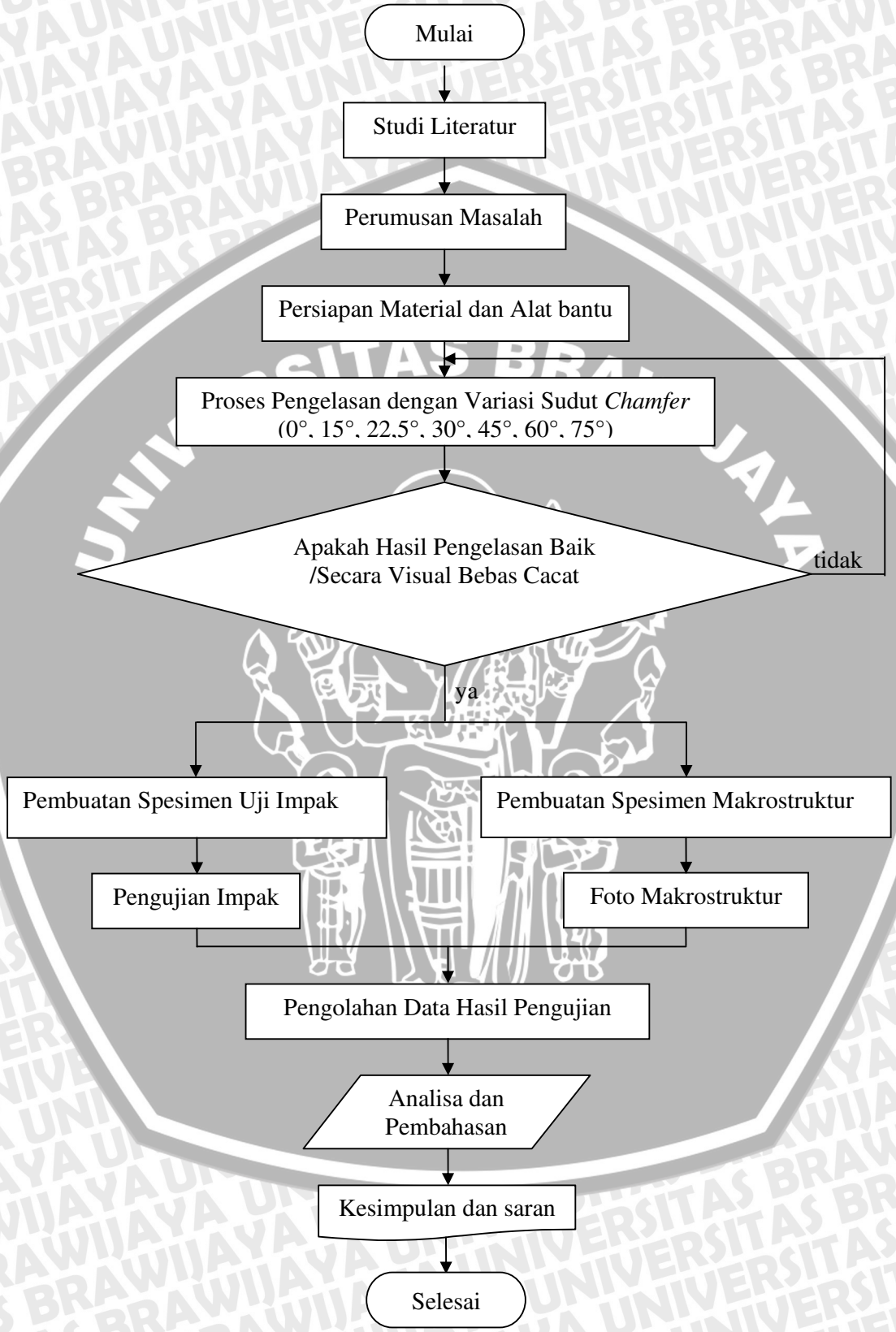
Tabel 3.3 Analisis Ragam Klasifikasi Satu-Arah Data kekuatan Impak

Sumber Keragaman	**Derajat Bebas**	**Jumlah Kuadrat**	**Kuadrat Rata-rata**	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	k-1	JKP	$s_1^2 = \frac{JKP}{k-1}$	$\frac{s_1^2}{s_2^2}$	F(α,k,db)
Galat	k(n-1)	JKG	$s_2^2 = \frac{JKG}{k(n-1)}$		
Total	nk-1	JKT			

Pengujian ada tidaknya pengaruh perlakuan adalah dengan membandingkan antara F_{hitung} dengan F_{tabel}

1. Jika $F_{hitung} > F(\alpha,k,db)$ berarti H_o ditolak, menyatakan bahwa ada pengaruh antara besar sudut *chamfer* terhadap kekuatan impak sambungan las.
2. Jika $F_{hitung} < F(\alpha,k,db)$ brarti H_o diterima, menyatakan bahwa tidak ada pengaruh antara besar sudut *chamfer* terhadap kekuatan tarik sambungan las.

3.10 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.4 Diagram Alir Penelitian

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian Kekuatan Impak

Berikut ini akan disajikan data nilai kekuatan impak (N·mm/mm^2) yang diperoleh dari penelitian yang dilakukan dan pada setiap pengamatan dilakukan replikasi/ pengulangan sebanyak 3 kali. Data-data tersebut disusun dalam tabel yang sistematis sehingga bisa memudahkan untuk pengolahan selanjutnya. Data ini merupakan hasil dari pengujian impak hasil lasan.

Tabel 4.1. Data Hasil Pengujian kekuatan Impak

Pengulangan Uji kekuatan impak (N·mm/mm^2)	Sudut *Chamfer*							
	0°	**15°**	**22.5°**	**30°**	**45°**	**60°**	**75°**	
1	201.08	421.05	273.23	258.25	258.25	167.81	195.04	
2	131.39	204.1	243.25	228.21	258.25	164.78	228.21	
3	107.04	382.98	270.23	258.25	243.25	131.39	213.15	
Jumlah	**439.51**	**1008.13**	**786.71**	**744.71**	**759.75**	**463.98**	**636.4**	**4839.19**
Rata-rata	**146.5**	**336.04**	**262.24**	**248.24**	**253.25**	**154.66**	**212.13**	**230.44**

4.2 Analisis Statistik

4.2.1 Analisis Statistik Kekuatan Impak

Analisis statistik kekuatan impak diambil salah satu contoh pada sudut *chamfer* 30°.

- Data rata-rata

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

$$= \frac{744.41}{3}$$

$$= 248.24 \text{ N·mm/mm}^2$$

- Standar Deviasi

$$\delta = \sqrt{\frac{\Sigma |x - \bar{x}|^2}{n-1}}$$

$$= \sqrt{\frac{601.60}{3-1}} = 17.34$$

- Standar Deviasi Rata-rata

$$\bar{\delta} = \frac{\delta}{\sqrt{n}}$$

$$= \frac{17.34}{\sqrt{3}}$$

$$= 10.01$$

- Interval penduga

$$\bar{x} - \left[t\left(\frac{\alpha}{2}, db\right).\bar{\delta} \right] < \mu < \bar{x} + \left[t\left(\frac{\alpha}{2}, db\right).\bar{\delta} \right]$$

db = n-1

= 3-1 = 2

Dari dengan mengambil α = 5 % dapat diketahui

t (α/2 ; db) = t (0,025 ; 2) = 4.303

maka

$$248.24 - [(4.303)(10.01)] < \mu < 248.24 + [(4.303)(10.01)]$$

$$248.24 - 43.07 < \mu < 248.24 + 43.07$$

$$205.17 < \mu < 291.31$$

Jadi interval penduga kekuatan impak sambungan las dengan sudut *chamfer* 30^0 didapatkan 205.17 N·mm/mm^{2}sampai 291.31 N·mm/mm^{2}dengan tingkat keyakinan 95 %.

Dengan perhitungan yang sama seperti di atas, didapatkan interval penduga kekuatan impak beberapa sudut *chamfer* yang berbeda kemudian disusun pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Interval penduga kekuatan impak

Sudut *Chamfer* (derajat)	Kekuatan Impak Rata-rata (N·mm/mm^2)	Standar Deviasi	Standar Deviasi Rata-rata	Interval Penduga Kekuatan Impak
15°	336.04	115.85	66.89	48.21 < t < 623.87
22,5°	262.24	16.51	9.53	221.23 < t < 303.25
30°	248.24	17.34	10.01	205.17 < t < 291.31
45°	253.25	8.66	5	231.74 < t < 274.77
60°	154.66	20.21	11.69	104.36 < t < 204.96
75°	212.13	16.61	9.59	170.86 < t < 253.4
0°	146.5	48.81	28.18	25.24 < t < 267.76

4.2.2 Analisis Ragam Klasifikasi Satu-Arah

Dari data hasil perhitungan di atas, dilakukan analisis statistik menggunakan analisa ragam klasifikasi satu-arah untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh sudut *chamfer* terhadap kekuatan impak sambungan las gesek. Hipotesis yang digunakan pada analisis ini, yaitu :

H_o : $\mu_{1=}\ \mu_{2=}\ \mu_{3=}\ \mu_{4=}\ \mu_{5=}\ \mu_{6=}\ \mu_{7}$ (besar sudut *chamfer* tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap kekuatan impak sambungan las)

H_1 : sekurang-kurangnya dua nilai tengah tidak sama (besar sudut *chamfer* memberikan pengaruh yang nyata terhadap kekuatan impak sambungan las)

Dengan mengacu pada data di atas dapat diketahui nilai

- n (jumlah pengulangan) = 3 kali
- k (jumlah variasi) = 7 variasi
- N (jumlah seluruh data yang diambil) = 21 data

Perhitungan ragam klasifikasi satu-arahnya sebagai berikut :

- Jumlah keseluruhan perlakuan

$$= \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{k} x_{ij} = \sum_{i=1}^{4}\sum_{j=1}^{7} x_{ij}$$

$$= 201.08 + 421.05 + 273.23 + ...+ 131.39 + 213.15$$

$$= 4839.19$$

- Jumlah kuadrat seluruh perlakuan

$$= \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{k} x_{ij}^{\ 2}$$

$$= (201.08)^2 + (421.05)^2 + (273.23)^2 + ...+ (131.39)^2 + (213.15)^2$$

$$= 1227769$$

- Faktor koreksi (fk)

$$fk = \frac{T...^2}{nk}$$

$$= \frac{(4839.19)^2}{21}$$

$$= 1115131.42$$

- Jumlah kuadrat total (*JKT*)

$$JKT = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{k} x_{ij}^{\ 2} - \frac{T...^{2}}{nk}$$

$$= 1227769 - 1115131.42$$

$$= 112637.58$$

- Jumlah kuadrat perlakuan (*JKP*)

$$JKP = \frac{\sum_{j=1}^{k} T_{i..}^{\ 2}}{n} - \frac{T...^{2}}{nk}$$

$$= \frac{3580503}{3} - 1115131.42$$

$$= 78369.58$$

- Jumlah kuadrat galat (*JKG*)

$$JKG = JKT - JKP$$

$$= 112637.58 - 78369.58$$

$$= 34268$$

Dengan menentukan tingkat kesalahan (α) sebesar 5 %, maka untuk F_{tabel} (α; k-1; N-k) = F_{tabel} (0,05; 6; 14) adalah 2.85

Tabel 4.3 Analisis Ragam Klasifikasi Satu-Arah Data Kekuatan Impak

Sumber Varian	***db***	**Jumlah Kuadrat**	**Kuadrat Tengah**	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	6	78369.58	13061.6	5.34	2.85
Galat	14	34268	2447.71		
Total	20	112637.58	-	-	-

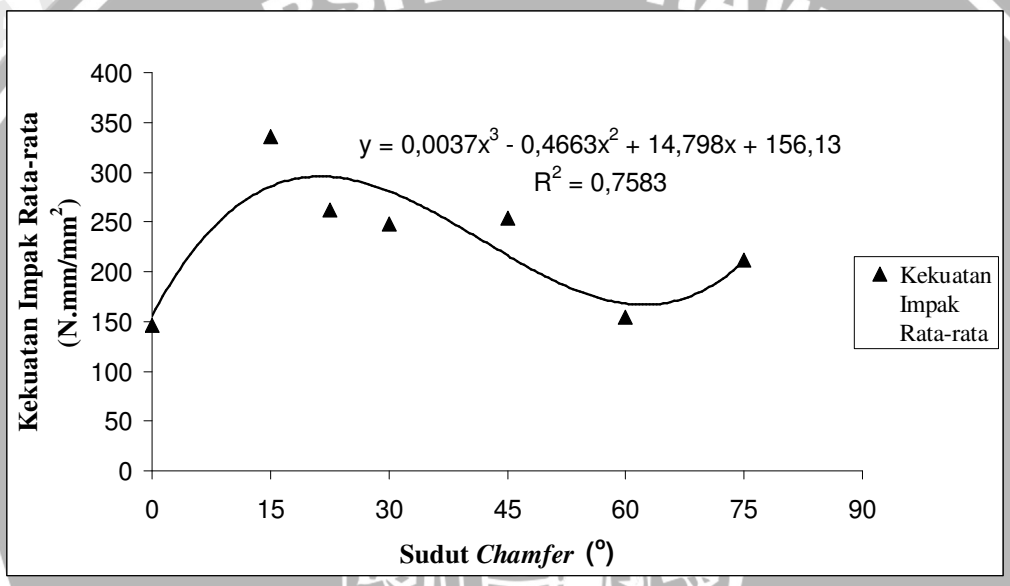
Dari hasil perhitungan terlihat bahwa $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima yang berarti ada pengaruh yang nyata antara sudut *chamfer* terhadap kekuatan impak sambungan las gesek dengan resiko kesalahan 5%.

4.3 Pembahasan

4.3.1 Hubungan antara Sudut *Chamfer* Terhadap Kekuatan Impak

Dari hasil pengujian dan perhitungan data dengan nilai sudut *chamfer* yang berbeda maka didapatkan besarnya kekuatan impak sambungan las gesek. Untuk mempermudah dalam menganalisa maka hasil perhitungan tersebut digambarkan dalam bentuk grafik. Grafik tersebut menunjukkan hubungan antara besarnya sudut *chamfer* terhadap kekuatan impak sambungan las gesek.

Kekuatan impak merupakan ketahanan suatu bahan terhadap pukulan (beban kejut) yang dinyatakan dengan banyaknya energi yang diserap untuk mematahkan bahan tersebut.



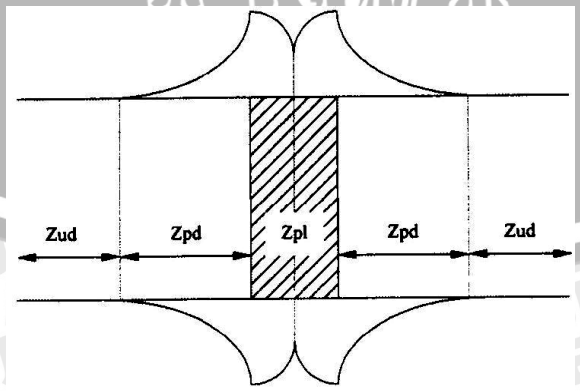
Gambar 4.1 Grafik Hubungan antara Sudut *Chamfer* terhadap Kekuatan Impak Rata-rata Sambungan Las Gesek Pada Paduan Aluminium AA6061

Dari Gambar 4.1 grafik hubungan antara sudut *chamfer* terhadap kekuatan impak rata-rata sambungan las gesek paduan Aluminium AA6061, dapat diketahui bahwa kekuatan impak sambungan las terendah pada sudut *chamfer* 0^o, tertinggi pada sudut *chamfer* 15^o, kemudian turun sampai sudut *chamfer* 30^o, kemudian terjadi sedikit kenaikan pada sudut *chamfer* 45^o, kemudian pada sudut 60^o terjadi penurunan lagi, dan pada sudut 75^o terjadi kenaikan. Kekuatan impak rata-rata tertinggi yang dapat dicapai pada sudut *chamfer* 15^o yaitu sebesar 336.04 N·mm/mm^2. Hal ini menunjukkan peningkatan yang berarti jika dibandingkan dengan pengelasan yang dilakukan tanpa adanya sudut *chamfer* dimana rata-rata nilai kekuatan impaknya hanya sebesar 146.5 N·mm/mm^{2}yang merupakan kekuatan impak terendah.

Berdasarkan hasil perhitungan statistik analisis varian satu arah didapatkan nilai F_{hitung} sebesar 5.34 dan dari tabel statistik dapat diketahui nilai F_{tabel} sebesar 2.85. Dengan demikian, nilai F_{hitung} lebih besar dari nilai F_{tabel}, sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan sudut *chamfer* pada sambungan las gesek memberikan pengaruh yang nyata pada kekuatan impak sambungan las gesek yang terbentuk.

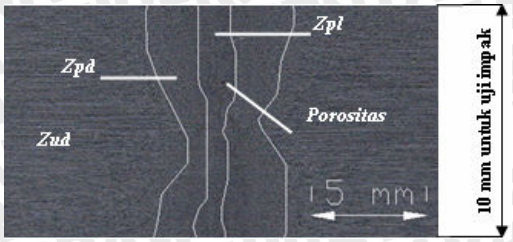
Penggunaan sudut *chamfer* memberikan pengaruh pada kekuatan sambungan las gesek (Lin et al, 1999). Kekuatan impak sambungan las gesek yang menggunakan sudut *chamfer* lebih tinggi daripada sambungan las tanpa menggunakan sudut *chamfer*. Pada spesimen yang menggunakan sudut *chamfer*, bidang kontak benda kerja menjadi lebih sempit. Luas bidang kontak dari kedua sisi material yang akan disambung mempengaruhi kemampuan material dalam menghasilkan panas yang diperoleh dari gesekan antar kedua sisinya.

Sambungan las memiliki daerah *Heat Affected Zone* (HAZ) yang berbeda dan dari luasan daerah HAZ ini dapat diketahui seberapa besar pengaruh panas terhadap perubahan struktur material di sekitar sambungan. Lin et al (1999), membagi sambungan las menjadi menjadi tiga bagian, yaitu *fully plasticized (Zpl)* atau daerah sambungan las dimana terjadi penyatuan kedua material secara sempurna, *partially deformed (Zpd)* atau daerah yang mengalami pengaruh panas sebagian yang sering disebut daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) dan *undeformed (Zud) regions* atau daerah yang tidak terpengaruh panas, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.3. Pembagian daerah HAZ ini dapat dilihat melalui foto makrostruktur dari sambungan las gesek yang terbentuk. Gambar 4.4 menunjukkan kondisi makrostruktur sambungan las gesek dengan sudut *chamfer* yang berbeda.

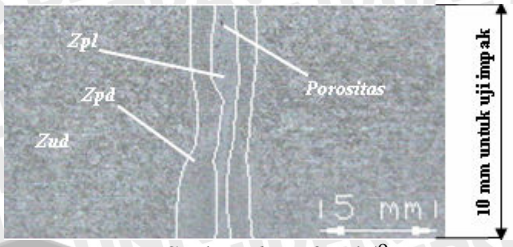


Keterangan: *fully plasticized (Zpl), partially deformed (Zpd) and undeformed (Zud) regions*

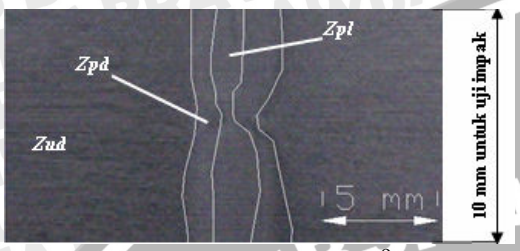
Gambar 4.3 Bagian Sambungan Las Gesek
Sumber : Lin et al (1999)



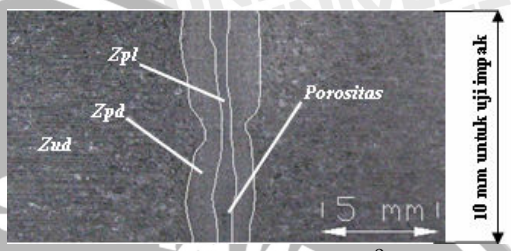
a. Sudut *chamfer* 0° (tanpa sudut *chamfer*)



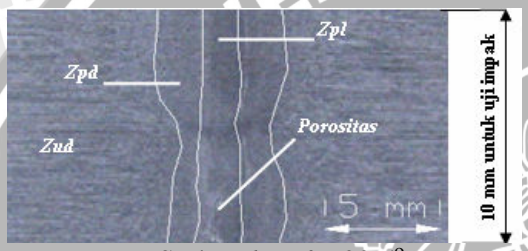
e. Sudut *chamfer* 45°



b. Sudut *chamfer* 15°

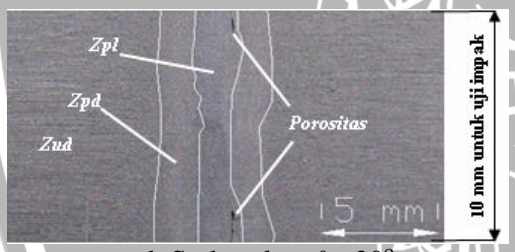


f. Sudut *chamfer* 60°



c. Sudut *chamfer* 22.5°

g. Sudut *chamfer* 75°



d. Sudut *chamfer* 30°

Keterangan: *fully plasticized (Zpl),* daerah HAZ atau *partially deformed (Zpd) and undeformed (Zud) regions*

Gambar 4.4 Kondisi Makrostruktur Sambungan Las Gesek Paduan Aluminium AA6061 pada Sudut *Chamfer* 0°, 15°, 22.5°, 30°, 45°, 60°, dan 75°

Menurut Avinash et al (2007), pada pengelasan gesek, sambungan las yang memiliki daerah HAZ yang sempit akan menghasilkan kekuatan impak sambungan las yang tinggi. Hal ini disebabkan pada daerah HAZ terjadi perubahan struktur material yang menjadi lebih besar, sehingga menurunkan kemampuan dalam menerima beban yang diterima. Jika daerah HAZ lebar, maka kemampuan sambungan las gesek dalam menerima beban menjadi kecil.

Luas daerah *fully plasticized* menunjukkan seberapa besar material dapat menyatu satu sama lain selama proses pengelasan berlangsung dan seberapa besar kekuatan sambungan yang terbentuk. Semakin luas daerah *fully plasticized* maka sambungan yang terbentuk semakin baik dan kekuatannya tinggi (Lin et al, 1999). Hal

ini disebabkan pada daerah *fully plasticized*, struktur material lebih homogen dan gaya ikat antar atomnya juga tinggi, sehingga harga kekuatan impaknya tinggi pula.

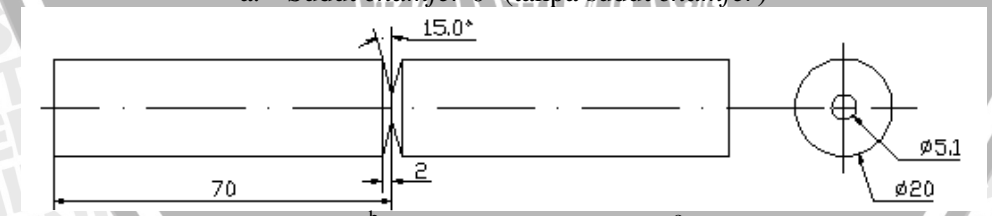
Pada pengelasan ini waktu pengelasan konstan yaitu 2 menit dengan *holding* konstan yaitu 2 menit. Akan tetapi gesekan yang terjadi akan berbeda pada tiap pengelasan, hal ini disebabkan oleh luas permukaan material yang mengalami gesekan berbeda dengan adanya sudut *chamfer*. Sehingga luas daerah HAZ dan luas Zpl akan berbeda pada tiap pengelasan, hal ini dapat kita amati pada table 4.4.

Tabel 4.4 Luas daerah HAZ pada diameter 10 mm

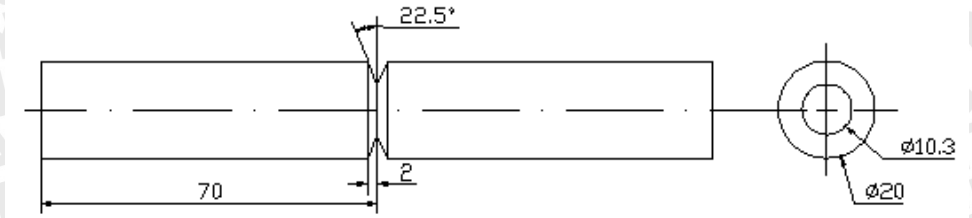
Sudut *Chamfer*	Luas Porositas (mm^2)	Luas Daerah HAZ (mm^2)	Luas Daerah *Fully Plasticized* (mm^2)
0^o	0.01	38.91	11.63
15^o	0	23.73	14.33
22.5^o	0.17	32.51	17.14
30^o	0.36	30.56	16.36
45^o	0.43	19.85	7.57
60^o	0.22	22.23	6.21
75^o	0.17	24.79	13.95

Mengacu pada Gambar 4.4, dapat diperoleh luas daerah HAZ, Luasan daerah *fully plasticized*, dan luas porositas dari masing-masing sambungan pada lebar 10 mm sesuai dengan spesimen pengujian impak dan disajikan pada Tabel 4.4. Dari luasan daerah HAZ, *fully plasticized* dan porositas tersebut dapat diketahui seberapa besar pengaruh panas terhadap perubahan struktur material di sekitar sambungan las.

a. Sudut *chamfer* 0^o (tanpa sudut *chamfer*)

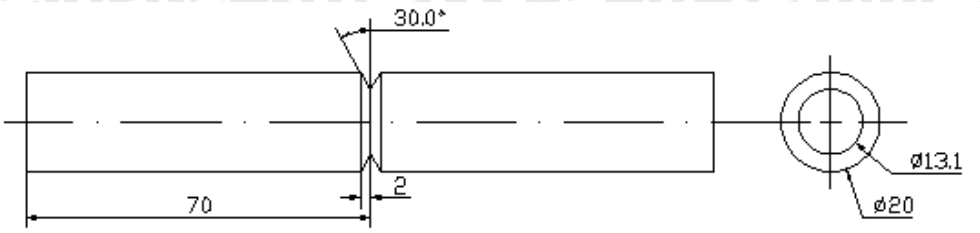


b. Sudut *chamfer* 15^o

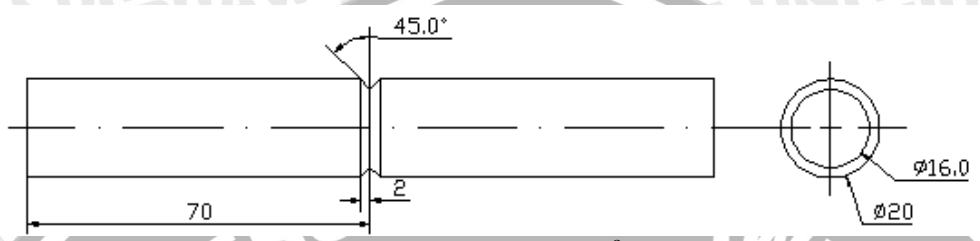


c. Sudut *chamfer* 22.5^o

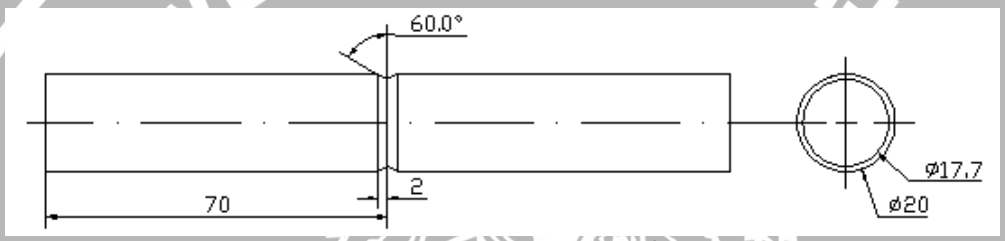
Gambar 4.5 Dimensi Spesimen Las Gesek pada Sudut *Chamfer* 0^o, 15^o dan 22.5^o



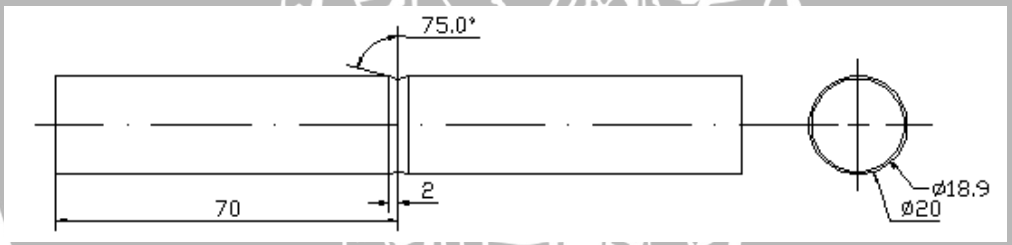
a. Sudut *chamfer* 30°



b. Sudut *chamfer* 45°



c. Sudut *chamfer* 60°



d. Sudut *chamfer* 75°

Gambar 4.6 Dimensi Spesimen Las Gesek pada Sudut *Chamfer* 30°, 45°, 60°, dan 75°

Mengacu pada Gambar 4.5 dan 4.6, dapat dilihat adanya perbedaan dimensi pada masing-masing sudut *chamfer* dan diperoleh volume alur yang terbentuk akibat *chamfer* dan disajikan pada Tabel 4.5. Dari volume alur yang terbentuk akibat sudut *chamfer* dapat diketahui pengaruhnya terhadap luas daerah HAZ maupun luas daerah *fully plasticized* yang terbentuk.

Tabel 4.5 Dimensi spesimen dan volume alur akibat sudut *chamfer*

Sudut *Chamfer* (^{o})	Diameter Pangkal *Chamfer* (mm)	Diameter Ujung *Chamfer* (mm)	Panjang *Chamfer* (mm)	Volume Alur Akibat *Chamfer* (mm^3)
0	20	0	2	0
15	20	5.1	2	700.4
22.5	20	10.3	2	514.4
30	20	13.1	2	383
45	20	16	2	234.4
60	20	17.7	2	143.2
75	20	18.9	2	46.8

Pada Gambar 4.4 (a), sambungan las dengan sudut *chamfer* 0^o atau tanpa sudut *chamfer* memiliki daerah HAZ yang paling lebar dibanding sambungan yang lain, luasnya sebesar 38.91 mm^2. Luasan daerah *fully plasticized* relatif kecil dengan besar luasan 11 mm^2, dan luas porositas yang terbentuk sangat kecil yaitu 0.01 mm^2. Kekuatan impak sambungan las dengan sudut *chamfer* 0^o adalah 154.66 $N{\cdot}mm/mm^2$ yang merupakan kekuatan impak paling rendah dibanding kekuatan impak sambungan dengan sudut *chamfer*. Hal ini terjadi karena daerah HAZ yang luas dan sempitnya daerah *fully plasticized* sehingga kekuatan impak menjadi rendah walaupun luas porositas yang terbentuk relatif kecil.

Masukan panas pada sudut *chamfer* 0^o lebih tinggi dibanding pada sudut yang lain. Hal ini disebabkan karena diameter bidang kontak yang lebih besar sehingga menyebabkan kecepatan radial pada saat pengelasan berlangsung menjadi lebih besar. Besarnya masukan panas menyebabkan logam pada bidang kontak lebih cepat meningkat suhunya sehingga logam lebih cepat lumer. Karena suhu pada bidang kontak cepat meningkat sehingga panas akan menyebar lebih luas ke daerah sekitar bidang kontak. Hal ini menyebabkan daerah HAZ yang terbentuk menjadi lebih luas.

Saat material pada bidang kontak mulai lumer sementara proses pengelasan terus berlangsung dan dengan adanya tekanan maka logam yang lumer tersebut akan keluar dari daerah lasan. Sudut *chamfer* 0^o tidak memiliki alur yang terbentuk akibat sudut *chamfer* (Gambar 4.5 (a)), maka logam lumer yang keluar dari daerah lasan akan membentuk *flash*. Akibat gesekan yang terus diberikan pada bidang kontak yang baru selama proses pengelasan maka logam pada bidang kontak tersebut akan selalu menjadi lumeran yang baru. Karena masukan panas yang besar maka pembentukan logam lumer yang baru akan lebih cepat dan logam lumer yang baru ini akan selalu keluar membentuk *flash*. Masukan panas yang besar menyebabkan kedua proses ini berjalan

dengan cepat selama pengelasan, sehingga pada hasil akhir pengelasan sambungan las yang terbentuk memiliki luasan daerah *fully plasticized* yang sempit.

Pada Gambar 4.4 (b), sambungan las dengan sudut *chamfer* 15^{o} memiliki luasan daerah HAZ yaitu sebesar 23.73 mm^{2}, dan luasan daerah *fully plasticized* sebesar 14.33 mm^{2}, dimana tidak terdapat rongga cacat. Sambungan las dengan sudut *chamfer* 15^{o} memiliki kekuatan impak sebesar 336.04 N·mm/mm^{2} dan merupakan kekuatan impak yang tertinggi. Hal ini terjadi karena daerah HAZ yang terbentuk cukup sempit dan luasan daerah *fully plasticized* yang cukup luas. Luasan daerah *fully plasticized* menunjukkan seberapa besar material dapat menyatu satu sama lain selama proses pengelasan berlangsung dan seberapa besar kekuatan sambungan yang terbentuk. Semakin luas daerah *fully plasticized* maka sambungan yang terbentuk semakin baik dan kekuatan impaknya tinggi (Lin et al, 1999).

Masukan panas pada sudut *chamfer* 15^{o} adalah yang paling kecil diantara sudut yang lain karena diameter bidang kontak yang kecil sehingga kecepatan radialnya menjadi kecil. Kecilnya masukan panas menyebabkan logam pada bidang kontak akan lebih lama meningkat suhunya sehingga logam akan lebih lama melumer. Dengan peningkatan suhu yang lebih lama pada bidang kontak maka panas yang yang menyebar ke sekitar bidang kontak lebih sedikit. Hal ini menyebabkan daerah HAZ yang terbentuk pada hasil akhir pengelasan lebih sempit.

Spesimen dengan sudut *chamfer* 15^{o} memiliki alur yang terbentuk akibat sudut *chamfer* (Gambar 4.5 (b)) dan jika dihitung volumenya didapat sebesar 700.4 mm^{3}. Saat material pada bidang kontak mulai lumer sementara proses pengelasan terus berlangsung dan dengan adanya tekanan maka logam yang lumer tersebut akan keluar dari daerah lasan. Logam lumer tersebut akan mengisi alur *chamfer* yang masih kosong hingga penuh. Saat alur telah terisi penuh maka logam yang lumer akan keluar membentuk *flash*. Masukan panas yang kecil menyebabkan proses pelumeran akan lebih lambat sehingga waktu yang tersisa untuk pembentukan *flash* lebih sedikit. Sehingga pada hasil akhir pengelasan, sambungan las yang terbentuk akan memiliki daerah fully *plasticized* yang lebih luas.

Pada Gambar 4.4 (c), sambungan las dengan sudut *chamfer* 22.5^{o}memiliki luas daerah HAZ sebesar 32.51 mm^{2}, luas daerah *fully plasticized* pada sambungan las dengan sudut *chamfer* 22.5^{o} adalah 17.14 mm^{2} dan luas porositas yang terbentuk sebesar 0.17 mm^{2}. Kekuatan impak pada sambungan las dengan sudut *chamfer* 22.5^{o} cukup tinggi tetapi masih di bawah sudut *chamfer* 15^{o} yaitu sebesar N·mm/mm^{2}. Hal ini terjadi

karena luas daerah HAZ dan luas porositas yang terbentuk lebih besar dari sudut 15^o, walaupun luas daerah *fully plasticized* yang terbentuk lebih luas. Yang mana semakin besar luas porositas yang terbentuk pada sambungan las akan menyebabkan kekuatan impak menurun.

Pada sudut *chamfer* 22.5^o, kecepatan peningkatan panas terjadi dengan lambat akan tetapi lebih cepat jika dibanding dengan sudut *chamfer* 15^o karena diameter bidang kontak yang lebih besar sehingga kecepatan radialnya lebih besar. Waktu yang diperlukan untuk melumerkan spesimen lambat akan tetapi lebih cepat dibanding sudut *chamfer* 15^o dan masukan panas yang lebih besar sehingga panas pada bidang kontak akan menyebar lebih luas dibanding pada sudut *chamfer* 15^o, sehingga daerah HAZ yang terbentuk lebih luas dibanding pada sudut *chamfer* 15^o.

Spesimen dengan sudut *chamfer* 22.5^o memiliki alur yang terbentuk akibat sudut *chamfer* (Gambar 4.5 (c)) dan volumenya sebesar 514.4 mm^3 (Tabel 4.5). Saat material pada bidang kontak mulai lumer sementara proses pengelasan terus berlangsung dan dengan adanya tekanan maka logam yang lumer tersebut akan keluar dari daerah lasan. Logam lumer tersebut akan mengisi alur *chamfer* yang masih kosong hingga penuh. Saat alur telah terisi penuh maka logam yang lumer akan keluar membentuk *flash*. Masukan panas yang kecil menyebabkan proses pelumeran akan lebih lambat sehingga waktu yang tersisa untuk pembentukan flash lebih sedikit. Sehingga pada hasil akhir pengelasan, sambungan las yang terbentuk akan memiliki daerah *fully plasticized* yang lebih luas.

Pada Gambar 4.4 (d), sambungan las dengan sudut *chamfer* 30^o memiliki luas daerah HAZ sebesar 30.56 mm^2, luas daerah *fully plasticized* pada sambungan las dengan sudut *chamfer* 30^o adalah 16.36 mm^2 dan luas porositas yang terbentuk sebesar 0.36 mm^2. Kekuatan impak pada sambungan las dengan sudut *chamfer* 30^o cukup tinggi tetapi masih di bawah sudut *chamfer* 22.5^o yaitu sebesar 248.24 N·mm/mm^2. Hal ini terjadi karena luas daerah *fully plasticized* yang terbentuk lebih sempit dibanding pada sudut 22.5^o walaupun luas daerah HAZ yang terbentuk juga lebih sempit. Selain itu luas porositas yang terbentuk pada sudut *chamfer* 30^o ini jauh lebih besar dari sudut *chamfer* 22.5^o.

Pada sudut *chamfer* 30^o, kecepatan peningkatan panas terjadi lebih cepat jika dibanding dengan sudut *chamfer* 22.5^o karena masukan panas yang lebih besar pada diameter bidang kontak yang lebih besar. waktu yang diperlukan untuk melumerkan spesimen lebih cepat dibanding sudut *chamfer* 22.5^o, namun perbedaannya sangat kecil

sehingga panas yang menyebar luasnya hampir sama dengan sudut *chamfer* 22.5^{o}, sehingga daerah HAZ yang terbentuk juga hampir sama dengan sudut *chamfer* 22.5^{o}.

Spesimen dengan sudut *chamfer* 30^{o} memiliki alur yang terbentuk akibat sudut *chamfer* (Gambar 4.6 (a)) dan volumenya sebesar 383 mm^{3} (Tabel 4.5). Saat material pada bidang kontak mulai lumer sementara proses pengelasan terus berlangsung dan dengan adanya tekanan maka logam yang lumer tersebut akan keluar dari daerah lasan. Logam lumer tersebut akan mengisi alur *chamfer* yang masih kosong hingga penuh. Saat alur telah terisi penuh maka logam yang lumer akan keluar membentuk *flash*. Masukan panas yang lebih besar dibanding pada sudut *chamfer* 22.5^{o} menyebabkan proses pelumeran akan lebih cepat sehingga waktu yang tersisa untuk pembentukan *flash* lebih banyak, akan tetapi perbedaannya tidak terlalu besar, sehingga pada hasil akhir pengelasan, sambungan las yang terbentuk akan memiliki daerah *fully plasticized* yang hampir sama.

Pada Gambar 4.4 (e), sambungan dengan sudut *chamfer* 45^{o} memiliki daerah HAZ sebesar 19.85 mm^{2}, luasan daerah *fully plasticized* sebesar 7.57 mm^{2}, dan luas porositas sebesar 0.43 mm^{2}. Sambungan ini memiliki kekuatan impak sebesar 253.25 N·mm/mm^{2} lebih besar dari kekuatan impak sambungan las dengan sudut *chamfe*r 30^{o} tetapi lebih kecil dari sambungan las dengan sudut *chamfer* 22.5^{o}. Hal ini terjadi karena luas daerah HAZ yang terbentuk lebih sempit. Akan tetapi karena luas daerah *fully plasticized* yang sempit dan luas porositas yang lebih besar maka kekuatan impaknya menurun dan masih berada di bawah kekuatan impak sambungan las dengan sudut *chamfer* 22.5^{o}.

Pada sudut *chamfer* 45^{o}, kecepatan peningkatan panas terjadi lebih cepat jika dibanding dengan sudut *chamfer* 22.5^{o} maupun 30^{o} karena diameter bidang kontak yang harus dipanaskan lebih besar sehingga masukan panasnya lebih besar. Waktu yang diperlukan untuk melumerkan spesimen lebih cepat dibanding sudut *chamfer* 30^{o}. Spesimen dengan sudut *chamfer* 45^{o} memiliki alur yang terbentuk akibat sudut *chamfer* (Gambar 4.6 (b)) dan volumenya sebesar 234.4 mm^{3} (Tabel 4.5). Logam las yang keluar tersebut akan mengisi alur yang masih kosong hingga penuh. Waktu yang diperlukan untuk mengisi alur pada sudut *chamfer* 45^{o} ini lebih cepat dibanding pada sudut *chamfer* 30^{o} sehingga *flash* yang terbentuk lebih banyak dan logam las yang tersisa lebih sedikit, akibatnya luas daerah *fully plasticized* yang terbentuk lebih sempit dibanding pada sudut *chamfer* 30^{o}. Proses pembentukan logam las baru pada sudut *chamfer* 45^{o} ini menyebabkan berkurangnya daerah di sekitar bidang kontak yang nantinya akan

membentuk daerah HAZ, dan proses ini terjadi dengan cepat sehingga daerah HAZ yang terbentuk menjadi sangat sempit.

Pada Gambar 4.4 (f), sambungan dengan sudut *chamfer* 60^o memiliki daerah HAZ sebesar 22.23 mm^2, luasan daerah *fully plasticized* sebesar 6.21 mm^2, dan luas porositas sebesar 0.22 mm^2. Sambungan ini memiliki kekuatan impak sebesar 154.66 N·mm/mm^2 lebih kecil dari sambungan las dengan sudut *chamfer* yang lain. Hal ini terjadi karena luas daerah *fully plasticized* yang sempit dan luas porositas yang besar maka kekuatan impaknya menurun masih di bawah kekuatan impak sambungan las dengan sudut *chamfer* yang lain walaupun luas daerah HAZ yang terbentuk sempit.

Pada sudut *chamfer* 60^o, kecepatan peningkatan panas terjadi lebih cepat jika dibanding dengan sudut *chamfer* 45^o karena masukan panas pada bidang kontak yang lebih besar dengan diameter bidang kontak yang lebih besar. Waktu yang diperlukan untuk melumerkan spesimen lebih cepat dibanding sudut *chamfer* 45^o. Spesimen dengan sudut *chamfer* 60^o memiliki alur yang terbentuk akibat *sudut chamfer* (Gambar 4.6 (c)) dan volumenya sebesar 143.2 mm^3 (Tabel 4.5). Logam lumer akan keluar mengisi alur yang masih kosong hingga penuh. Waktu yang diperlukan untuk mengisi alur pada sudut *chamfer* 60^o ini lebih cepat dibanding pada sudut *chamfer* 45^o sehingga *flash* yang terbentuk lebih banyak dan logam las yang tersisa lebih sedikit, akibatnya luas daerah *fully plasticized* yang terbentuk lebih sempit dibanding pada sudut *chamfer* 45^o. Proses pembentukan logam las baru pada sudut *chamfer* 60^o ini menyebabkan berkurangnya daerah HAZ, dan proses ini terjadi sangat cepat sehingga daerah HAZ yang terbentuk menjadi sangat sempit akan tetapi karena masukan panas yang lebih besar sehingga daerah haz yang terbentuk lebih luas dari sudut 45^o.

Pada Gambar 4.4 (g), sambungan dengan sudut *chamfer* 75^o memiliki daerah HAZ sebesar 24.79 mm^2, luasan daerah *fully plasticized* sebesar 13.95 mm^2, dan luas porositas sebesar 0.17 mm^2. Sambungan ini memiliki kekuatan impak sebesar 212.13 N·mm/mm^2 lebih besar dari sambungan las dengan sudut *chamfer* 0^o. Hal ini terjadi karena luas daerah *fully plasticized* lebih luas dan luas daerah HAZ yang lebih kecil maka kekuatan impaknya lebih tinggi dibanding kekuatan impak sambungan las dengan sudut *chamfer* 0^o (tanpa sudut *chamfer*), walaupun luas porositas yang terbentuk lebih luas.

Pada sudut *chamfer* 75^o, kecepatan peningkatan panas terjadi lebih lambat dibanding sudut *chamfer* 0^o karena masukan panas yang lebih kecil pada diameter bidang kontak yang lebih kecil. Waktu yang diperlukan untuk melumerkan spesimen

menjadi lebih lambat dan masukan panas yang lebih kecil sehingga panas tidak bisa menyebar lebih luas, dan daerah HAZ yang terbentuk lebih sempit.

Spesimen dengan sudut *chamfer* 75^{o} memiliki alur yang terbentuk akibat sudut *chamfer* (Gambar 4.6 (d)) dan jika dihitung volumenya didapat sebesar 46.8 mm^{3}. Saat material pada bidang kontak mulai lumer sementara proses pengelasan terus berlangsung dan dengan adanya tekanan maka logam yang lumer tersebut akan keluar dari daerah lasan. Logam lumer tersebut akan mengisi alur *chamfer* yang masih kosong hingga penuh. Saat alur telah terisi penuh maka logam yang lumer akan keluar membentuk *flash*. Masukan panas yang lebih kecil dibanding dengan sudut *chamfer* 0^{o} menyebabkan proses pelumeran akan lebih lambat sehingga waktu yang tersisa untuk pembentukan *flash* lebih sedikit. Sehingga pada hasil akhir pengelasan, sambungan las yang terbentuk akan memiliki daerah *fully plasticized* yang lebih luas.

.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat dihasilkan beberapa kesimpulan, yaitu;

Penggunaan sudut *chamfer* pada spesimen pengelasan gesek memberikan peningkatan kekuatan impak sambungan las dibandingkan dengan spesimen tanpa menggunakan sudut *chamfer*. Kekuatan impak rata-rata tertinggi terjadi pada sambungan las gesek dengan sudut *chamfer* 15^o sebesar 336.04 $N{\cdot}mm/mm^2$, dan kekuatan impak rata-rata terendah terjadi pada sambungan las gesek dengan sudut *chamfer* 0^o sebesar 146.5 $N{\cdot}mm/mm^2$.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh sudut *chamfer* terhadap kondisi mikrostruktur daerah HAZ sambungan las gesek.
2. Perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh pemakaian sudut *chamfer* terhadap kekuatan impak sambungan las gesek pada waktu pengelasan yang berbeda.
3. Perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh pemakaian sudut *chamfer* terhadap kekuatan impak sambungan las gesek pada dua material yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

Application Product. 2000. Manufacturing of Technology Inc. Washington

Application Product. 2001. NCT Inc. New York

ASM International. 1985. Metals Handbook Volume 9 "*Metallography and Microstructures*". Metals Park. OHIO

ASM International. 1996. ASM Handbook Volume 19 "*Fatigue and Fracture*". United States of America.

ASTM. 1982. *Standards of The American Society for Testing Materials (ASTM) E23*

Astrom, Peter. 2002. *Optimization of Parameters in A Friction Model for Friction Welding*. Division of Computer Aided Design. Lulea University of Technology.

Avinash. 2007. *Microstructure and Mechanical Behaviuor of Rotary Friction Welded Titanium Alloys*. Proceedings of World Academy of Science.

Bhadeshia, H. K. D. H. 2003. *Joining Of Commercial Aluminium Alloys*. University of Cambridge, Department of Materials Science & Metallurgy Pembroke Street, Cambridge CB2 3QZ, U. K.

Davis, et al. 1982. *The Testing of Engineering Materials*. United State of America: McGraw Hill, Inc.

Harsono, Wiryosumarto; Okumura, toshie.2000. *Teknik Pengelasan Logam*.Jakarta: PT. Pradnya Paramita.

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

Huang, W-Z., et al. 2002. *Effect of Bevel Angles on Friction Welding Structure of Spheroidal Graphite Cast Iron to Mild Steel*. Journal of Japan Foundary Engineering Society. Japan.

Lin, et al. 1999. *The Effect of Joint Design and Volume Fraction on Friction Welding Properties of A360/SiC Composites*. Welding Research Supplement. Department of Mechanical Engineering. Tamkang University, Taiwan.

Nguyen, T. C.; Weckman D. C. 2006 *A Thermal and Microstructure Evolution Model of Direct-Drive Friction Welding Of Plain Carbon Steel*. ProQuest Science Journals

Purnomo, Hery. 2008. *Pengaruh Sudut Chamfer Terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Las Gesek Pada Paduan Al-Mg-Si*. Skripsi tidak diterbitkan. Malang. Fakultas Teknik. Universitas Brawijaya.

Soleh, Muchamad. 2005. *Pengaruh Variasi Putaran dan Tekanan Terhadap Sifat Mekanis Sambungan Pengelasan Gesek pada Paduan Aluminium*. Skripsi tidak diterbitkan. Malang. Fakultas Teknik. Universitas Brawijaya.

Sathiya, P. 2006. *Effect of Friction Welding Parameters On Mechanical And Metallurgical Properties Of Ferritic Stainless Steel*. Springer- Verlag London Limited. London.

Surdia, Tata; Saito, Shinroku.1985. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.

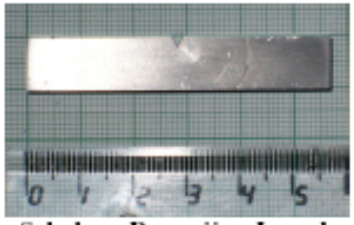
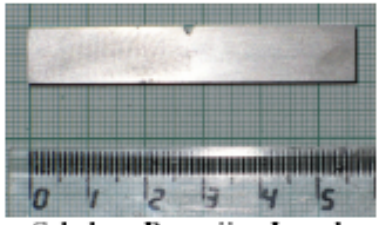
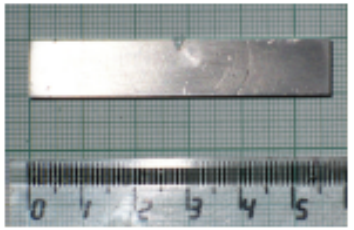
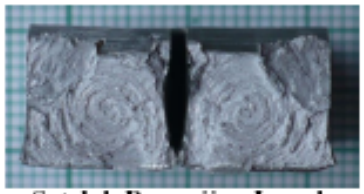
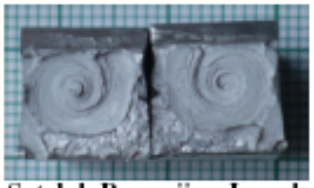
Verma, ER. CL, 1976, *Strenght of Materials*, Khanna Publishers, New Delhi.

Walpole, Ronald E. 1995. *Pengantar Statistika*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA repository.ub.ac

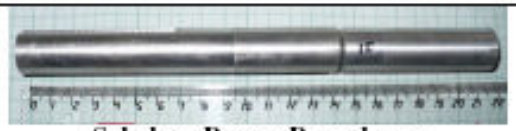
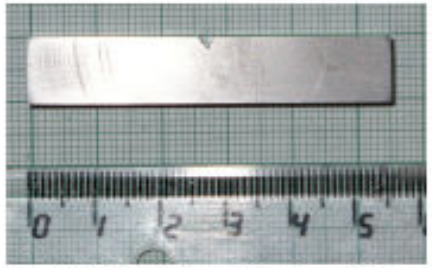
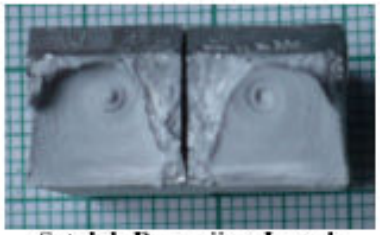
Lampiran 1. Foto Benda Kerja

a. Tanpa *Chamfer* atau Sudut *Chamfer* 0^o

SPESIMEN I	SPESIMEN II	SPESIMEN III
Sebelum Proses Pengelasan	Sebelum Proses Pengelasan	Sebelum Proses Pengelasan
Setelah Proses Pengelasan	Setelah Proses Pengelasan	Setelah Proses Pengelasan
 Sebelum Pengujian Impak	 Sebelum Pengujian Impak	 Sebelum Pengujian Impak
 Setelah Pengujian Impak	 Setelah Pengujian Impak	Setelah Pengujian Impak

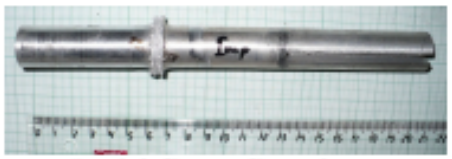
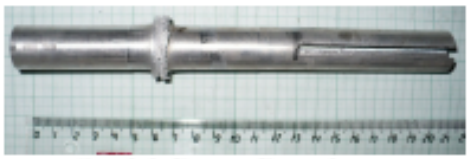
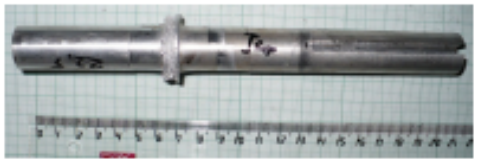
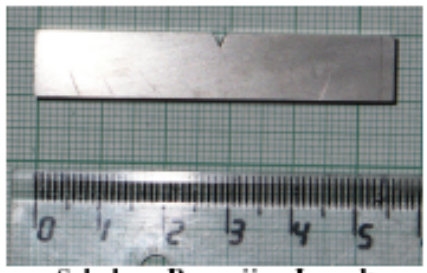
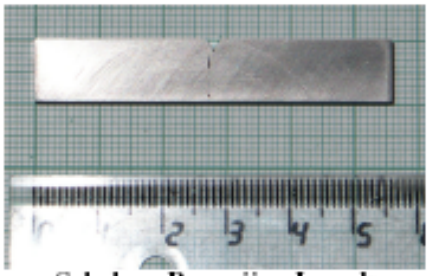
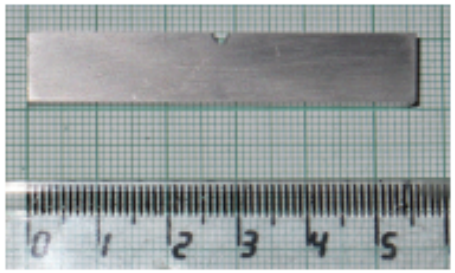
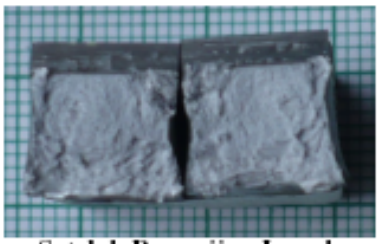
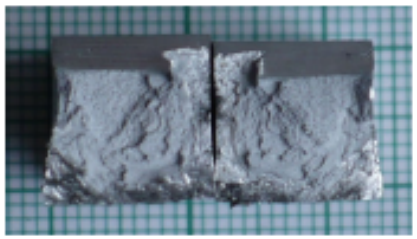
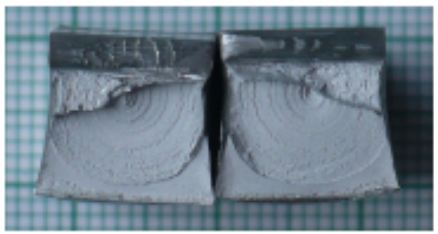
UNIVERSITAS BRAWIJAYA repository.ub.ac

b. Sudut *Chamfer* 15^0

SPESIMEN I	SPESIMEN II	SPESIMEN III
 Sebelum Proses Pengelasan	Sebelum Proses Pengelasan	Sebelum Proses Pengelasan
Setelah Proses Pengelasan	Setelah Proses Pengelasan	Setelah Proses Pengelasan
Sebelum Pengujian Impak	Sebelum Pengujian Impak	 Sebelum Pengujian Impak
 Setelah Pengujian Impak	Setelah Pengujian Impak	Setelah Pengujian Impak

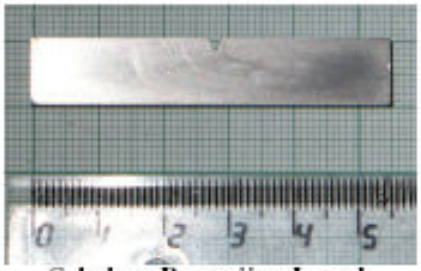
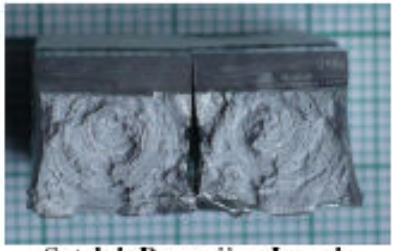
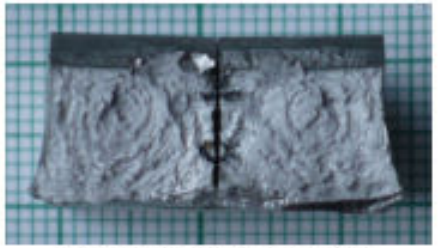
UNIVERSITAS BRAWIJAYA repository.ub.ac

c. Sudut *Chamfer* 22.5^0

SPESIMEN I	SPESIMEN II	SPESIMEN III
Sebelum Proses Pengelasan	Sebelum Proses Pengelasan	Sebelum Proses Pengelasan
 Setelah Proses Pengelasan	 Setelah Proses Pengelasan	 Setelah Proses Pengelasan
 Sebelum Pengujian Impak	 Sebelum Pengujian Impak	 Sebelum Pengujian Impak
 Setelah Pengujian Impak	 Setelah Pengujian Impak	 Setelah Pengujian Impak

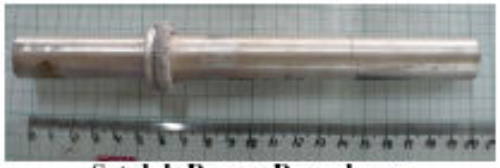
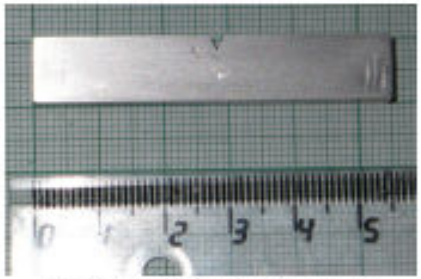
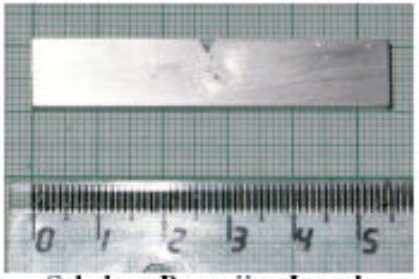
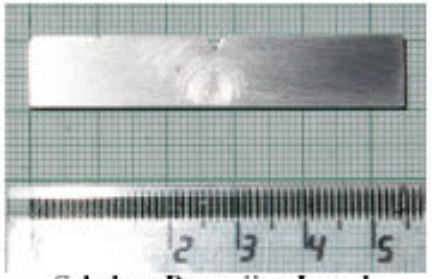
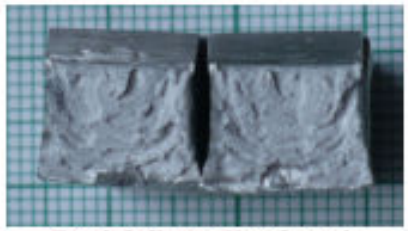
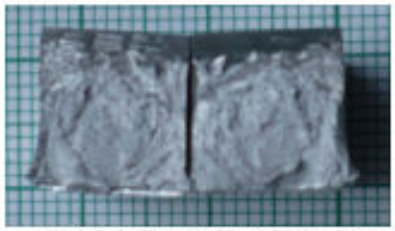
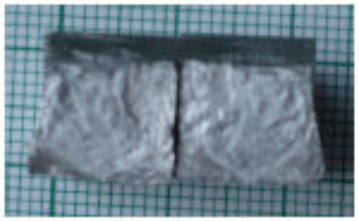
UNIVERSITAS BRAWIJAYA repository.ub.ac

d. Sudut *Chamfer* 30^0

SPESIMEN I	SPESIMEN II	SPESIMEN III
Sebelum Proses Peengelasan	Sebelum Proses Pengelasan	Sebelum Proses Pengelasan
Setelah Proses Pengelasan	Setelah Proses Pengelasan	Setelah Proses Pengelasan
Sebelum Pengujian Impak	Sebelum Pengujian Impak	 Sebelum Pengujian Impak
 Setelah Pengujian Impak	Setelah Pengujian Impak	 Setelah Pengujian Impak

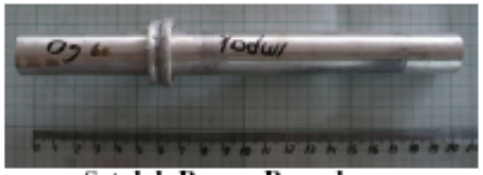
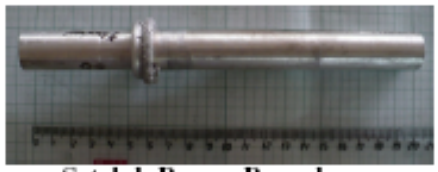
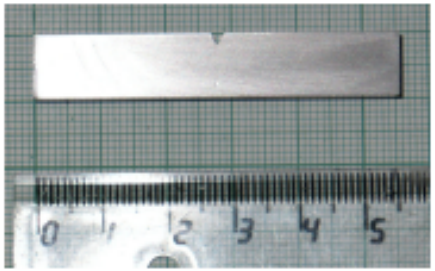
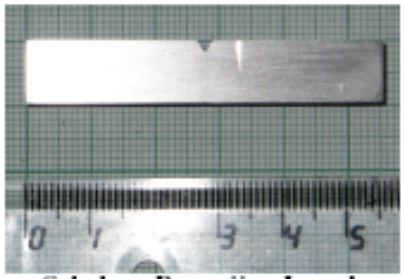
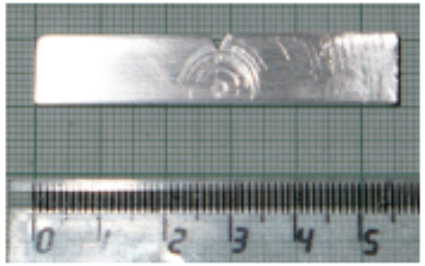
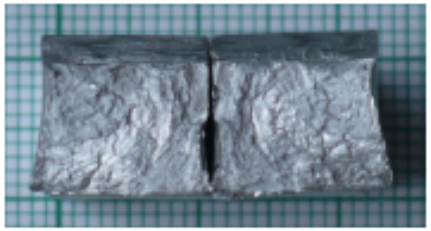
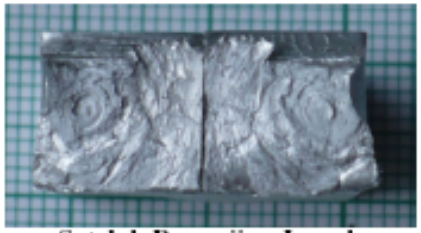
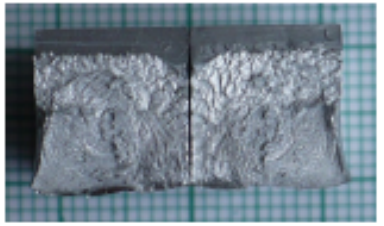
UNIVERSITAS BRAWIJAYA repository.ub.ac

e. Sudut *Chamfer* 45^0

SPESIMEN I	SPESIMEN II	SPESIMEN III
Sebelum Proses Peengelasan	Sebelum Proses Pengelasan	Sebelum Proses Pengelasan
 Setelah Proses Pengelasan	Setelah Proses Pengelasan	Setelah Proses Pengelasan
 Sebelum Pengujian Impak	 Sebelum Pengujian Impak	 Sebelum Pengujian Impak
 Setelah Pengujian Impak	 Setelah Pengujian Impak	 Setelah Pengujian Impak

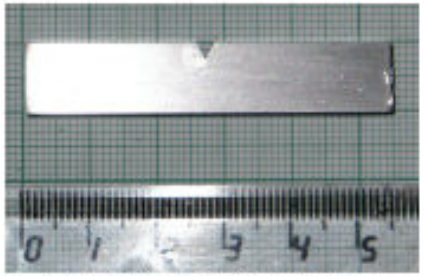
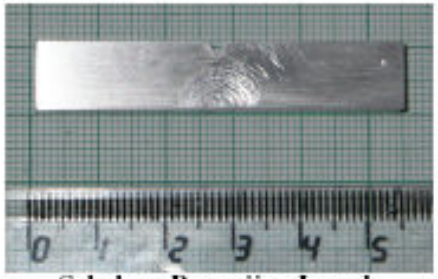
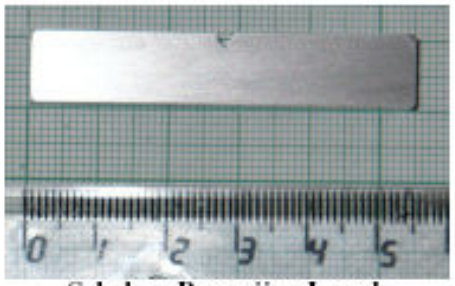
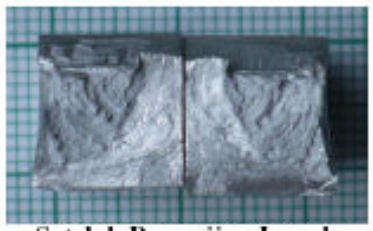
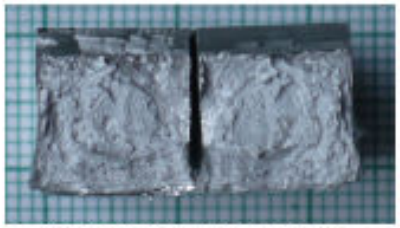
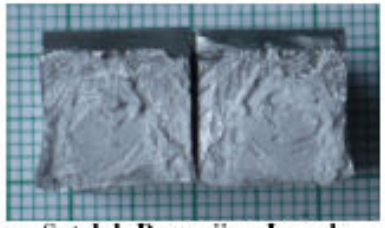
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
repository.ub.ac

f. Sudut *Chamfer* 60^0

SPESIMEN I	SPESIMEN II	SPESIMEN III
Sebelum Proses Peengelasan	Sebelum Proses Pengelasan	Sebelum Proses Pengelasan
 Setelah Proses Pengelasan	Setelah Proses Pengelasan	 Setelah Proses Pengelasan
 Sebelum Pengujian Impak	 Sebelum Pengujian Impak	 Sebelum Pengujian Impak
 Setelah Pengujian Impak	 Setelah Pengujian Impak	 Setelah Pengujian Impak

UNIVERSITAS BRAWIJAYA repository.ub.ac

g. Sudut *Chamfer* 75^0

SPESIMEN I	SPESIMEN II	SPESIMEN III
Sebelum Proses Peengelasan	Sebelum Proses Pengelasan	Sebelum Proses Pengelasan
Setelah Proses Pengelasan	Setelah Proses Pengelasan	Setelah Proses Pengelasan
 Sebelum Pengujian Impak	 Sebelum Pengujian Impak	 Sebelum Pengujian Impak
 Setelah Pengujian Impak	 Setelah Pengujian Impak	 Setelah Pengujian Impak

UNIVERSITAS BRAWIJAYA repository.ub.ac

Lampiran 2. Komposisi Kimia Paduan Aluminium AA6061

Run	Si4	Fe7	Cu9	Mn5	Mg1	Zn5	Ti4	Cr1	Ni6	Pb6	Sn5	AL%
1>	0.69580	0.43725	0.20875	0.09258	0.90783	0.18892	0.01373	0.03622	0.00751	0.02118	0.00436	97.3859
2>	0.69240	0.43553	0.20915	0.09427	0.90477	0.18997	0.01352	0.03641	0.00789	0.02150	0.00413	97.3904
3>	0.69654	0.43504	0.21077	0.09464	0.90935	0.19196	0.01361	0.03678	0.00895	0.02172	0.00418	97.3765
AVG	0.69491	0.43594	0.20956	0.09383	0.90732	0.19028	0.01362	0.03647	0.00812	0.02147	0.00423	97.3843
Sd	0.00221	0.00116	0.00107	0.00110	0.00233	0.00154	0.00010	0.00029	0.00074	0.00027	0.00012	0.0071
Sd%	0.31733	0.26684	0.51104	1.16904	0.25699	0.81105	0.76932	0.78286	9.14831	1.26186	2.90017	0.0073

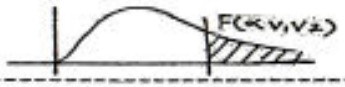
Hasil Uji Komposisi Menggunakan Spark Spectrometer

No.	Kandungan Unsur	Nilai (%)	No.	Kandungan Unsur	Nilai (%)
1.	Al	97,3843	7.	Mn	0,09383
2.	Mg	0,90732	8.	Cr	0,03647
3.	Si	0,69491	9.	Pb	0,02147
4.	Fe	0,43594	10.	Ti	0,01362
5.	Cu	0,20956	11.	Ni	0,00812
6.	Zn	0,19028	12.	Sn	0,00423

UNIVERSITAS BRAWIJAYA repository.ub.ac

Lampiran 3. Tabel distribusi F (α; v_1; v_2) untuk α = 5%

TABEL F UNTUK α = 5 %

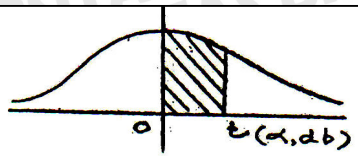


V2 \ V1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	30	40	60	120	~
1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	244	246	248	250	251	252	253	254
2	18.5	19.0	19.2	19.2	19.3	19.3	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5
3	10.1	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.85	5.80	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.50	4.46	4.43	4.40	4.36
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.84	2.77	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	30	40	60	120	~
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
15	4.45	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	30	40	60	120	~
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.55	1.50	1.43	1.35	1.25
~	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.46	1.39	1.32	1.22	1.00

Sumber : Hifni, 1993

Lampiran 4. Tabel distribusi t

TABEL - T

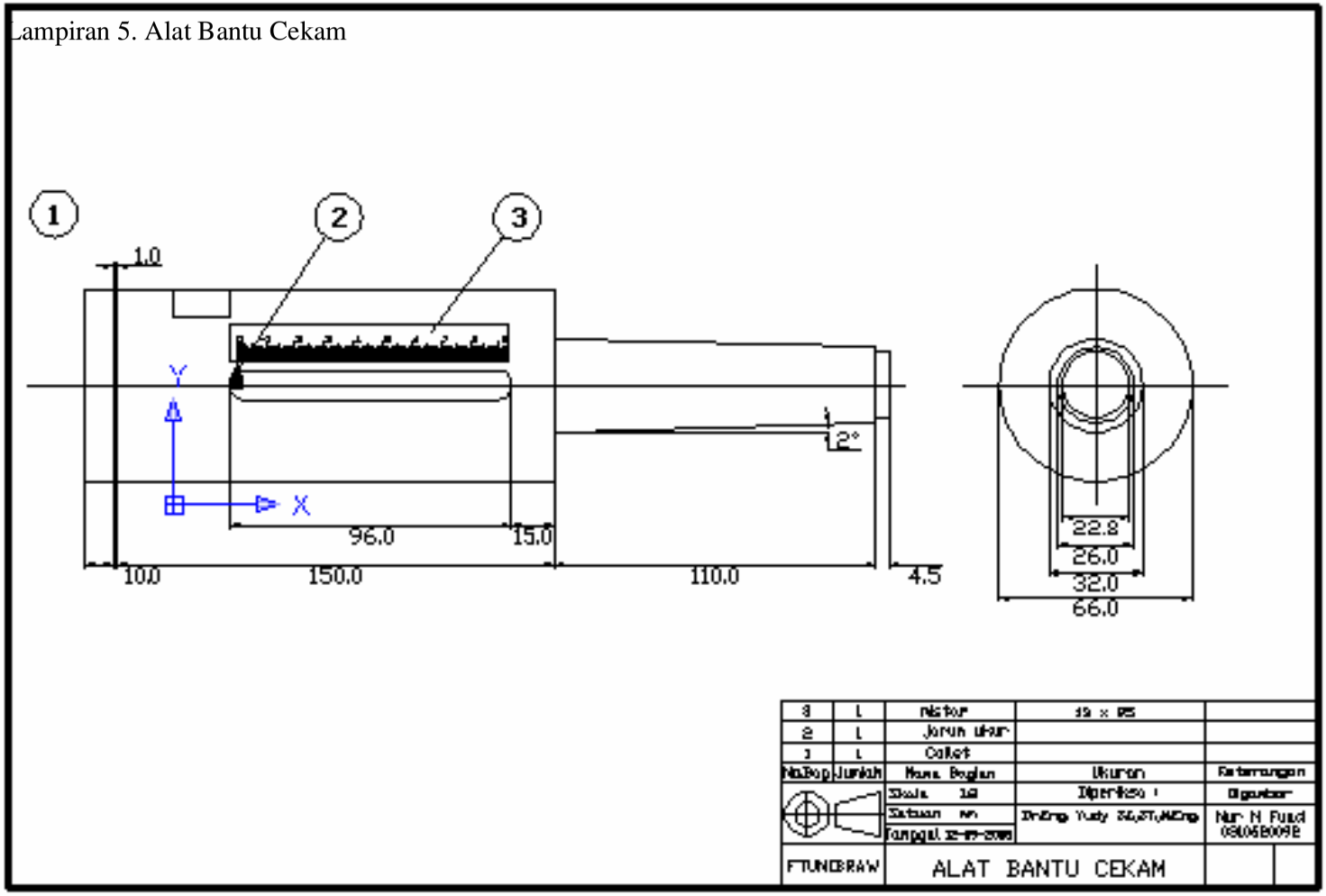


db \ α	0,05	0.01	0.025	0.05	0.10
1	63.657	31.821	12.706	6.314	3.078
2	9.925	6.965	4.303	2.920	1.886
3	5.841	4.541	3.182	2.353	1.638
4	4.604	3.747	2.776	2.132	1.533
5	4.032	3.365	2.571	2.015	1.476
6	3.707	3.143	2.447	1.943	1.440
7	3.499	2.998	2.365	1.895	1.415
8	3.355	2.896	2.306	1.860	1.397
9	3.250	2.821	2.262	1.833	1.383
10	3.169	2.764	2.228	1.812	1.372
11	3.106	2.718	2.201	1.796	1.363
12	3.055	2.681	2.179	1.796	1.363
13	3.0122	2.650	2.160	1.771	1.350
14	2.977	2.624	2.145	1.761	1.341
15	2.947	2.602	2.131	1.753	1.341
16	2.921	2.583	2.120	1.746	1.337
17	2.898	2.567	2.110	1.740	1.333
18	2.878	2.552	2.101	1.734	1.330
19	2.861	2.539	2.093	1.729	1.328
20	2.845	2.528	2.086	1.725	1.325
21	2.831	2.518	2.080	1.721	1.323
22	2.819	2.508	2.074	1.717	1.321
23	2.807	2.500	2.069	1.714	1.319
24	2.797	2.492	2.064	1.711	1.318
25	2.787	2.485	2.060	1.708	1.316
26	2.779	2.479	2.056	1.706	1.315
27	2.771	2.473	2.052	1.703	1.314
28	2.763	2.467	2.048	1.701	1.313
29	2.756	2.462	2.045	1.699	1.311
30	2.750	2.457	2.042	1.698	1.310
40	2.704	2.423	2.021	1.684	1.303
60	2.660	2.390	2.000	1.671	1.296
100	2.617	2.358	1.980	1.658	1.289
~	2.576	2.326	1.960	1.645	1.282

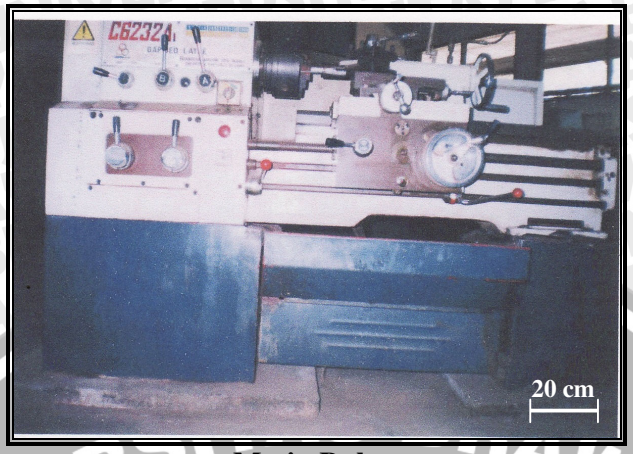
Sumber : Hifni, 1993:

UNIVERSITAS BRAWIJAYA repository.ub.ac

Lampiran 5. Alat Bantu Cekam

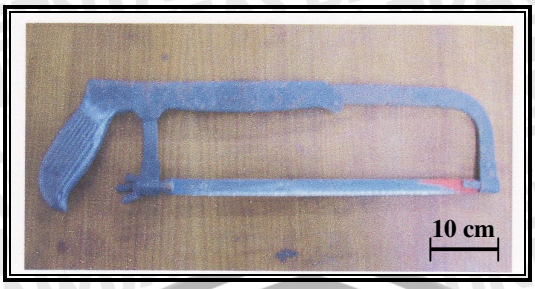


Lampiran 6. Foto Alat yang Digunakan

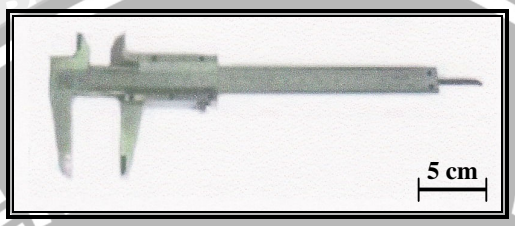


Mesin Bubut

Mesin Uji Impak



Gergaji Tangan



Mistar Sorong

Mesin Penggosok Spesimen

Kamera Digital

repository.ub.ac
UNIVERSITAS BRAWIJAYA