

**PENGARUH SUDUT *CHAMFER* TERHADAP DISTRIBUSI  
KEKERASAN SAMBUNGAN LAS GESEK PADA PADUAN  
ALUMINIUM AA6061**

**SKRIPSI  
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Disusun oleh:  
**YOVA ANDIKA YENI ROCHMAN**  
NIM. 0310620119-62

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN MESIN  
MALANG  
2010

## LEMBAR PERSETUJUAN

### PENGARUH SUDUT *CHAMFER* TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN SAMBUNGAN LAS GESEK PADA PADUAN ALUMINIUM AA6061

#### SKRIPSI

#### KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

**YOVA ANDIKA YENI ROCHMAN**  
NIM. 0310620119-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Eng. Yudy Surya Irawan, ST., M.Eng  
NIP. 19750710 199903 1 004

Ir. Marsoedi Wirohardjo, M.MT  
NIP. 19450307 197603 1 001

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PENGARUH SUDUT *CHAMFER* TERHADAP DISTRIBUSI  
KEKERASAN SAMBUNGAN LAS GESEK PADA PADUAN  
ALUMINIUM AA6061**

**SKRIPSI  
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

**YOVA ANDIKA YENI ROCHMAN  
NIM. 0310620119-62**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada  
Tanggal 6 Januari 2010

**DOSEN PENGUJI**

Skripsi I

Skripsi II

**Ir. Handono Sasmito, M.eng.Sc  
NIP. 19480216 198003 1 001**

**Ir. I Made Gunadiarta, MT  
NIP. 19461001 197702 1 001**

Komprehensif

**Ir. Endi Sutikno, MT  
NIP. 19590411 198710 1 001**

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin

**Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.  
NIP. 19720903 199702 1 001**

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Pengaruh Sudut Chamfer Terhadap Distribusi Kekerasan Sambungan Las Gesek pada Paduan Aluminium AA6061”** ini dengan baik. Tidak lupa shalawat dan salam kami haturkan kepada Rasulullah, Nabi Muhammad SAW.

Penulis menyadari bahwa selama penulisan dan penyelesaian skripsi ini telah dibantu banyak pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu penyelesaian skripsi ini:

- Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT., selaku Ketua Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Bapak Dr. Eng. Anindito Purnowidodo, ST., M.Eng., selaku Sekretaris Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Bapak Ir. Marsoedi Wirohardjo, M.MT, selaku Ketua Konsentarsi Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Bapak Dr. Eng. Yudy Surya Irawan, ST., M.Eng., selaku dosen pembimbing pertama sekaligus dosen wali, yang telah banyak memberikan bimbingan, masukan, dan arahan yang membangun bagi penulis.
- Bapak Ir. Marsoedi Wirohardjo, M.MT, selaku dosen pembimbing kedua yang banyak meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, masukan, dan arahan yang membangun bagi penulis.
- Bapak dan Ibu, Khotob dan Kasiati, kakak-kakakku tersayang Imam Hanafi, Khusnul Khomaroh dan Nur Rokhim serta keluarga besarku atas kasih sayang, doa, dukungan material dan spiritual yang diberikan selama ini.
- Bapak Mudjiono yang telah banyak membantu dalam penelitian.
- Nur Muhammad Fuad dan Andika Setiawan, atas kerjasama, kerja keras, dan perjuangan selama penyusunan skripsi.
- Teman-temanku M'03: Andrias, Fuad, Yuda, Farid, Andika, Zia Joko, Wisnu, Robith, Sidik, Puki, Badak, Miko, Sandra, Naro, Bembek, Herdian, Bagus, Jojo, Rizki, Ezra, Whiki, Endo, Catur, Erik, Taufan, Kebo, Osink, dan lain-lain. Tetap semangat!
- Suci Sandrawati yang tanpa lelah memberikan semangat!
- Teman-teman dan segenap pihak yang telah mendukung terselesaikannya skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Saran dan kritik yang bersifat membangun penulis harapkan dari pembaca dan semua pihak. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi para pembacanya. Amin.

Malang, Juli 2009

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	iv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	v
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	viii
<b>DAFTAR SIMBOL</b> .....	ix
<b>RINGKASAN</b> .....	x
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Batasan Masalah .....	3
1.4. Tujuan Penelitian .....	3
1.5. Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	4
2.1. Penelitian Sebelumnya.....	4
2.2. Aluminium dan Paduan Aluminium.....	5
2.3. Pengaruh Unsur Paduan.....	8
2.4. Sifat Mampu Las Aluminium .....	9
2.5. Paduan Al-Mg-Si .....	10
2.6. Pengelasan .....	11
2.7 Las Gesek ( <i>Friction Welding</i> ).....	13
2.7.1 <i>Friction Stir Welding</i> .....	13
2.7.2 <i>Linear Friction Welding</i> .....	13
2.8 Kelebihan Pengelasan Gesek.....	14
2.9 pengujian logam.....	15
2.9.1 Pengujian kekerasan.....	16
2.10 Pengaruh Panas Pengelasan.....	18
2.11 <i>Heat Affected-Zone (HAZ)</i> .....	19
2.12 Aplikasi Pengelasan Gesek.....	19
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	20
3.1. Metode Penelitian .....	20
3.2. Variabel Penelitian.....	20

3.2.1. Variabel Bebas ( <i>independent variable</i> ) .....	20
3.2.2. Variabel Terikat ( <i>dependent variable</i> ).....	20
3.2.3 Variabel Kontrol ( <i>control variable</i> ).....	20
3.3 Tempat dan Waktu Penelitian.....	20
3.4 Alat dan Bahan yang Digunakan .....	21
3.4.1 Alat yang Digunakan .....	21
3.4.2 Bahan yang Digunakan.....	21
3.5 Dimensi Benda Kerja.....	21
3.6 Skema Peralatan Pengelasan Gesek.....	22
3.7 Prosedur Penelitian .....	22
3.7.1 Pengelasan Gesek .....	22
3.7.2 Pengujian Kekerasan.....	23
3.7.3 Pengujian Makrostruktur .....	23
3.7.4 Pengujian Mikrostruktur .....	23
3.8 Rancangan Penelitian.....	24
3.8.1 Rancangan Pengambilan Data .....	24
3.8.2 Rancangan Grafik .....	25
3.9 Diagram Alir Penelitian.....	27
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	28
4.1. Foto Makro Pengelasan Gesek .....	28
4.2. Masukan Panas Pada Sambungan Las Gesek.....	30
4.3 Kekerasan Vickers Pada Sambungan Las Gesek .....	34
4.3.1 Tanpa sudut <i>chamfer</i> .....	34
4.3.2 Sudut <i>chamfer</i> 15° .....	36
4.3.3 Sudut <i>chamfer</i> 22,5° .....	38
4.3.4 Sudut <i>chamfer</i> 30°.....	39
4.3.5 Sudut <i>chamfer</i> 45°.....	41
4.3.6 Sudut <i>chamfer</i> 60° dan 75° .....	44
4.3.7 Hubungan Sudut <i>chamfer</i> Terhadap Sambungan Las.....	47
<b>BAB V PENUTUP</b> .....	50
5.1. Kesimpulan .....	50
5.2. Saran .....	50
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Klasifikasi Paduan Aluminium Tempa	6
Tabel 2.2	Sifat Aluminium Paduan Al-Mg-Si	10
Tabel 3.1	Komposisi Kimia Paduan Aluminium AA6061	21
Tabel 3.2	Rancangan Penulisan Data Penelitian pada tanpa sudut <i>chamfer</i>	25
Tabel 3.3	Rancangan Pengolahan Data Penelitian pada sudut tanpa <i>chamfer</i>	25
Tabel 4.1	Luas tiap daerah pada las gesek	28
Tabel 4.2	Daya awal pada pengelasan gesek	30
Tabel 4.3	Distribusi kekerasan pada tanpa sudut <i>chamfer</i>	34
Tabel 4.4	Distribusi kekerasan pada sudut 15°	36
Tabel 4.5	Distribusi kekerasan pada sudut 22,5°	38
Tabel 4.6	Distribusi kekerasan pada sudut 30°	39
Tabel 4.7	Distribusi kekerasan pada sudut 45°	41
Tabel 4.8	Distribusi kekerasan pada sudut 60°	44
Tabel 4.9	Distribusi kekerasan pada sudut 75°	44
Tabel 4.10	Distribusi kekerasan pada sambungan las	47

## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 1.1	Permukaan Benda Kerja : a. dengan sudut awal, b. tanpa sudut	1
Gambar 2.1	Bagian Sambungan Las Gesek	4
Gambar 2.2	Grafik kekerasan pada las gesek	5
Gambar 2.3	Diagram Fase Magnesium-Silikon pada Paduan Aluminium	11
Gambar 2.4	Klasifikasi Pengelasan	12
Gambar 2.5	<i>Friction Stir Welding</i>	13
Gambar 2.6	<i>Linear Friction Welding</i>	14
Gambar 2.7	a.) prinsip kerja pengujian kekerasan vikers b.) diagonal bekas indentasi	17
Gambar 2.8	Struktur mikro daerah las dari paduan aluminium	18
Gambar 2.9	Aplikasi Las Gesek paduan Al-Mg-Si	19
Gambar 3.1	Dimensi Benda Kerja	21
Gambar 3.2	Skema Pengelasan Gesek	22
Gambar 3.3	Titik pengambilan data	24
Gambar 3.4	Grafik kekerasan pada las gesek	26
Gambar 3.5	Diagram alir penelitian	27
Gambar 4.1	makrostruktur pada sambungan las gesek Al-Mg-Si	29
Gambar 4.2	Benda kerja setelah pemberian sudut <i>chamfer</i>	30
Gambar 4.3	Hubungan nilai kekerasan dengan jarak pada specimen tanpa sudut <i>chamfer</i>	34
Gambar 4.4	Foto mikrostruktur pada pengelasan gesek tanpa sudut <i>chamfer</i> a) Foto mikrostruktur pengelasan gesek tanpa sudut <i>chamfer</i> pada daerah Zud b) Foto mikrostruktur pengelasan gesek tanpa sudut <i>chamfer</i> pada daerah Zpd c) Foto mikrostruktur pengelasan gesek tanpa sudut <i>chamfer</i> pada daerah Zpl	35
Gambar 4.5	Hubungan nilai kekerasan dengan jarak pada specimen dengan sudut <i>chamfer</i> 15°	36
Gambar 4.6	Foto mikrostruktur pada pengelasan gesek dengan sudut <i>chamfer</i> 1,5°	37

- a) Foto mikrostruktur pengelasan gesek dengan sudut *chamfer* 15° pada daerah Zud
- b) Foto mikrostruktur pengelasan gesek dengan sudut *chamfer* 15° pada daerah Zpd
- c) Foto mikrostruktur pengelasan gesek dengan sudut *chamfer* 15° pada daerah Zpl

Gambar 4.7 Hubungan nilai kekerasan dengan jarak pada specimen dengan sudut *chamfer* 22,5° 38

Gambar 4.8 Foto mikrostruktur pada pengelasan gesek dengan sudut *chamfer* 22,5° 39

- a) Foto mikrostruktur pengelasan gesek dengan sudut *chamfer* 22,5° pada daerah Zud
- b) Foto mikrostruktur pengelasan gesek dengan sudut *chamfer* 22,5° pada daerah Zpd
- c) Foto mikrostruktur pengelasan gesek dengan sudut *chamfer* 22,5° pada daerah Zpl

Gambar 4.9 Hubungan nilai kekerasan dengan jarak pada specimen dengan sudut *chamfer* 30° 40

Gambar 4.10 Foto mikrostruktur pada pengelasan gesek dengan sudut *chamfer* 30° 41

- a) Foto mikrostruktur pengelasan gesek dengan sudut *chamfer* 30° pada daerah Zud
- b) Foto mikrostruktur pengelasan gesek dengan sudut *chamfer* 30° pada daerah Zpd
- c) Foto mikrostruktur pengelasan gesek dengan sudut *chamfer* 30° pada daerah Zpl

Gambar 4.11 Hubungan nilai kekerasan dengan jarak pada specimen dengan sudut *chamfer* 45° 42

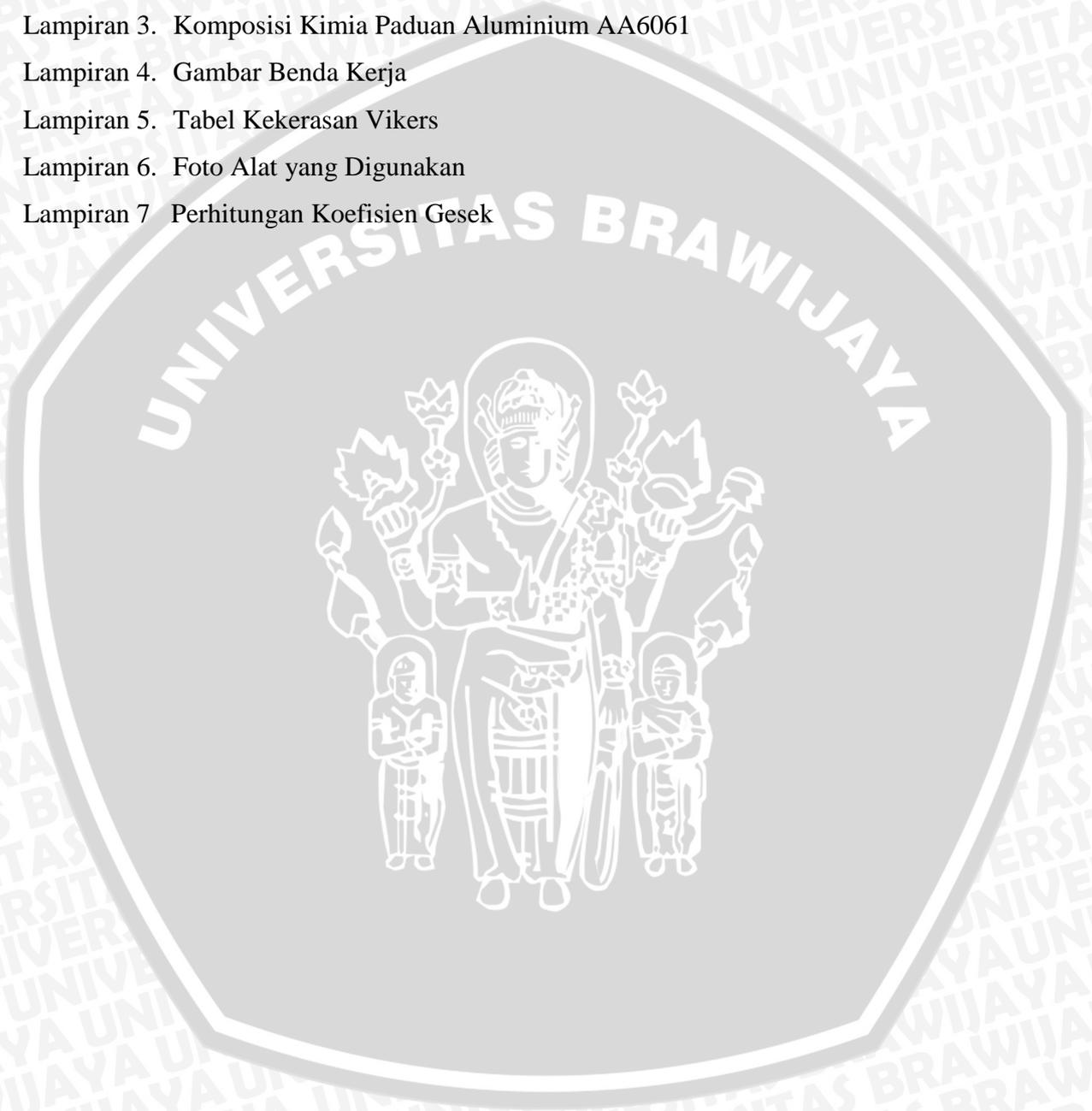
Gambar 4.12 Foto mikrostruktur pada pengelasan gesek dengan sudut *chamfer* 45° 43

- a) Foto mikrostruktur pengelasan gesek dengan sudut *chamfer* 45° pada daerah Zud
- b) Foto mikrostruktur pengelasan gesek dengan sudut

	<i>chamfer</i> 45° pada daerah Zpd	
	c) Foto mikrostruktur pengelasan gesek dengan sudut <i>chamfer</i> 45° pada daerah Zpl	
Gambar 4.13	Hubungan nilai kekerasan dengan jarak pada specimen dengan sudut <i>chamfer</i> 60°	44
Gambar 4.14	Hubungan nilai kekerasan dengan jarak pada specimen dengan sudut <i>chamfer</i> 75°	45
Gambar 4.15	Foto mikrostruktur pada pengelasan gesek dengan sudut <i>chamfer</i> 60°	45
	a) Foto mikrostruktur pengelasan gesek dengan sudut <i>chamfer</i> 60° pada daerah Zud	
	b) Foto mikrostruktur pengelasan gesek dengan sudut <i>chamfer</i> 60° pada daerah Zpd	
	c) Foto mikrostruktur pengelasan gesek dengan sudut <i>chamfer</i> 60° pada daerah Zpl	
Gambar 4.16	Foto mikrostruktur pada pengelasan gesek dengan sudut <i>chamfer</i> 75°	46
	a) Foto mikrostruktur pengelasan gesek dengan sudut <i>chamfer</i> 75° pada daerah Zud	
	b) Foto mikrostruktur pengelasan gesek dengan sudut <i>chamfer</i> 75° pada daerah Zpd	
	c) Foto mikrostruktur pengelasan gesek dengan sudut <i>chamfer</i> 75° pada daerah Zp	
Gambar 4.17	Hubungan sudut <i>Chamfer</i> terhadap sambungan las	48

## DAFTAR LAMPIRAN

- | No          | Judul                                   |
|-------------|---|
| Lampiran 1. | Foto Benda Kerja                        |
| Lampiran 2. | Gambar Alat Bantu Cekam                 |
| Lampiran 3. | Komposisi Kimia Paduan Aluminium AA6061 |
| Lampiran 4. | Gambar Benda Kerja                      |
| Lampiran 5. | Tabel Kekerasan Vickers                 |
| Lampiran 6. | Foto Alat yang Digunakan                |
| Lampiran 7  | Perhitungan Koefisien Gesek             |



## DAFTAR SIMBOL

Besaran dasar	Satuan dan Singkatannya	Simbol
Gaya	Kilogram force atau kgf	<i>F</i>
Luas penampang	Milimeter persegi atau mm <sup>2</sup>	<i>A</i>
Angka kekerasan Brinell	Brinell Hardnes Number (kg/mm <sup>2</sup> )	<i>BHN</i>
Diameter	Milimeter	<i>D</i>
Angka Kekerasan Rockwell	Hardnes Rockwell	<i>HRC</i>
Kedalaman Akibat Beban Mayor	Milimeter	<i>h<sub>1</sub></i>
Kedalaman Akibat Beban Minor	Milimeter	<i>h<sub>2</sub></i>
Angka Kekerasan Vikers	Vikers Hardnes Number	<i>VHN</i>
Diagonal Bekas Tekan Rata-rata	Milimeter	<i>d</i>
Massa	Kilogram atau kg	<i>m</i>
Panjang	Milimeter atau mm	<i>l</i>
Putaran	Radius per menit atau rpm	<i>n</i>
Sudut	Derajat atau °	<i>α</i>
Waktu	Detik atau s	<i>t</i>
Koefisien Gesek		<i>μ</i>
Jari-jari	Milimeter	<i>r</i>
Daya	Watt	<i>P</i>
Usaha	Joule	<i>W</i>
Panas	Kalor	<i>Q</i>

## RINGKASAN

**Yova Andika Y.R.**, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2009, *Pengaruh Sudut Chamfer terhadap Distribusi Kekerasan Sambungan Las Gesek pada Paduan Aluminium AA6061*, Dosen Pembimbing: Yudy Surya Irawan dan Marsoedi Wirohardjo

Aluminium sebagai salah satu material yang banyak dipakai dalam pembuatan komponen-komponen permesinan, memiliki beberapa kesulitan dalam proses pengelasannya. Hal ini dikarenakan sifatnya sebagai penghantar panas yang baik, sehingga sulit untuk melelehkan sebagian kecil saja 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. Pengelasan gesek (*friction welding*) dalam pengertian yang paling sederhana merupakan dua material yang mana salah satu material berputar dan material yang lain bergerak maju untuk membuat tekanan. Tekanan ini akan menghasilkan panas karena gesekan kedua material tersebut, sebagai akibatnya suatu proses penyambungan logam tanpa pencairan (*solid state process*). Permasalahan yang akan diteliti adalah bagaimana pengaruh sudut *chamfer* terhadap distribusi kekerasan sambungan las gesek pada paduan Aluminium AA6061. Hasil yang diperoleh akan memberikan kemudahan untuk menentukan seberapa besar sudut *chamfer* yang sesuai untuk menghasilkan distribusi kekerasan sambungan las gesek dari suatu komponen permesinan yang akan dibuat.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen nyata dengan parameter yang dipakai adalah besar sudut *chamfer*  $0^{\circ}$  (dianggap tanpa sudut *chamfer*),  $15^{\circ}$ ,  $22.5^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$ , dan  $75^{\circ}$  sebagai variabel bebas, distribusi kekerasan sambungan las gesek sebagai variabel terikat dan variabel kontrol yang digunakan adalah putaran 1600 rpm, gaya tekan pengelasan 156.8 kgf, waktu pengelasan 2 menit, dan *holding time* 2 menit.

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa sudut *chamfer* berpengaruh nyata terhadap distribusi kekerasan sambungan las gesek. Distribusi kekerasan tertinggi didapat pada sudut  $0^{\circ}$  dengan kekerasan tertinggi 80 VHN pada daerah Zpl. Hal ini menunjukkan bahwa dengan penggunaan sudut *chamfer* pada pengelasan gesek dapat menurunkan kekerasan yang dihasilkan pada daerah Zpl. Penggunaan sudut *chamfer* berpengaruh terhadap distribusi kekerasan sambungan las gesek.

Kata Kunci: Pengelasan gesek, sudut *chamfer*, distribusi kekerasan, paduan Aluminium AA6061

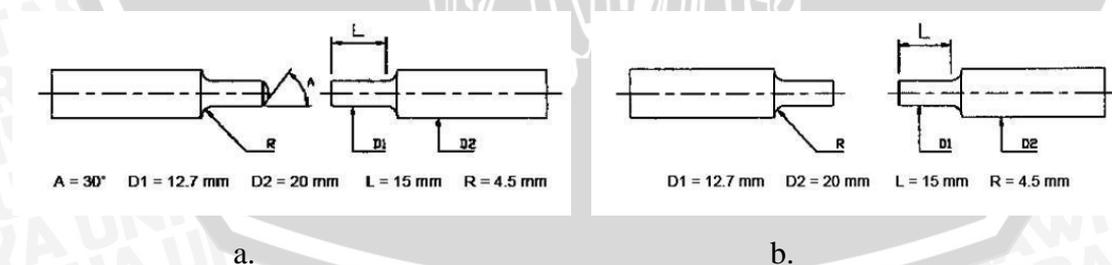
## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Aluminium dan paduannya merupakan logam ringan yang mempunyai beberapa sifat yang menguntungkan, seperti tahan karat dan merupakan konduktor panas dan listrik yang baik. Sifat aluminium sebagai penghantar panas yang baik membuat sangat sulit untuk dipanaskan atau dicairkan sebagian kecil saja. Hal inilah yang menjadi kendala dalam proses manufaktur pada aluminium dan paduannya dalam proses pengelasan. Untuk mengatasi permasalahan ini telah ditemukan metode pengelasan yang menggunakan gesekan sebagai sumber panas dalam proses pengelasan ([wikipedia](http://wikipedia.org).2008).

Pengelasan gesek (*friction welding*) dalam pengertian yang paling sederhana merupakan dua material yang mana salah satu material berputar dan material yang lain bergerak maju untuk membuat tekanan. Tekanan ini akan menghasilkan panas karena gesekan kedua material tersebut, Sehingga terjadi proses penyambungan logam tanpa pencairan (*solid state process*) di luar permukaan logam terbentuk (ASM Metals Handbook Volume 6,1993: 879).

Lin et al (1999), membandingkan hasil sambungan las gesek antara paduan Aluminium dan komposit dengan menggunakan dua desain sambungan. Desain sambungan pertama terdapat sudut *chamfer* (*bevelled bars*) pada salah satu sisi benda kerja sedangkan desain sambungan kedua semua sisi benda kerja tanpa sudut *chamfer*. Perbedaan bentuk model ini terlihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Permukaan Benda Kerja : a. dengan *chamfer*, b. tanpa *chamfer*

Sumber : Lin et al, 1999

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kekuatan sambungan las gesek dengan menggunakan sudut *chamfer* lebih tinggi dibandingkan dengan model permukaan kontak tanpa sudut *chamfer*. Yang mana sudut *chamfer* sendiri adalah

bentuk geometri benda kerja yang dibuat memotong tepi secara simetris terhadap poros benda kerja dengan sudut tertentu sampai dengan  $90^\circ$ . Yang mana tujuan dari sudut *chamfer* adalah untuk mengurangi luasan kontak pada saat pengelasan. Dapat dikatakan sudut *chamfer* berpengaruh terhadap kekuatan sambungan las gesek yang terbentuk. Namun, untuk menghasilkan sambungan las gesek yang baik masih perlu diketahui besar sudut *chamfer* yang bisa digunakan.

Huang W-Z et al (2002) meneliti pengaruh sudut *bevel* pada struktur pengelasan gesek besi cor grafit *spheroidal* ke baja lunak (*mild steel*). Yang mana sudut *chamfer* dalam las gesek mempengaruhi lapisan deformasi grafit *spheroidal*. Hal ini menunjukkan bahwa sudut *chamfer* mempengaruhi mikrostruktur sambungan las gesek yang terbentuk. Namun, untuk material yang berbeda (Aluminium) masih belum diketahui berapa sudut *chamfer* yang tepat untuk mendapatkan hasil lasan yang dibutuhkan.

Sathiya, P (2006), melakukan pengelasan gesek terhadap *ferritic stainless steel* dengan komposisi dan dimensi yang sama tanpa menggunakan sudut *chamfer*. Dari hasil pengujian dapat diketahui material mempunyai tiga zona yaitu *undeformed zone* (UZ) yang mana kekerasannya hampir sama dengan logam induk, *plasticized zone* (PZ), *partly deforming zone* (PDZ). Kekerasan tertinggi ada pada PZ dari pada PDZ dan UZ. Kekerasan pada PZ meningkat disebabkan oleh ukuran butir yang halus pada zona tersebut.

Hery Purnomo (2008), dalam penelitiannya melakukan pengelasan gesek pada material aluminium paduan yang mana sudut *chamfer* memberikan dampak yang berbeda pada kekuatan tarik sambungan las dengan material yang tanpa sudut *chamfer*. Kekuatan tarik rata-rata yang paling besar dihasilkan pada sudut  $22.5^\circ$  sebesar  $141.4\text{N}/\text{mm}^2$ . Pada penelitian ini sudut masih berkisar antara  $0^\circ$ - $30^\circ$  sehingga masih perlu diteliti untuk sudut yang lebih luas dengan harapan dapat mempermudah penentuan karakteristik sudut dalam pengelasan gesek begitupun nilai distribusi kekerasan belum diketahui pada penelitian ini.

Paduan Al-Mg-Si 6061 dalam penelitian ini memiliki beberapa karakteristik, yaitu: kekuatan sambungan yang baik, dapat diaplikasikan dengan baik pada proses pelapisan, dan ketahanan korosi yang baik. Beberapa penggunaan material paduan Al-Mg-Si 6061 terutama untuk pembuatan komponen-komponen permesinan yang mana memungkinkan untuk dilakukan proses pengelasan gesek, yang mana dengan menggunakan las gesek pada aluminium daerah HAZ yang terbentuk lebih sempit sehingga kekuatan sambungan las lebih kuat.

Penelitian ini dimaksudkan untuk mempelajari pengaruh sudut *chamfer* terhadap distribusi kekerasan pada alumunium Al-Mg-Si 6061. Distrbusi kekerasan perlu diketahui untuk mengetahui pengaruh sudut *chamfer* terhadap tingkat kekerasan pada tiap bagian pada daerah lasan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan penelitian ini ialah: bagaimana pengaruh sudut chamfer terhadap distribusi kekerasan sambungan las gesek pada paduan Al-Mg-Si 6061?

## 1.3 Batasan Masalah

Agar permasalahan tidak meluas dan terfokus, maka perlu dilakukan batasan-batasan sebagai berikut :

- 1) Sambungan dilakukan pada dua material yang sama.
- 2) Material yang digunakan adalah paduan Al-Mg-Si, seri 6061.
- 3) Distribusi temperatur pada proses pengelasan gesek tidak dibahas.
- 4) Variabel waktu pengelasan dijaga konstan pada 2 menit.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian dalam tugas akhir ini adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh sudut chamfer terhadap distribusi kekerasan sambungan las gesek pada paduan Al-Mg-Si 6061?

## 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut :

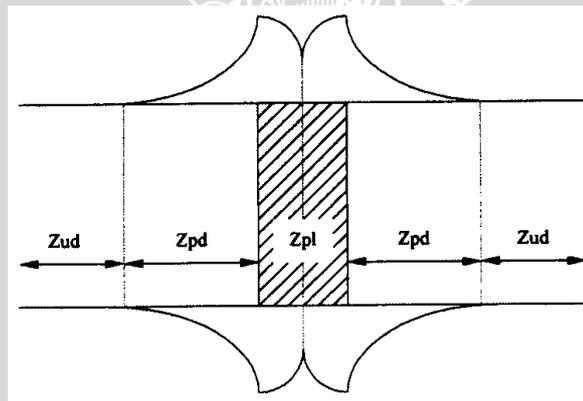
1. Mampu menerapkan teori-teori yang diperoleh dalam bangku kuliah terutama yang berhubungan dengan teknologi pengelasan.
2. Bisa membantu semua pihak dalam memecahkan permasalahan-permasalahan yang berhubungan dengan pengelasan Aluminium dan paduannya.
3. Dapat digunakan sebagai referensi awal untuk 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, yang mana salah satu sisi permukaan diberi sudut *chamfer*. Distribusi kekerasannya dibedakan menjadi tiga zona yaitu Zud, Zpl dan Zpd. Dari hasil penelitian diketahui harga distribusi kekerasan Zpl lebih rendah dari pada Zud, untuk material yang berbeda harga distribusi kekerasan Zpl adalah setengah dari harga total distribusi kekerasan Zud dua material tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa adanya sudut *chamfer* pada sisi benda kerja berpengaruh terhadap kekuatan sambungan las gesek yang terbentuk. Yang mana oleh Lin et al pada pengelasan gesek dibedakan menjadi tiga yaitu *fully plasticized* (ZPL), *partly deforming zone* (ZPD) dan *undeformed zone* (ZUD)

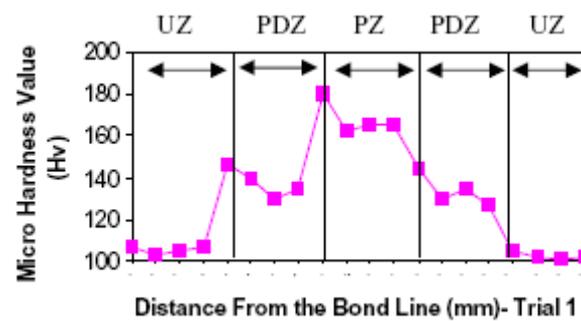


Gambar 2.1 Bagian Sambungan Las Gesek  
Sumber : Lin et al (1999)

Huang W-Z et al (2002), melakukan penelitian tentang pengaruh variasi sudut *bevel* pada pengelasan gesek dengan menggunakan dua 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.

Sathiya, P (2006), melakukan pengelasan gesek terhadap *ferritic stainless steel* dengan komposisi dan dimensi yang sama, yang mana kedua material tidak menggunakan sudut *chamfer*. Pengujian yang dilakukan meliputi uji tarik, uji impak dan uji kekerasan beserta mikrostruktur. Dari hasil pengujian pada material terdapat tiga zona yaitu *undeformed zone* (UZ) yang mana kekerasannya hampir sama dengan logam

induk daerah ini pada penelitian Lin disebut Zud, *plasticized zone* (PZ) yaitu daerah yang telah berubah sepenuhnya karena pengaruh panas pada penelitian Lin daerah ini disebut Zpl, *partly deforming zone* (PDZ) yaitu daerah yang terpengaruh panas sebagian daerah ini pada penelitian Lin disebut Zpd. Kekerasan tertinggi ada pada PZ dari pada PDZ dan UZ. Kekerasan pada PZ meningkat disebabkan oleh ukuran butir yang halus pada zona tersebut.



Gambar 2.2 Grafik kekerasan pada las gesek  
Sumber: P.Sathiya, 2006

Hery Purnomo (2008), meneliti pengaruh sudut *chamfer* terhadap kekuatan tarik sambungan las gesek pada paduan Al-Mg-Si. Variasi sudut yang diberikan dalam penelitian yaitu  $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $22.5^\circ$ , dan  $30^\circ$ . Penelitian menyimpulkan bahwa penggunaan sudut *chamfer* pada spesimen pengelasan gesek memberikan peningkatan kekuatan tarik sambungan las dibandingkan dengan spesimen tanpa menggunakan sudut *chamfer*.

## 2.2 Aluminium dan Paduan Aluminium

Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik serta sifat-sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam (Wirjosumarto, 2000). Paduan Aluminium dapat diklasifikasikan dalam berbagai standar oleh beberapa negara di dunia. Klasifikasi yang terkenal adalah standar *Aluminium Association* (AA) di Amerika. Standar ini didasarkan atas standar yang terdahulu dari Alcoa (*Aluminium Company of America*). Standar AA memberikan penamaan menggunakan empat angka (Surdia, 1999:135) sebagai berikut:

- Angka pertama menyatakan sistem paduan dengan unsur-unsur yang dipadukan atau ditambahkan.
- Angka kedua menyatakan kemurnian dalam paduan yang dimodifikasi pada Aluminium murni.
- Angka ketiga dan keempat dimaksudkan untuk tanda Alcoa terdahulu kecuali

huruf S. Sebagai contoh 3S sebagai 3003 serta 63S sebagai 6063.

Paduan Aluminium dapat digolongkan menjadi dua kelompok utama, yaitu:

5

### 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. Beberapa klasifikasi Aluminium tempa dan paduannya terdapat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Klasifikasi Paduan Aluminium Tempa

Standar AA	Keterangan
1001	Al murni 99,5% atau di atasnya
1100	Al murni 99,0 % atau di atasnya
2010-2029	Cu merupakan unsur paduan utama
3003-3009	Mn merupakan unsur paduan utama
4030-4039	Si merupakan unsur paduan utama
5050-5086	Mg merupakan unsur paduan utama
6061-6069	Mg <sub>2</sub> Si merupakan unsur paduan utama
7070-7079	Zn merupakan unsur paduan utama

(Sumber: Tata Surdia,1999: 135)

Klasifikasi Aluminium dan paduannya (Wirjosumarto,2000) adalah sebagai berikut :

#### 1. Jenis Al murni (seri 1000)

Aluminium jenis ini adalah Aluminium dengan kemurnian 99,0% dan 99,99%. Aluminium ini mempunyai sifat tahan karat, konduktor panas yang baik serta mempunyai sifat mampu las dan mampu mesin lebih baik dibandingkan dengan seri Aluminium yang lain. Hal yang kurang menguntungkan adalah kekuatannya yang relatif rendah.

#### 2. Jenis Paduan Al–Cu (seri 2000)

Jenis Paduan Al–Cu adalah jenis paduan yang dapat diperlakukan-panaskan. Melalui pengerasan endapan atau penyepuhan sifat mekanik paduan ini dapat menyamai sifat baja lunak, tetapi daya tahan korosinya rendah bila dibandingkan dengan jenis paduan yang lainnya serta sifat mampu lasnya juga kurang baik. Jenis paduan ini sering digunakan pada konstruksi keling dan digunakan dalam konstruksi pesawat terbang.

### 3. Jenis Paduan Al – Mn (seri 3000)

Paduan ini adalah jenis paduan yang tidak dapat diperlakukan panas sehingga untuk menaikkan kekuatannya hanya dapat diusahakan melalui pengerjaan dingin dalam proses pembuatannya. Bila dibandingkan dengan jenis Al murni paduan ini memiliki sifat lebih tahan korosi, mampu potong dan sifat mampu las yang sama, namun Aluminium jenis ini mempunyai kekuatan lebih tinggi daripada jenis Aluminium murni.

### 4. Jenis Paduan Al–Si (seri 4000)

Paduan Al–Si termasuk jenis paduan yang tidak dapat diperlakukan panas. Jenis ini dalam keadaan cair mempunyai sifat mampu alir yang baik dan dalam proses pembekuannya hampir tidak terjadi retak. Oleh sebab itu, paduan ini banyak digunakan sebagai bahan atau logam las dalam pengelasan paduan Aluminium baik paduan cor maupun paduan tempa.

### 5. Jenis Paduan Al–Mg (seri 5000)

Jenis paduan ini tidak dapat diperlakukan panas, tetapi bila dibandingkan dengan Aluminium murni jenis paduan ini memiliki ketahanan korosi yang baik, terutama korosi air laut. Paduan Al–Mg banyak digunakan tidak hanya dalam konstruksi umum, tetapi juga digunakan untuk tangki-tangki penyimpanan gas alam cair dan oksigen cair.

### 6. Jenis Paduan Al–Mg–Si (seri 6000)

Paduan ini termasuk paduan yang dapat diperlakukan panas dan mempunyai sifat yang baik dalam hal mampu potong, mampu las, dan daya tahan korosi. Sifat yang kurang baik dalam paduan ini pada daerah las terjadi pelunakan yang terjadi akibat panas pengelasan yang timbul.

### 7. Jenis Paduan Al–Zn (seri 7000)

Paduan jenis ini termasuk dalam kategori yang dapat diperlakukan panas. Biasanya dalam paduan pokok Al – Zn ditambahkan Mg, Cu, dan Cr. Kekuatan tarik yang dapat dicapai lebih dari  $50 \text{ kg/m}^2$ , sehingga paduan ini disebut juga ultra duralium. Berlawanan dengan kekuatan tariknya, sifat mampu las dan ketahanan korosinya kurang baik.

## 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*.

### 3. Paduan Yang Dapat dan Tidak dapat diberi perlakuan panas

Paduan yang dapat diberi perlakuan panas adalah paduan yang mana kekuatannya dapat diperbaiki dengan pengerasan dan penemperan, sedangkan paduan yang tidak dapat diberi perlakuan panas kekuatannya hanya dapat diperbaiki dengan pengerjaan dingin. Pengerasan pada paduan aluminium yang dapat diberi perlakuan panas tidak karena adanya transformasi martensit seperti dalam baja karbon tetapi karena adanya pengendapan halus fasa kedua dalam butir kristal paduan. Karena proses ini maka pengerasan pada paduan aluminium disebut pengerasan endap atau pengerasan presipitasi. Sifat-sifat pengerasan presipitasi dari paduan aluminium tergantung pada unsur-unsur paduannya.

Logam paduan aluminium yang termasuk dalam kelompok yang tidak dapat diperlakukan-panaskan adalah :

- Al-Murni
- Al-Mn
- Al-Si
- Al-Mg

Paduan aluminium yang dapat dikeraskan secara alamiah adalah Al-Cu, yang mana cara pengerasannya adalah karena terjadinya pengendapan fasa kedua pada suhu kamar dalam waktu beberapa hari setelah perlakuan panas pelarutan dari fasa yang kedua. Sedangkan yang termasuk dalam kelompok pengerasan buatan adalah jenis (Wiryosumarto,2000) :

- Al-Cu-Mg
- Al-Mg-Si
- Al-Zn-Mg

### 2.3 Pengaruh Unsur Paduan

Penambahan unsur paduan dilakukan untuk memperbaiki sifat dari aluminium agar didapat material yang sesuai dengan kebutuhan. Sifat unsur paduan ini akan mempengaruhi kualitas dari aluminium. Berikut beberapa pengaruh penambahan unsur paduan dalam aluminium

a. Tembaga (Cu)

Tembaga dalam paduan aluminium dapat meningkatkan kekuatan aluminium pada temperatur tinggi. Paduan aluminium yang mengandung tembaga merupakan paduan yang memiliki sifat mampu mesin yang baik.

b. Silikon (Si)

Silikon mampu meningkatkan sifat mampu cor. Dalam hal ini yang mampu diperbaiki adalah dengan cara mengurangi penyusutan coran sampai satu 1,5 dari penyusutan Aluminium murni, meningkatkan daya alirnya. Selain itu, paduan Silikon akan meningkatkan ketahanan korosinya, baik ditambah unsur lain ataupun tidak. Namun silikon mempunyai pengaruh buruk yaitu menurunkan sifat mampu mesinnya.

c. Magnesium (Mg)

Penambahan magnesium dapat meningkatkan ketahanan korosi. Selain itu, unsur Magnesium juga dapat meningkatkan sifat mampu mesin dan mampu bentuk dari Aluminium tanpa menurunkan keuletannya.

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 korosi Aluminium dan apabila dipadukan dengan Mg akan memperbaiki kekuatannya.

## 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 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 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.

Berdasarkan sifat mampu lasnya aluminium dan paduannya dapat dibagi dalam lima kelompok yaitu; (Wirjosumarto, 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
5. Jenis paduan Al-Cu dan paduan Al-Zn

Logam dalam kelompok pertama dan kedua mempunyai sifat mampu-las yang baik, sedang kelompok kelima hampir tidak mungkin untuk dilas. Kelompok ketiga dan keempat dapat dilas dengan baik asal diikuti dengan proses perlakuan panas kembali. Kelompok ketiga lebih unggul dari kelompok keempat karena dapat mencapai kekuatan semula dengan pengerasan alamiah.

### 2.5 Paduan Al-Mg-Si

Paduan Aluminium-Magnesium-Silikon termasuk dalam jenis yang dapat diperlakukan pemanasan dan mempunyai sifat mampu potong, mampu las dan tahan korosi yang cukup (Wirjosumarto, 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 magnesium dibatasi antara 0,03% - 0,1% (Hiene, 1995:320).

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

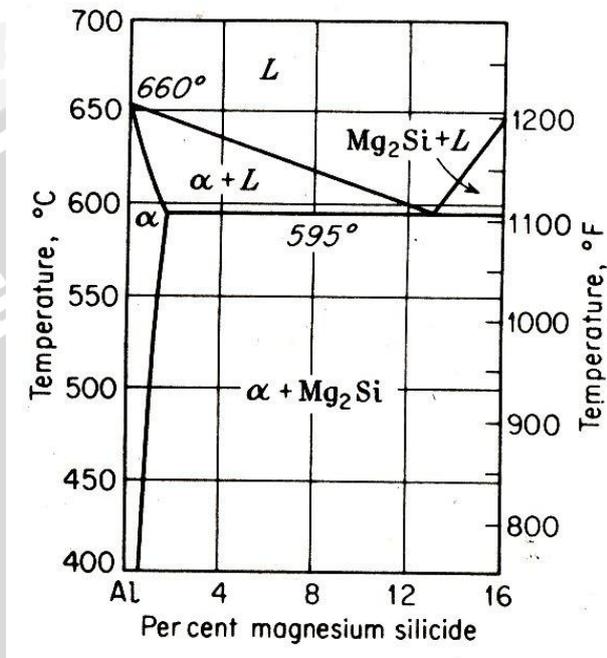
Tabel 2.2 Sifat Aluminium Paduan Al-Mg-Si

Sifat	Nilai
<i>Density</i>	2.71 g/cm <sup>3</sup>
<i>Melting Point</i>	600°C
<i>Modulus of Elasticity</i>	67 Gpa
<i>Electrical Resistivity</i>	0.035x10 <sup>-6</sup> Ω.m
<i>Thermal Conductivity</i>	180 W/m.K
<i>Coefficient of Friction</i>	0.36

Sumber: Alcoa, 2007



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 2.2 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  $\alpha$  terjadi sampai 16% pada  $595^{\circ}C$ . Selain itu, titik cair terendah untuk mencairkan Al-Mg-Si pada temperatur  $595^{\circ}C$  dengan komposisi 13%  $Mg_2Si$  dan 87% Al.

## 2.6 Pengelasan

Berdasarkan pengertian dari Deutsche Industrie Normen (DIN), las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau 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.

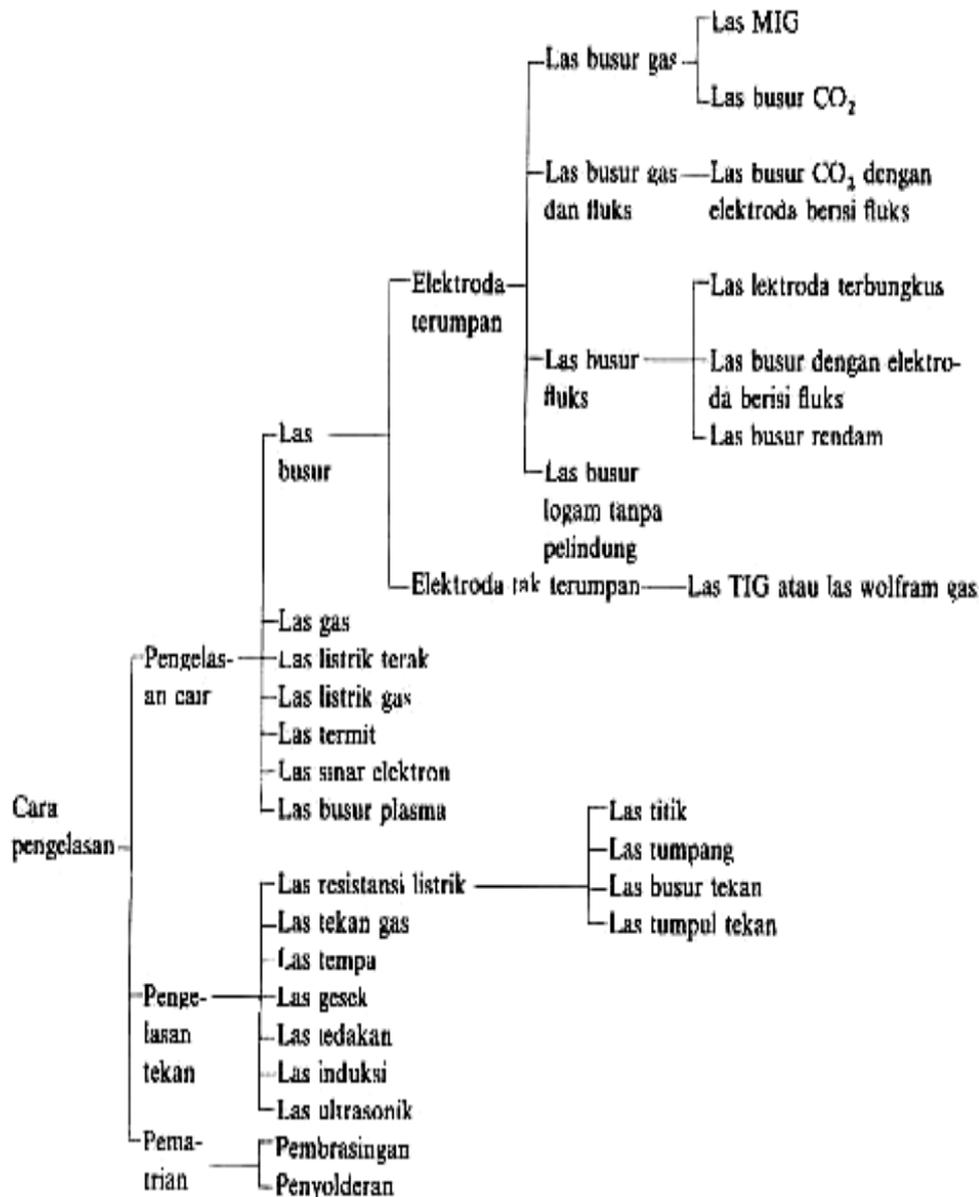
### 2. Pengelasan tekan

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.

Gambar 2.2 menjelaskan klasifikasi pengelasan berdasarkan cara pengelasannya.



Gambar 2.3 Klasifikasi Pengelasan

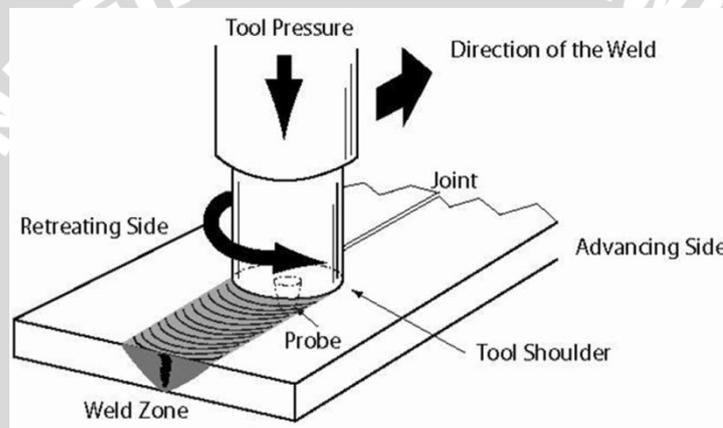
Sumber: Wiryosumarto, 2000: 8

## 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 *Friction Stir 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.

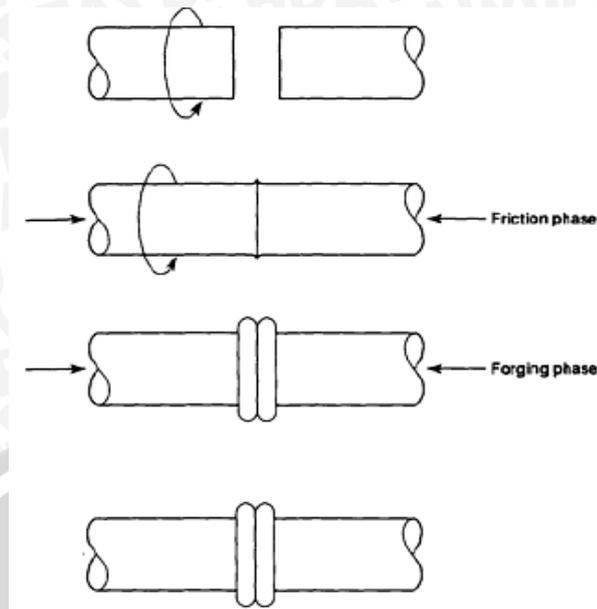


Gambar 2.5 *Stir Friction Welding*

Sumber: K. Oh-ishi, *Journal of Material Science*, 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 2.6, terdapat dua bagian benda kerja (Gambar 2.6a) 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 (Gambar 2.6b). tekanan terus diberikan hingga lelehan kedua permukaan menyatu dan membentuk sambungan (Gambar 2.6c). jika kedua permukaan telah menyatu, putaran dihentikan dan pada sisi tekan diberikan tekanan tambahan untuk menghasilkan sambungan yang sempurna (Gambar 2.6d).



Gambar 2.6 *Inertia Friction Welding*  
Sumber: ASM Metals Handbook, 1993

Pada umumnya pengelasan gesek hampir dapat digunakan untuk menyambung semua material. Beberapa jenis logam yang dapat disambung dengan pengelasan gesek dan mampu menghasilkan sambungan las yang baik antara lain (Sujith Sathian, 1999) :

- Semua jenis baja
- Aluminium dan paduannya
- Tembaga dan paduannya
- Titanium dan paduannya
- Nikel dan paduannya

Untuk pengelasan gesek dengan material yang berbeda dalam pertimbangannya berbeda dengan pengelasan gesek dengan material yang sama, karena tidak semua material dapat disambung dengan hasil sambungan yang baik. Hal yang perlu jadi bahan pertimbangan dalam pengelasan gesek dengan material yang berbeda yaitu sifat *thermal* (*melting points, conductivity thermal*, panas spesifik material) dan sifat mekanik (*elastic modulus, yield strength*) pada tiap-tiap material yang akan disambung (F. Sasani, 1998).

## 2.8 Kelebihan Pengelasan gesek

Beberapa hal yang menjadi pertimbangan dalam pemilihan las gesek sebagai metode penyambungan ([wikipedia](http://wikipedia.org), 2008) antara lain;

1. Prosesnya meminimalisir energi yang dibutuhkan
2. Asap dan geram yang dihasilkan sedikit

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 Logam

Pengujian logam merupakan salah satu cara untuk mengetahui kualitas logam. Pengujian ini sangat erat kaitannya dengan pemilihan bahan yang akan digunakan dalam suatu rancang bangun mesin, atau bangunan yang lain, karena dari hasil tersebut diketahui karakteristik logam sehingga langkah perencanaan selanjutnya dapat ditentukan jenis bahan maupun dimensinya sehingga dapat dicarikan penggantinya tanpa mengabaikan faktor biaya produksi.

Pengujian suatu bahan dapat digolongkan dalam dua bagian besar, yaitu :

### 1. Cara merusak bahan (*destruktif*)

Pengujian jenis ini menggunakan contoh dari bahan dengan bentuk uji yang disesuaikan dengan standar yang sudah ditetapkan secara internasional dan hasil dari pengujian ini akan menimbulkan kerusakan pada benda uji. Pengujian ini meliputi :

- Pengujian kekerasan, pengujian ini meninggalkan bekas indentasi atau goresan.
- Pengujian tarik, pengujian ini mengakibatkan terjadinya patah pada benda uji.
- Pengujian impak, pengujian ini disamping juga meninggalkan bekas indentasi juga mengakibatkan patahnya benda uji.

### 2. Cara pengujian *non destruktif* yang sifatnya tidak merusak benda uji yang meliputi :

- Pengujian magnetis
- Pengujian *ultrasonic*
- Pengujian mikrostruktur

## 2.9.1 Pengujian Kekerasan

### 2.9.1.1 Definisi Kekerasan

Dalam ilmu pengetahuan logam, kekerasan didefinisikan sebagai kemampuan suatu bahan untuk menahan indentasi atau penetrasi. Ada juga yang menyatakan dengan kemampuan menahan deformasi plastis.

### 2.9.1.2 Metode Pengukuran Kekerasan

Pada dasarnya pengukuran kekerasan ada tiga jenis yaitu :

- Kekerasan goresan (*scratch hardness*), yaitu dengan cara Mohr's
- Kekerasan lekukan (*indentation hardness*), yaitu dengan cara Brinell, Meyer, Vickers, Rockwell
- Kekerasan pantulan (*rebound hardness*), yaitu dengan cara Shore Scleroscope

Ada beberapa cara pengujian kekerasan standar yang sering digunakan untuk menguji kekerasan logam, yaitu :

#### 1. Pengujian Kekerasan Brinell

Pengujian Brinell adalah salah satu cara pengujian kekerasan yang paling banyak digunakan. Pada pengujian Brinell digunakan bola baja yang dikeraskan sebagai indenter. Pengukuran kekerasan ini dilakukan dengan cara menekan secara tegak lurus bola baja yang sudah diketahui diameternya pada permukaan benda uji kemudian bekas yang ditimbulkan diukur.

Kekerasan Brinell dihitung sebagai :

$$BHN = \frac{P}{\pi D / 2 \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (\text{dieter, 190:329}) \quad (2.1)$$

keterangan :

$P$  = gaya tekan (kg)

$D$  = diameter bola indenter (mm)

$d$  = diameter tapak tekan (mm)

BHN = angka kekerasan Brinell ( $\text{kg/mm}^2$ )

Pengukuran ini harus dilakukan pada permukaan yang halus dan datar. Terak dan kotoran pada permukaan benda uji mengakibatkan pengukuran yang tidak tepat.

#### 2. Pengujian Kekerasan Rockwell

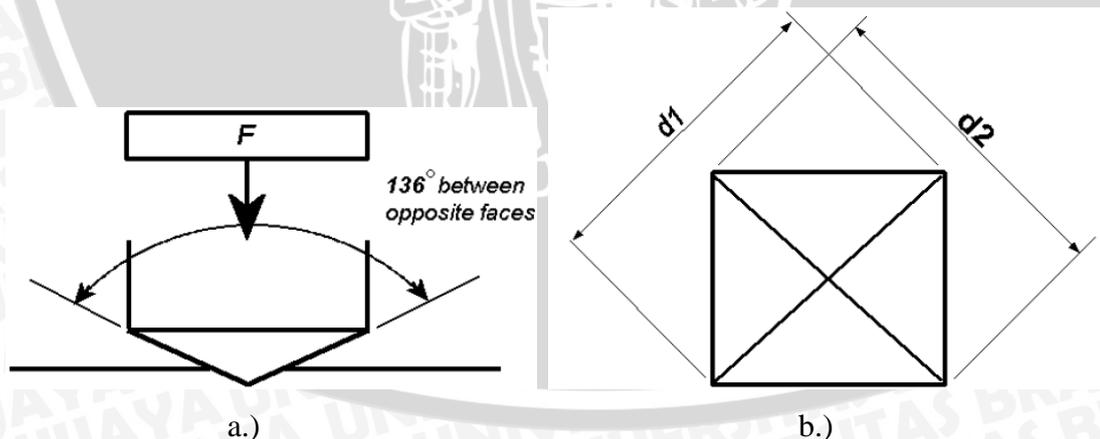
Uji kekerasan rockwell lebih banyak digunakan daripada uji kekerasan yang lain. Dieter (1990:335), hal ini disebabkan oleh sifat-sifatnya yaitu : cepat, bebas dari kesalahan manusia, mampu untuk membedakan perbedaan kekerasan yang kecil pada

baja yang diperkeras, dan ukuran lekukanya kecil, sehingga bagian yang mendapat perlakuan panas yang lengkap, dapat diuji kekerasannya tanpa menimbulkan kerusakan.

Uji ini menggunakan kedalaman lekukan pada beban yang konstan sebagai ukuran kekerasan. Mula-mula diterapkan beban kecil sebesar 10 kg untuk menempatkan benda uji. Hal ini akan memperkecil jumlah preparasi permukaan yang dibutuhkan dan juga memperkecil kecenderungan untuk terjadi penumbukan ke atas atau penurunan yang disebabkan oleh penumbuk. Kemudian diterapkan beban yang besar, dan secara otomatis kedalaman lekukan akan terekam pula gage penunjuk yang menyatakan angka kekerasan. Penunjuk tersebut terdiri atas 100 bagian, masing-masing bagian menyatakan penembusan sedalam 0,00008 inci. Petunjuk kebalikan sedemikian hingga kekerasan yang tinggi yang berkaitan dengan penembusan yang kecil, menghasilkan penunjukan angka yang kekerasan yang tinggi.

### 3. Pengujian Kekerasan Mikro Vickers

Metode uji kekerasan Vickers dilakukan dengan cara menekan material uji menggunakan sebuah indenter intan yang berbentuk piramid beralas bujur sangkar dan sudut puncak antara dua sisi yang berhadapan  $136^\circ$ , material diuji dengan gaya tekan antara 1gf sampai 120 kgf. Hasil optimal dapat diketahui dengan waktu tekan selama 10 sampai 15 detik (Zwig & Roell, 2008). Dua garis diagonal bekas indentasi pada permukaan spesimen setelah beban dihilangkan diukur menggunakan sebuah mikroskop dan di hitung rata-ratanya. Kekerasan vickers dapat diketahui dengan membagi beban dengan luas daerah indentasi yang mana:



Gambar 2.7 a.) prinsip kerja pengujian kekerasan vickers  
b.) diagonal bekas indentasi

Sumber : Zwig & Roell, 2008.

$$HV = \frac{2F \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2} \rightarrow HV = 1.854 \frac{F}{d^2} \quad (\text{dieter, 1990:334}) \quad (2.2)$$

keterangan :

$F$  = gaya tekan (kgf)

$d$  = diagonal tapak tekan rata-rata (mm)

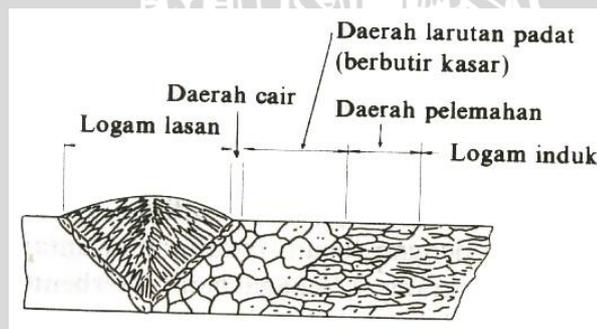
$HV$  = *Vickers hardness*

Jika diagonal rata-rata telah diketahui maka kekerasan vickers dapat dihitung dengan persamaan di atas.

Pada mikro vickers indenter yang digunakan juga sama dengan vickers biasa, begitu juga dengan cara perhitungan angka kekerasannya. Tetapi pada mikro vickers gaya tekan yang digunakan sangat kecil sekali yaitu 1 sampai 1000 gf dan panjang diagonal indentasi diukur dalam mikron (Dieter,1996:335).

## 2.10 Pengaruh Panas Pengelasan

Panas pengelasan pada paduan aluminium akan menyebabkan terjadinya pencairan sebagian, rekristalisasi, pelarutan padat atau pengendapan, tergantung pada tingginya suhu pada daerah las. Karena perubahan struktur ini biasanya terjadi penurunan kekuatan dan ketahanan korosi dan kadang-kadang daerah las menjadi getas. Struktur mikro daerah HAZ dari paduan yang dapat diperlaku-panaskan ditunjukkan pada Gambar 2.7



Gambar 2.8 Struktur Mikro Daerah Las dari Paduan Aluminium yang dapat diperlaku-panaskan

Sumber : Wiryosumarto, 1994:116

Pada paduan yang dapat dikeras-endapkan, akan terjadi butir-butir endapan yang kasar sehingga pada daerah ini terjadi penurunan kekuatan dan ketahanan korosi yang paling besar. Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa makin besar masukan panas makin besar pula penurunan sifat-sifat yang baik (Wiryosumarto, 2000:116).

## 2.11 Heat Affected-Zone (HAZ)

Panas pengelasan pada paduan aluminium akan menyebabkan terjadinya pencairan sebagian, pelarutan padat atau pengendapan, tergantung pada tingginya suhu pada daerah las tersebut. Ketika pengelasan berlangsung, logam induk di sekitar logam las mengalami siklus thermal berupa pemanasan sampai mendekati titik cair kemudian diikuti pendinginan. Yang mana nilai suhu tersebut akan mengakibatkan struktur mikro dan sifat-sifat mekanisnya tidak sama dengan logam induk, daerah atau zona ini dinamakan *heat affected zone* (HAZ).

Pada HAZ sering kali dijumpai penurunan kekuatan dan ketahanan korosi bahkan dapat menjadikan daerah las menjadi getas. Hilangnya kekuatan di HAZ sangat dipengaruhi oleh proses pengelasan, masukan panas, kecepatan pengelasan dan pendinginan. 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). Yang mana oleh Lin et al pada pengelasan gesek dibedakan menjadi tiga yaitu *fully plasticized* (ZPL), *partly deforming zone* (PDZ) dan *undeformed zone* (UZ).

## 2.12 Aplikasi Pengelasan Gesek

Las gesek telah banyak dipergunakan sebagai salah satu metode penyambungan beberapa komponen permesinan dalam bidang otomotif, industri perkapalan dan industri militer. Contoh aplikasi pengelasan gesek yang menggunakan paduan Al-Mg-Si di tunjukan pada Gambar 2.6



Gambar 2.9 Aplikasi Las Gesek paduan Al-Mg-Si  
Sumber: NCT Inc. 2001

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan adalah penelitian eksperimental sejati (*true experimental research*), jenis penelitian ini dapat dipakai untuk menguji suatu perlakuan atau desain baru dengan membandingkan satu atau lebih kelompok pengujian dengan sudut *chamfer* dan tanpa sudut *chamfer*. 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 (*independent variable*)

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya kita tentukan dan tidak dipengaruhi oleh variabel lain. Adapun variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah sudut *chamfer* permukaan kontak yaitu; tanpa sudut *chamfer*, 15°, 22,5°, 30°, 45°, 60°, dan 75°.

#### 3.2.2 Variabel Terikat (*dependent variable*)

Variabel terikat adalah variabel yang besar nilainya tergantung oleh variabel bebas dan besarnya dapat diketahui setelah penelitian dilakukan. Adapun dalam penelitian ini yang menjadi variabel terikat adalah angka kekerasan.

#### 3.2.3 Variabel Kontrol (*control variable*)

Yaitu variabel yang besarnya dikendalikan selama penelitian dan bersifat konstan. Adapun yang termasuk dalam variabel kontrol dalam pengujian ini, yaitu:

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

### 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 Institut Teknologi Nasional
3. Laboratorium Metalurgi Fisik Teknik Mesin Universitas Brawijaya

### 3.4 Alat dan Bahan yang Digunakan

#### 3.4.1 Alat yang Digunakan

- a. Stopwatch
- b. Jangka sorong
- c. Mesin bubut
- d. Mesin uji kekerasan
- e. Mikroskop
- f. Kamera digital
- g. Gergaji
- h. Timbangan digital
- i. Alat bantu cekam
- j. *Centrifugal sand paper*

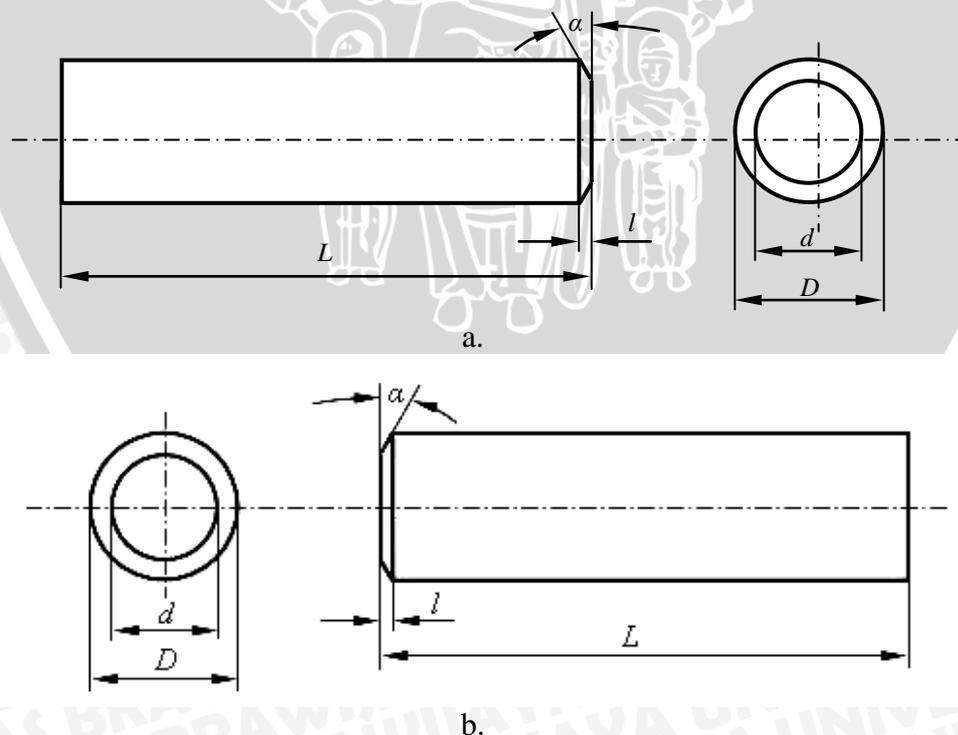
#### 3.4.2 Bahan yang Digunakan

Bahan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah paduan Al-Mg-Si seri AA 6061 dengan komposisi unsur paduan sebagai berikut:

Tabel 3.1 Komposisi Kimia Paduan Aluminium AA6061

No.	Kandungan Unsur	Nilai (%)	No.	Kandungan Unsur	Nilai (%)
1.	Al	97,384	7.	Mn	0,094
2.	Mg	0,907	8.	Cr	0,036
3.	Si	0,695	9.	Pb	0,021
4.	Fe	0,436	10.	Ti	0,014
5.	Cu	0,209	11.	Ni	0,008
6.	Zn	0,190	12.	Sn	0,004

### 3.5 Dimensi Benda Kerja



Gambar 3.1 a) Benda Kerja sisi kiri

b) Benda Kerja sisi kanan

Keterangan:

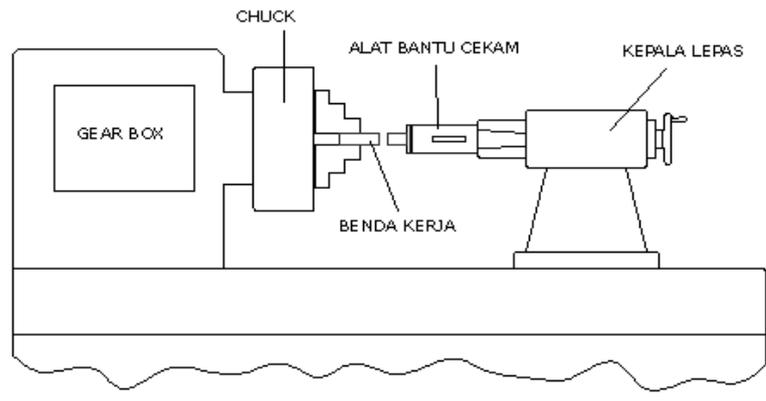
$$L = 70 \text{ mm}$$

$$l = 2 \text{ mm}$$

$$D = 20 \text{ mm}$$

$$\alpha = 15^\circ, 22,5^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ, \text{ dan tanpa sudut } \textit{chamfer}.$$

### 3.6 Skema Pengelasan Gesek



Gambar 3.2 Skema Pengelasan Gesek

### 3.7 Prosedur Penelitian

#### 3.7.1 Pengelasan Gesek

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

- Penghalusan permukaan benda kerja
- Pembentukan sudut *chamfer*
- Pemasangan benda kerja pada cekam
- Pengaturan kecepatan putaran *spindle* yang digunakan
- Mesin dihidupkan
- Pengaturan tekanan yang diberikan sebesar 128,8 kgf
- Proses pengelasan dimulai, perhitungan waktu 2 menit
- Mesin dimatikan
- Dilakukan *holding* selama 2 menit dengan gaya tekan 156,8 kgf
- Pelepasan benda kerja pada cekam
- Pendinginan benda kerja
- Pengecekan hasil lasan.

### 3.7.2 Pengujian Kekerasan

Untuk pengujian kekerasan dilakukan pengamatan sebanyak 10 titik yaitu pada daerah logam las 2 titik dan daerah HAZ 4 titik dan daerah logam induk 4 titik dimana setiap titik pengamatan 0,5 mm.

**Prosedur pengujian adalah sebagai berikut :**

1. Permukaan spesimen yang akan diuji dibersihkan dulu dari terak dan kotoran sampai benar-benar rata dan halus.
2. Pemasangan spesimen yang akan diuji harus benar-benar diperhatikan.
3. Dilakukan pengujian kekerasan dengan mikrovickers yang mana pengambilan data pada permukaan spesimen dengan beban indentasi 50 gf dengan loading time 10 detik.

### 3.7.3 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 adalah sebagai berikut :**

1. Permukaan spesimen yang akan difoto dibersihkan dahulu dari terak dan kotoran dengan *centrifugal sand paper* sampai betul-betul rata dan halus.
2. Permukaan spesimen dihaluskan dengan batu hijau dan digosok dengan kain flanel sampai benar-benar mengkilap dan halus.
3. Permukaan spesimen yang sudah mengkilap dibersihkan dengan alkohol, kemudian ditetesi dengan cairan etsa.
4. Spesimen diletakkan pada mikroskop logam, kemudian fokus diatur sampai didapatkan gambar yang jelas dengan perbesaran 12 kali.
5. Dilakukan pemotretan dengan kamera, kemudian hasilnya diperjelas dengan bantuan *software* Autocad.

### 3.7.4 Pengujian Mikrostruktur

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui hubungan sudut *chamfer* terhadap perubahan kondisi struktur mikro pada tiap-tiap daerah Zpl, Zpd, dan Zud.

**Prosedur pengujian adalah sebagai berikut :**

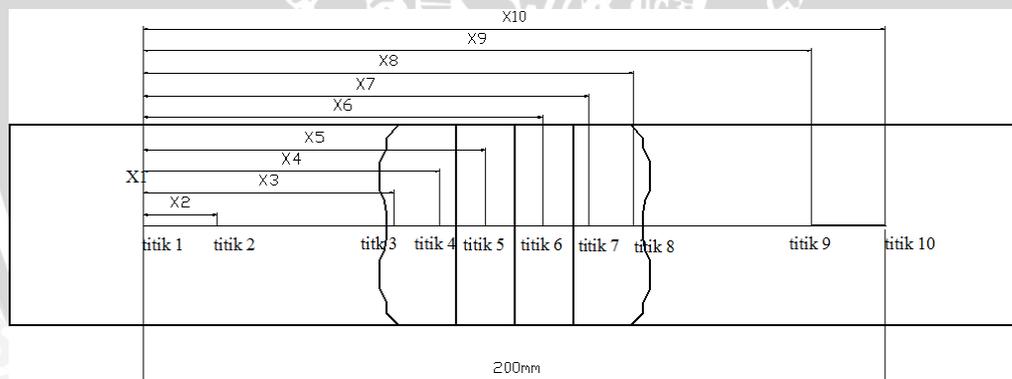
1. permukaan specimen yang akan difoto dibersihkan dahulu dari terak dan kotoran dengan *centrifugal sand paper* sampai dengan ukuran 1500.

2. Permukaan specimen dihaluskan dengan batu hijau dan digosok dengan kain flannel sampai benar-benar mengkilap dan halus.
3. Permukaan specimen yang sudah mengkilap dibersihkan dengan alcohol, kemudian ditetesi dengan cairan etsa berupa HF dengan perbandingan 1:3 dengan waktu etsa 60 detik.
4. Specimen diletakkan pada mikroskop logam, kemudian focus diatur sampai didapatkan gambar yang jelas dengan perbesaran 450 kali.
5. Dilakukan pemotretan dengan kamera, kemudian hasilnya diperjelas dengan bantuan *software* Adobe Photoshop.

### 3.8 Rancangan Penelitian

#### 3.8.1 Rancangan pengambilan data

Rancangan penelitian ini merupakan cara untuk menentukan keberhasilan suatu penelitian atau eksperimen dan juga menentukan analisis yang sesuai sehingga didapat suatu kesimpulan yang tepat. Panjang daerah yang di ambil sebagai sampel adalah 200 mm diambil 100 mm dari tengah daerah las ke kanan dan ke kiri. Pengambilan data dilakukan pada daerah Zud, Zpd, dan Zpl.



Gambar 3.3 Titik pengambilan data

Rancangan pengambilan data pada penelitian ini adalah mengamati parameter - parameter yang akan diukur berdasarkan dua variabel bebas dan variabel terkontrol untuk menghitung nilai kekerasan Vickers. Adapun rancangan pengambilan data yang akan diamati adalah sebagai berikut :

Tabel 3.2 Rancangan Penulisan Data Penelitian pada sudut *chamfer* 0°

Diagonal	Titik									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1										
2										

Setelah dilakukan perhitungan data, kemudian hasil perhitungan tersebut ditabelkan seperti pada tabel 3.2 dibawah ini.

Tabel 3.3 Rancangan Pengolahan Data Penelitian pada sudut *chamfer* 0°

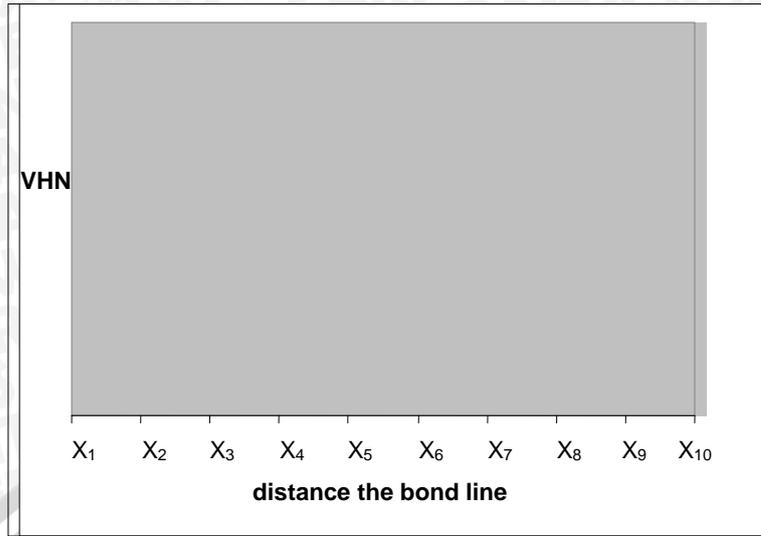
	Titik									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nilai Kekerasan										
Jarak	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>

### 3.8.2 Rancangan Grafik

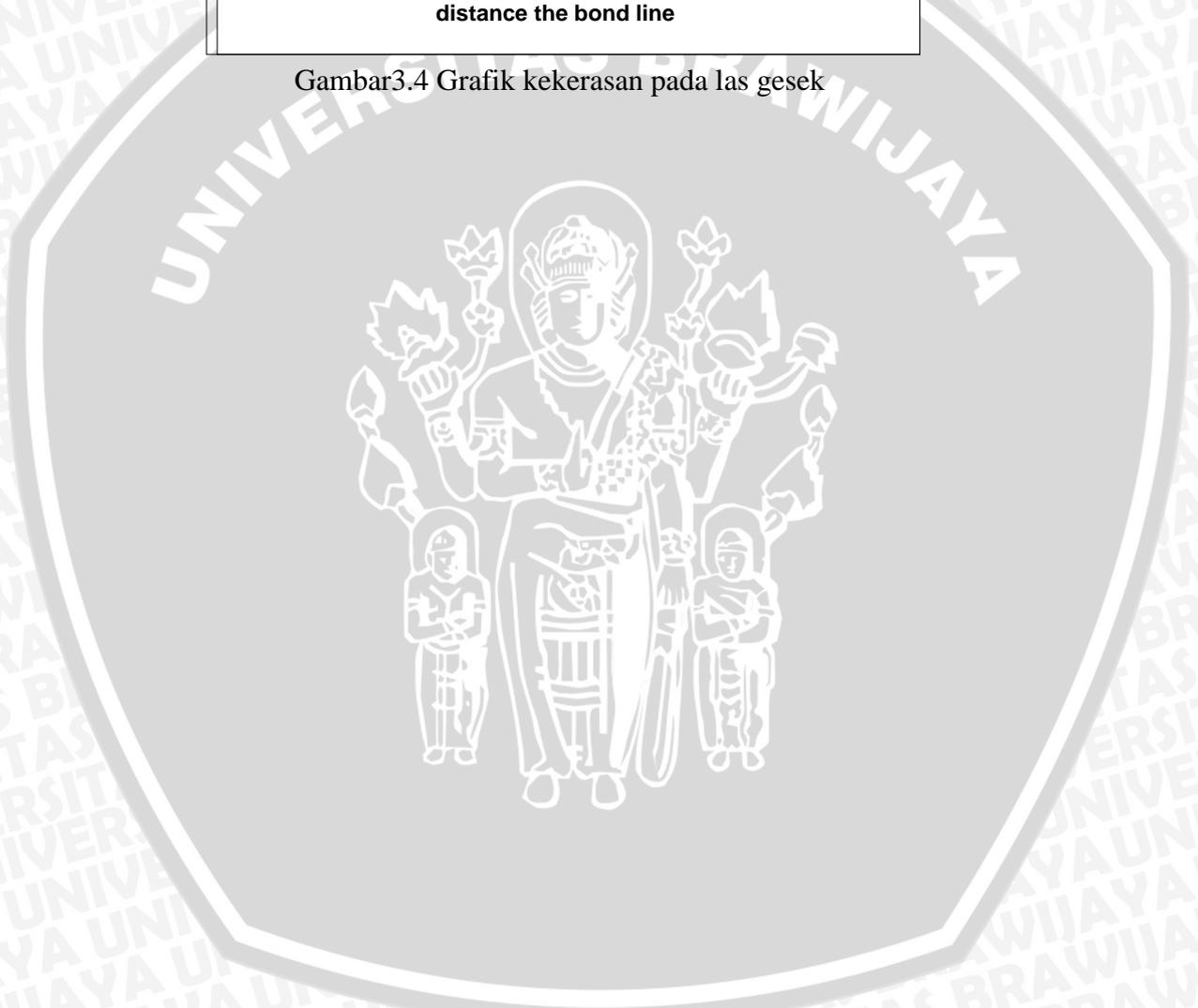
Setelah nilai kekerasan pada lasan diketahui, maka hubungan antara nilai kekerasan dan jarak dari garis las akan ditampilkan dalam grafik untuk mengetahui pengaruh dari masing - masing variasi sudut tersebut. Adapun rancangan grafik yang akan ditampilkan sebagai berikut :

1. Hubungan antara jarak terhadap nilai kekerasan dengan tanpa sudut *chamfer*.
2. Hubungan antara jarak terhadap nilai kekerasan pada sudut 15°
3. Hubungan antara jarak terhadap nilai kekerasan pada sudut 22.5°
4. Hubungan antara jarak terhadap nilai kekerasan pada sudut 30°
5. Hubungan antara jarak terhadap nilai kekerasan pada sudut 45°
6. Hubungan antara jarak terhadap nilai kekerasan pada sudut 60°
7. Hubungan antara jarak terhadap nilai kekerasan pada sudut 75°
8. Hubungan antara sudut *chamfer* terhadap distribusi kekerasan

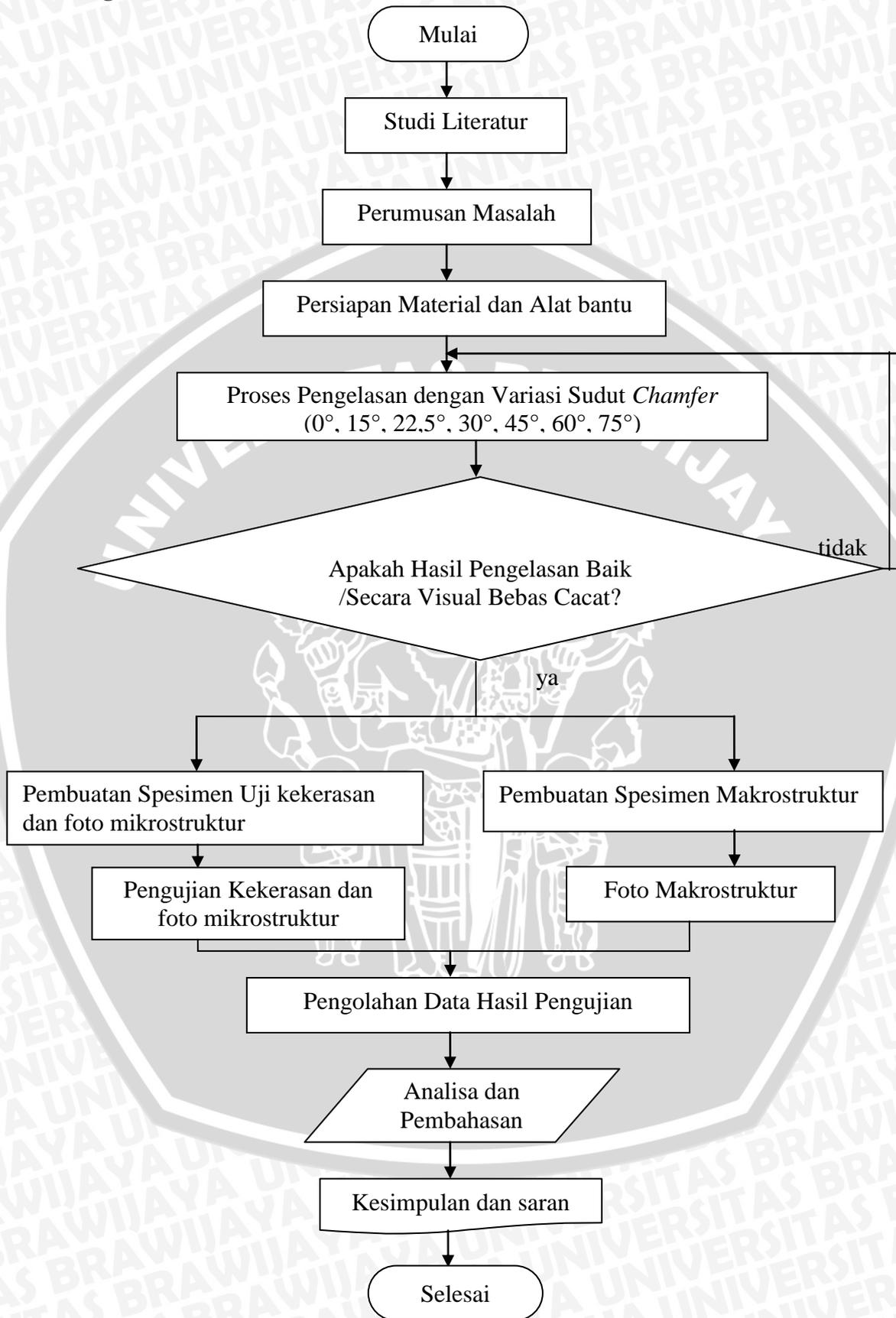
Adapun rancangan grafik yang akan ditampilkan dapat dilihat pada grafik sebagai berikut :



Gambar3.4 Grafik kekerasan pada las gesek



### 3.9 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.5 Diagram alir penelitian

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian yang telah dilakukan didapatkan hasil dari foto makro tiap sudut dan hasil dari pengujian Mikro vickers yang berupa diagonal dari bekas indenter vickers. Yang mana setelah data diolah didapatkan nilai dari kekerasan vickers itu sendiri dari tiap sudut *chamfer*.

### 4.1 Foto Makro pengelasan Gesek

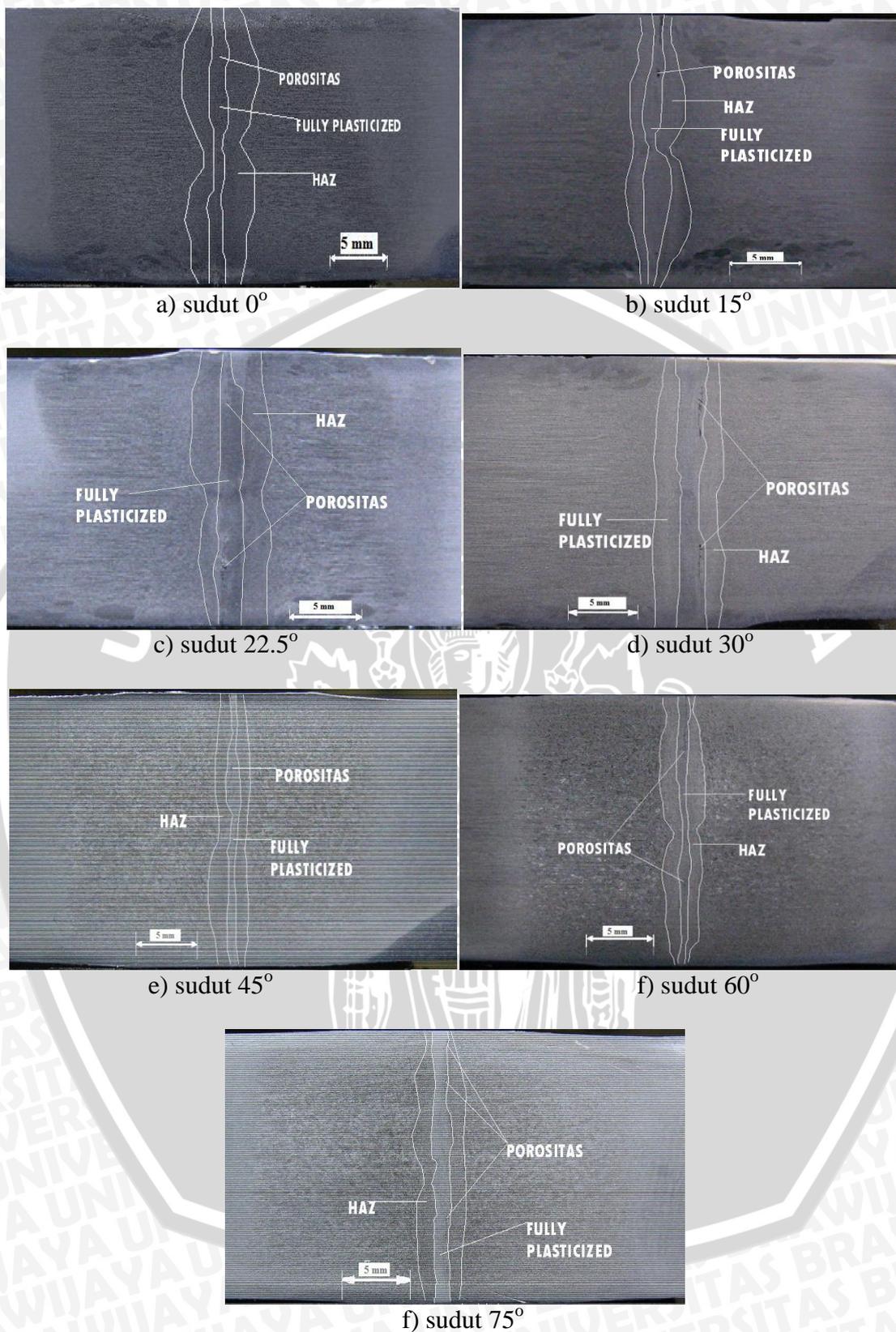
Dari hasil foto makro gambar 4.1 akan tampak daerah-daerah yang nantinya akan dikelompokkan dalam tiga daerah yaitu *undeformed zone* (Zud) atau daerah yang tidak terpengaruh panas yaitu logam induk, *partially deformed zone* (Zpd) atau daerah yang terpengaruh panas sebagian yaitu HAZ, dan *fully plasticized zone* (Zpl) atau daerah sambungan las (Lin et al, 1999).

Tabel 4.1 Luas tiap daerah pada las gesek

Sudut <i>Chamfer</i> ( $^{\circ}$ )	Porositas ( $\text{mm}^2$ )	Luas Daerah HAZ ( $\text{mm}^2$ )	Luas Daerah Fully Plasticized ( $\text{mm}^2$ )
Tanpa sudut	0.32	74.53	25.42
15 $^{\circ}$	0.5175	43.43	22.76
22.5 $^{\circ}$	0.88	64.23	34.10
30 $^{\circ}$	0.76	56.96	39.78
45 $^{\circ}$	0.39	40.88	13.29
60 $^{\circ}$	0,435	37.62	12.63
75 $^{\circ}$	0,42	45.74	24.21

Dari Tabel 4.1 dapat diketahui bahwa luasan daerah HAZ dari hasil pengelasan tiap-tiap sudut berbeda. Dari luasan daerah HAZ tersebut dapat diketahui seberapa besar pengaruh panas terhadap perubahan struktur material di sekitar sambungan las.

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 4.1.

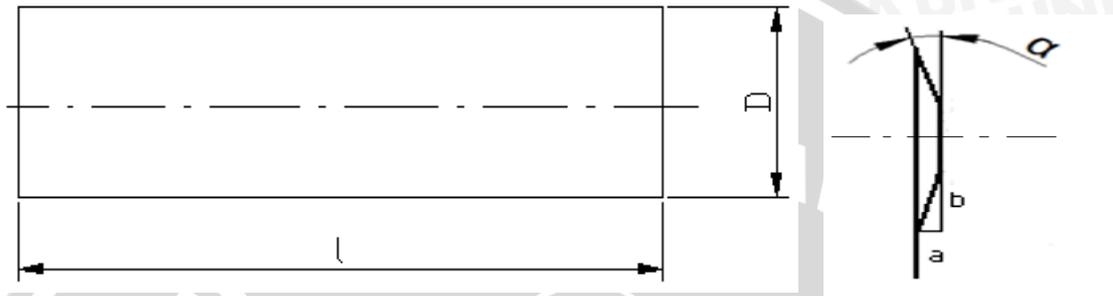


Gambar 4.1 Makrostruktur pada sambungan las gesek Al-Mg-Si

## 4.2 Masukan Panas Pada Sambungan Las Gesek

Masukan panas pada sambungan las gesek dengan variasi sudut *chamfer* akan berbeda-beda hal ini dipengaruhi oleh luasan kontak. Yang mana semakin kecil sudut *chamfer* maka semakin sempit luasan kontak sehingga semakin kecil pula masukan panas yang dihasilkan.

Untuk variabel-variabel yang mempengaruhi masukan panas pada sambungan las dapat dilihat pada Tabel 4.2 beserta perhitungan masukan panas di bawah.



Gambar 4.2 Benda kerja setelah pemberian sudut *chamfer*

$$r_{\alpha} = 10 - \frac{2}{\tan \alpha}$$

Tabel 4.2 variabel untuk daya pada pengelasan gesek

Sudut ( $^{\circ}$ )	$\mu$	n (rpm)	F (N)	r (m)	P (watt)
0	0,42	1600	1262,24	0,01	591,87
15	0,42	1600	1262,24	0,0025	133,17
22,5	0,42	1600	1262,24	0,0052	304,81
30	0,42	1600	1262,24	0,0065	387,68
45	0,42	1600	1262,24	0,008	473,50
60	0,42	1600	1262,24	0,0088	505,16
75	0,42	1600	1262,24	0,0095	559,31

$$P = \frac{4}{3} \mu F r \frac{n}{60} \pi$$

keterangan :

$\mu$  = koefisien gesek (lampiran 7)

$n$  = putaran (rpm)

$F$  = gaya tekan (N)

$R$  = jari-jari (m)

$P$  = daya (watt)

Energi yang digunakan untuk masukan panas awal :

$$W = P.t$$

Keterangan :

W = usaha (joule)

t = waktu (detik)

Sudut  $0^{\circ}$

$$P = \frac{4}{3} \times 0,42 \times 1262,24 \times 0,01 \times \frac{1600}{60} \pi$$

$$= 591,87 \text{ Watt}$$

$$W = 591,87 \text{ Watt} \times 120\text{s}$$

$$= 71024,72 \text{ Joule} : 4,1868 \text{ kalor/joule}$$

$$= 16963,96 \text{ kalor}$$

Sudut  $15^{\circ}$

$$P = \frac{4}{3} \times 0,42 \times 1262,24 \times 0,0025 \times \frac{1600}{60} \pi$$

$$= 147,97 \text{ Watt}$$

$$W = 147,97 \text{ Watt} \times 120\text{s}$$

$$= 17756,18 \text{ Joule} : 4,1868 \text{ kalor/joule}$$

$$= 4240,99 \text{ kalor}$$

Sudut  $22,5^{\circ}$

$$P = \frac{4}{3} \times 0,42 \times 1262,24 \times 0,0052 \times \frac{1600}{60} \pi$$

$$= 307,77 \text{ Watt}$$

$$W = 307,77 \text{ Watt} \times 120\text{s}$$

$$= 36932,86 \text{ Joule} : 4,1868 \text{ kalor/joule}$$

$$= 8821,26 \text{ kalor}$$

Sudut  $30^{\circ}$

$$P = \frac{4}{3} \times 0,42 \times 1262,24 \times 0,0065 \times \frac{1600}{60} \pi$$

$$= 384,71 \text{ Watt}$$

$$W = 384,71 \text{ Watt} \times 120\text{s}$$

$$= 46166,07 \text{ Joule} : 4,1868 \text{ kalor/joule}$$

$$= 11026,58 \text{ kalor}$$

Sudut  $45^{\circ}$

$$P = \frac{4}{3} \times 0,42 \times 1262,24 \times 0,008 \times \frac{1600}{60} \pi$$

$$= 473,49 \text{ Watt}$$

$$\begin{aligned} W &= 473,49 \text{ Watt} \times 120\text{s} \\ &= 56819,78 \text{ Joule} : 4,1868 \text{ kalor/joule} \\ &= 13571,17 \text{ kalor} \end{aligned}$$

Sudut  $60^\circ$

$$\begin{aligned} P &= \frac{4}{3} \times 0,42 \times 1262,24 \times 0,0088 \times \frac{1600}{60} \pi \\ &= 520,85 \text{ Watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W &= 520,85 \text{ Watt} \times 120\text{s} \\ &= 62501,76 \text{ Joule} : 4,1868 \text{ kalor/joule} \\ &= 14928,29 \text{ kalor} \end{aligned}$$

Sudut  $75^\circ$

$$\begin{aligned} P &= \frac{4}{3} \times 0,42 \times 1262,24 \times 0,0095 \times \frac{1600}{60} \pi \\ &= 562,27 \text{ Watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W &= 562,27 \text{ Watt} \times 120\text{s} \\ &= 67473,49 \text{ Joule} : 4,1868 \text{ kalor/joule} \\ &= 16115,77 \text{ kalor} \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas dapat diketahui bahwa semakin luas kontak yang terjadi akan menyebabkan semakin besar panas awal yang lebih tinggi. Yang mana masukan panas awal yang lebih tinggi memungkinkan terjadinya pengelasan dengan panas yang lebih tinggi. Hal ini akan mengakibatkan pendinginan yang lebih cepat sehingga butiran yang terbentuk belum sempat berkembang sehingga dihasilkan butiran yang kecil yang akan meningkatkan kekerasan.

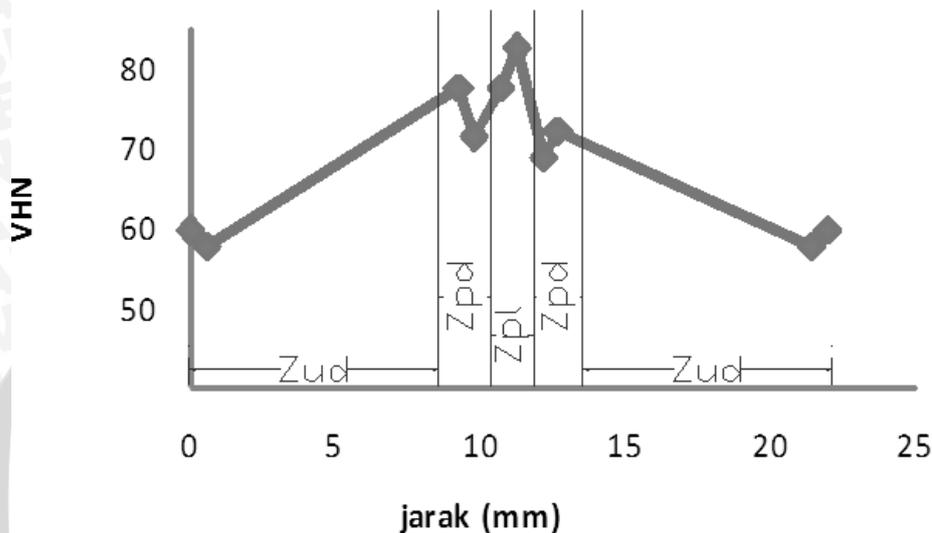
### 4.3 Kekerasan Vickers Pada Sambungan Las Gesek

Pada pengujian mikro vickers yang telah dilakukan pada pengelasan gesek digunakan *test load* 50 gf dengan *loading time* 10 detik dengan variasi sudut yaitu tanpa sudut *chamfer*,  $15^\circ$ ,  $22,5^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $75^\circ$ . Pengambilan data kekerasan dibedakan dalam tiga daerah dengan dua titik sampel tiap daerah yaitu daerah tidak terdeformasi (Zud) yang mana nilai kekerasan hampir sama dengan logam induk, daerah kedua yaitu daerah las (Zpl), daerah ketiga yaitu daerah HAZ (Zpd) yaitu daerah yang terpengaruh panas. Nilai-nilai kekerasan dapat dilihat pada tabel-tabel beserta grafik berikut.

### 4.3.1 Tanpa sudut *chamfer*

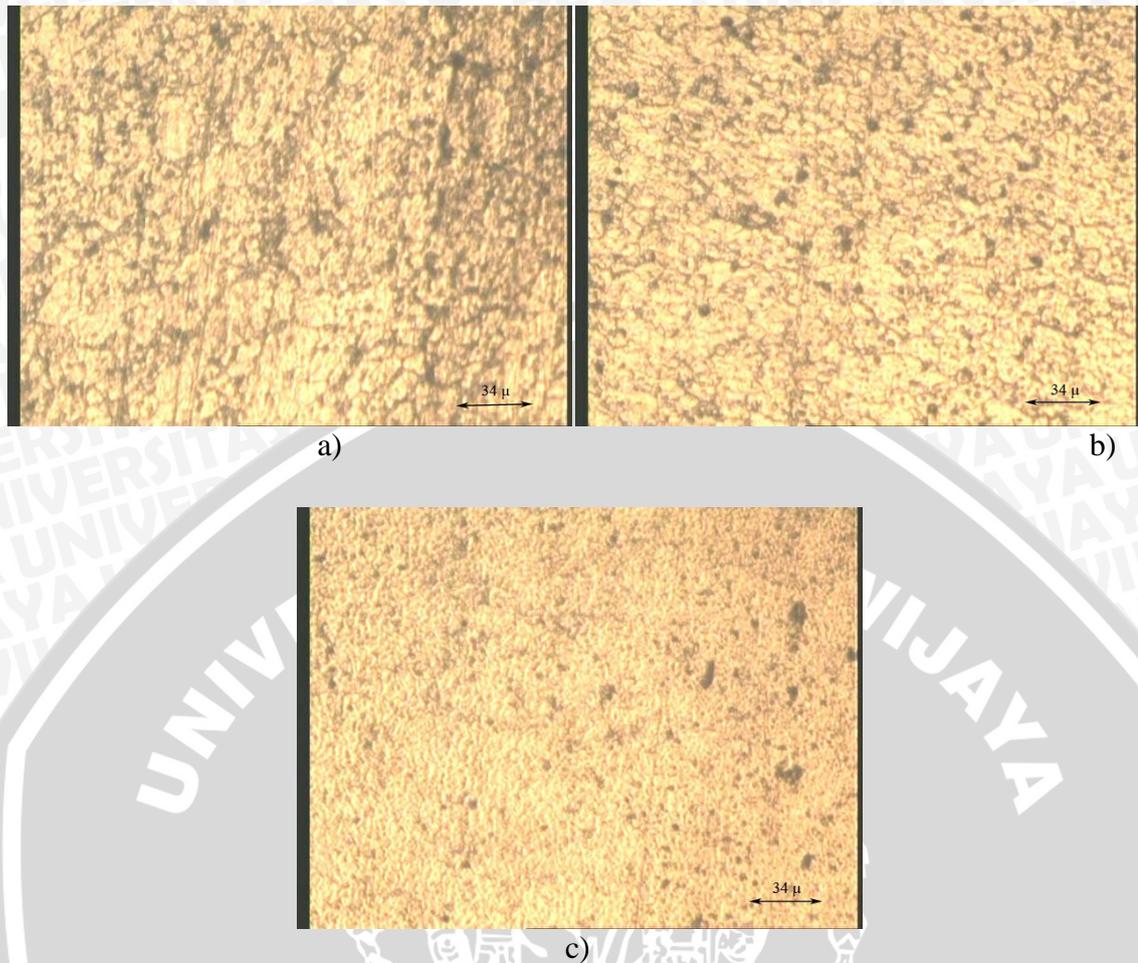
Tabel 4.3 Distribusi kekerasan pada tanpa sudut

Titik	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VHN	59,6	57,7	77,6	71,4	77,6	82,4	68,9	72,2	57,7	59,9
Jarak (mm)	0	0,6	9,3	9,8	10,7	11,3	12,2	12,7	21,4	22



Gambar 4.3 Hubungan nilai kekerasan dengan jarak pada specimen tanpa sudut *chamfer*

Pada specimen tanpa sudut *chamfer* dapat diketahui nilai kekerasan pada tabel 4.3 yang mana kekerasan tertinggi terletak pada daerah las yaitu 82,4 VHN (*Vickers Hardnes Number*) kekerasan kedua terletak pada daerah HAZ selanjutnya daerah logam induk. Nilai kekerasan pada specimen tanpa sudut *chamfer* paling besar dibandingkan dengan kekerasan pada sudut yang lain, selain itu pada tabel 4.1 dapat kita lihat pada specimen tanpa sudut *chamfer* mempunyai daerah HAZ yang paling luas yaitu 74.53 mm<sup>2</sup>. Dengan melihat daerah luasan HAZ pada specimen tanpa sudut *chamfer* yang merupakan paling luas dari sudut-sudut lain dapat dikatakan specimen tanpa sudut *chamfer* telah mengalami pemanasan yang paling tinggi dikarenakan gesekan yang lebih banyak sehingga menghasilkan nilai kekerasan yang lebih tinggi, hal ini juga didukung dari perhitungan masukan panas awal yang mana menunjukkan nilai tertinggi dibandingkan dengan specimen yang menggunakan sudut *chamfer* dan dapat pula dilihat pada gambar 4.4 bahwa struktur butiran pada daerah Zpl lebih kecil daripada daerah yang lain.

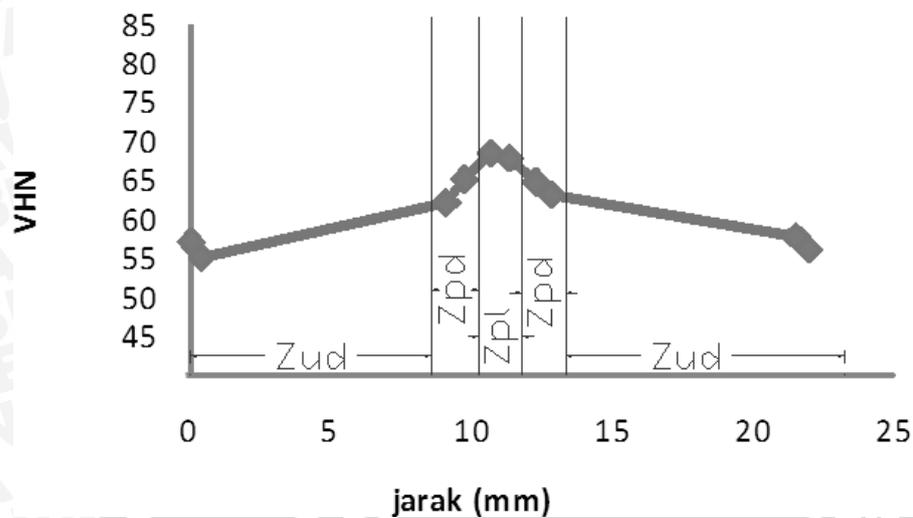


Gambar 4.4 Foto mikrostruktur pada pengelasan gesek tanpa sudut *chamfer*  
 d) Foto mikrostruktur pengelasan gesek tanpa sudut *chamfer* pada daerah Zud  
 e) Foto mikrostruktur pengelasan gesek tanpa sudut *chamfer* pada daerah Zpd  
 f) Foto mikrostruktur pengelasan gesek tanpa sudut *chamfer* pada daerah Zpl

#### 4.3.2 Sudut *chamfer* 15°

Tabel 4.4 Distribusi kekerasan pada sudut 15°

Titik	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VHN	57	55,2	62,2	65	68,6	67,9	64,7	63,1	57,7	56,2
Jarak (mm)	0	0,43	9,13	9,73	10,65	11,35	12,27	12,87	21,57	22,0



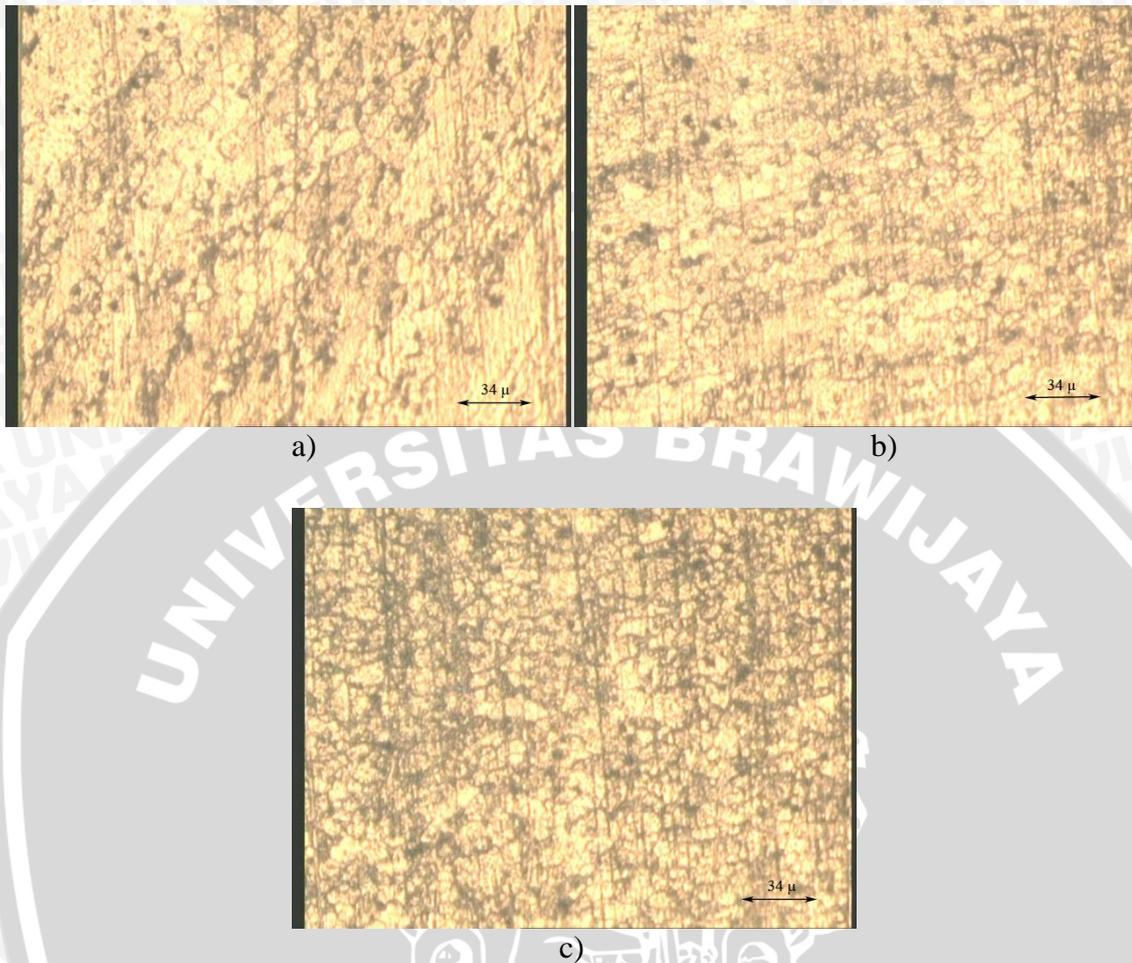
Gambar 4.5 Hubungan nilai kekerasan dengan jarak pada specimen dengan sudut *chamfer* 15°

Pada sudut 15° dapat kita lihat nilai kekerasan pada Tabel 4.4 yang mana kekerasan tertinggi adalah 68,6 VHN yang terletak pada daerah las yang diikuti oleh HAZ dan daerah logam induk. Akan tetapi nilai kekerasan pada sudut 15° masih di bawah sudut 0° hal ini dikarenakan pada sudut 15° membentuk *flash* yang kemudian mengisi ruang kosong yang diakibatkan oleh sudut *chamfer*, yang mana logam isi ini hanya akan dapat menghalangi logam las terbentuk lagi, yang dapat meningkatkan pengelasan. Hal ini dapat diamati dari luas daerah daerah HAZ pada Tabel 4.1. yang mana luas daerah HAZ pada sudut 15° yaitu 43.43 mm<sup>2</sup> yang lebih kecil dari daerah HAZ 0° yaitu 74.53 mm<sup>2</sup>.

Pada sudut 15° mengalami pemanasan yang lebih cepat karena luasan kontak yang lebih sempit, akan tetapi hasil dari pemanasan hanya mampu menghasilkan logam las yang sedikit hal ini disebabkan karena luas kontak yang lebih sempit karena pengaruh sudut *chamfer* sehingga terjadi beberapa kali pembuatan logam las untuk mengisi celah yang disebabkan oleh sudut *chamfer*. Yang mana logam las yang pertama akan menjadi *flash* dan logam las yang terbentuk selanjutnya akan menjadi logam isi pada sambungan las. Dengan kata lain logam yang mendapatkan panas paling banyak terbuang keluar menjadi *flash*.

Lin et al (1999) mengatakan bahwa celah yang diisi oleh logam las akan menghambat pengelasan yang terjadi lebih banyak. Oleh karena itu daerah HAZ akan lebih sempit dari sudut 0° dan nilai kekerasan yang dihasilkan pun lebih rendah. Hal ini juga dapat dilihat pada Gambar 4.6 bahwa struktur butirnya lebih cenderung besar

daripada pengelasan tanpa sudut akan tetapi struktur butiran mempunyai pola yang sama dengan pengelasan tanpa sudut yaitu daerah Zpl lebih kecil daripada daerah lain.

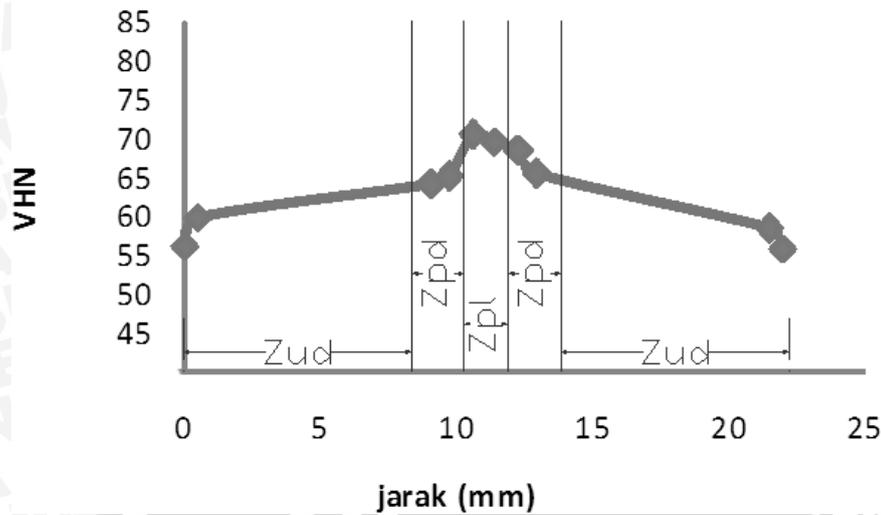


Gambar 4.6 Foto mikrostruktur pada pengelasan gesek dengan sudut *chamfer* 15°  
 d) Foto mikrostruktur pengelasan gesek dengan sudut *chamfer* 15° pada daerah Zud  
 e) Foto mikrostruktur pengelasan gesek dengan sudut *chamfer* 15° pada daerah Zpd  
 f) Foto mikrostruktur pengelasan gesek dengan sudut *chamfer* 15° pada daerah Zpl

#### 4.3.3 Sudut *chamfer* 22,5°

Tabel 4.5 Distribusi kekerasan pada sudut 22,5°

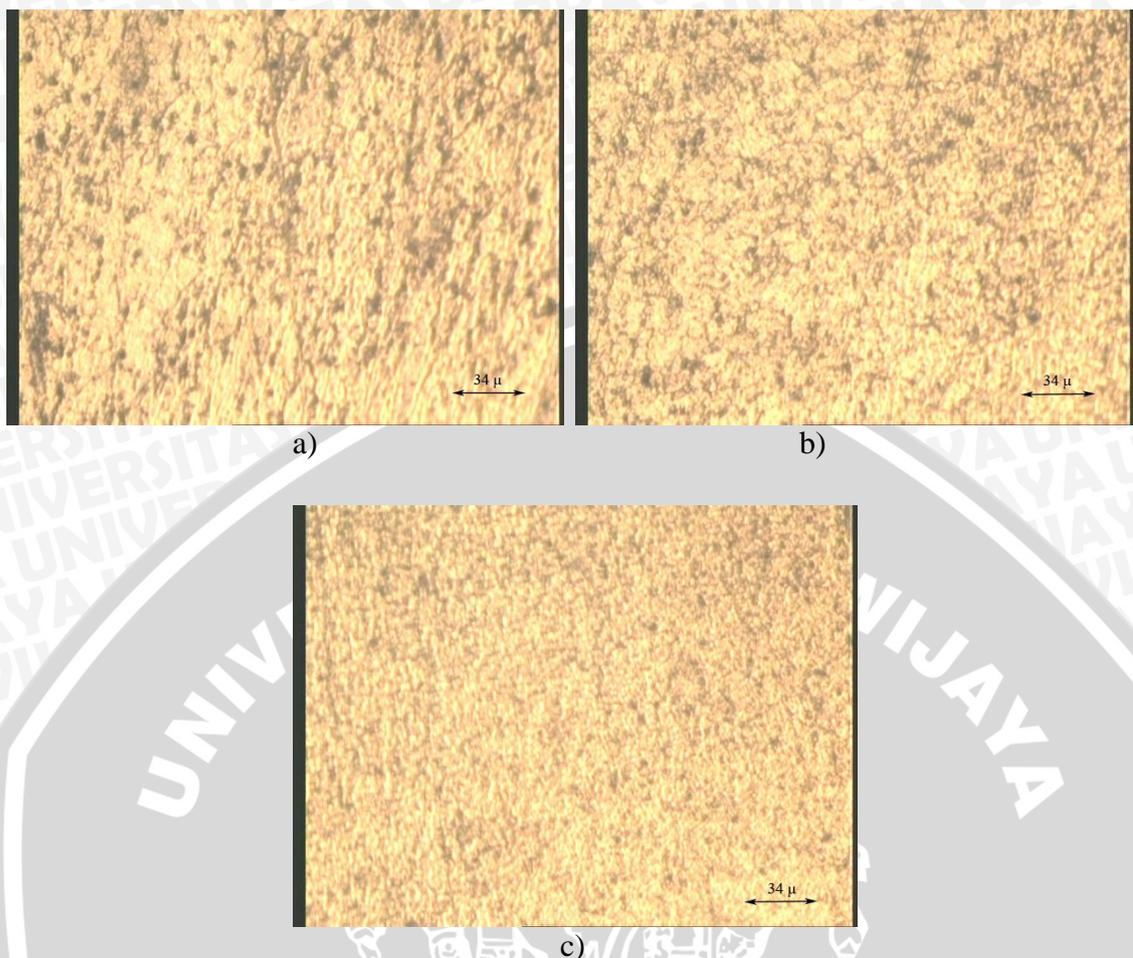
Titik	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VHN	56,2	59,9	64	65	70,3	69,6	68,3	65,3	58,3	55,7
Jarak (mm)	0	0,5	9,1	9,7	10,63	11,38	12,31	12,91	21,51	22,0



Gambar 4.7 Hubungan nilai kekerasan dengan jarak pada specimen dengan sudut *chamfer* 22,5°

Pada sudut 22,5° Pengaruh dari sudut *chamfer* pada sudut ini hampir sama dengan sudut 15°. Akan tetapi nilai kekerasan yang didapatkan pada Zpl lebih tinggi yaitu 70,3 VHN pada tabel 4.5. Hal ini disebabkan masukan panas awal yang lebih besar dari sudut 15° selain itu celah sudut *chamfer* juga lebih sempit sehingga hambatan dalam pengelasan juga lebih sedikit. Pengaruh pada struktur mikro juga hampir sama pada sudut 15° akan tetapi pada daerah las mempunyai ukuran yang lebih kecil pada pengelasan gesek dengan sudut *chamfer* 22,5°.





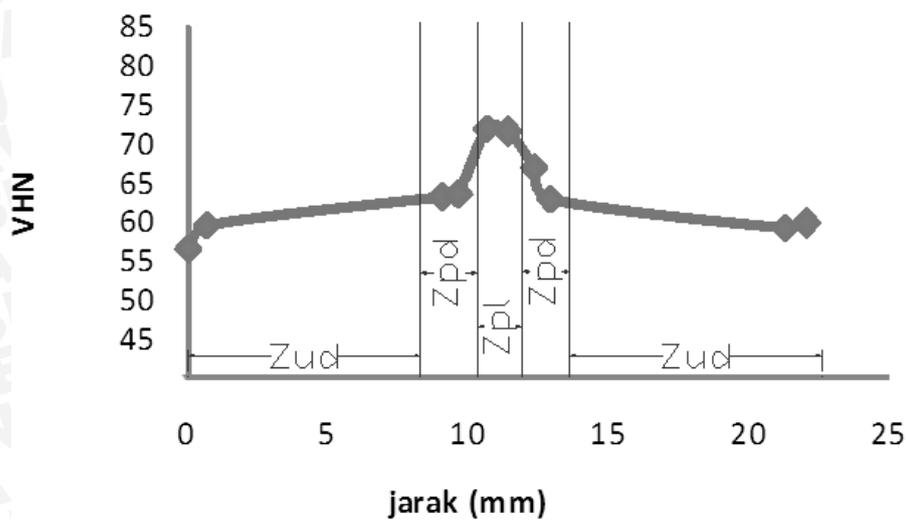
Gambar 4.8 Foto mikrostruktur pada pengelasan gesek dengan sudut *chamfer* 22,5°

- a) Foto mikrostruktur pengelasan gesek dengan sudut *chamfer* 22,5° pada daerah Zud
- b) Foto mikrostruktur pengelasan gesek dengan sudut *chamfer* 22,5° pada daerah Zpd
- c) Foto mikrostruktur pengelasan gesek dengan sudut *chamfer* 22,5° pada daerah Zpl

#### 4.3.4 Sudut *chamfer* 30°

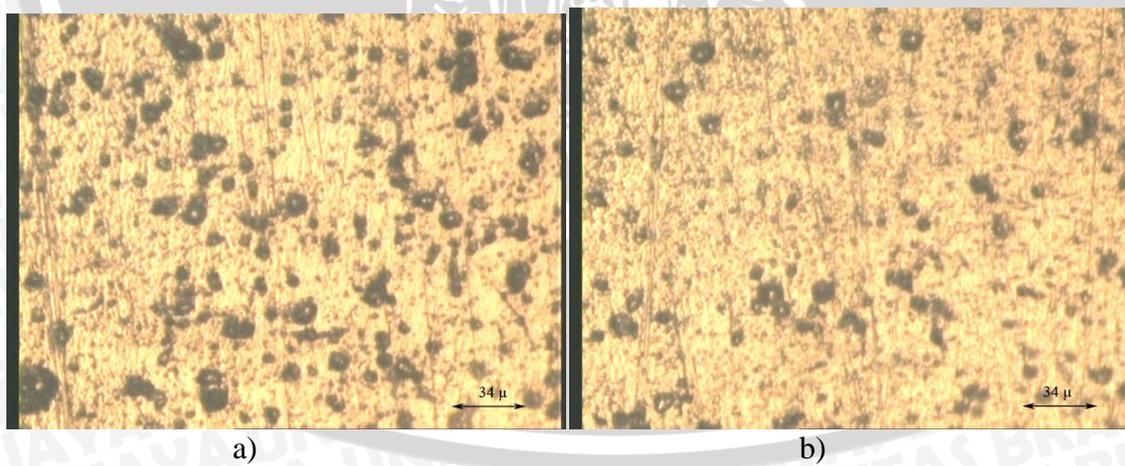
Tabel 4.6 Distribusi kekerasan pada sudut 30°

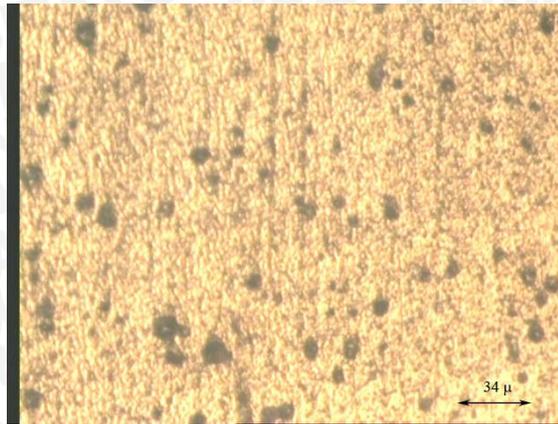
titik	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VHN	56,4	59,4	63,1	63,4	71,8	71,4	66,9	62,8	59,1	59,6
Jarak (mm)	0	0,7	9,1	9,7	10,65	11,4	12,35	12,95	21,35	22,05



Gambar 4.9 Hubungan nilai kekerasan dengan jarak pada specimen dengan sudut *chamfer* 30°

Pada sudut 30° kekerasan tertinggi terdapat pada daerah las yaitu dengan nilai 71,8 VHN pada tabel 4.6. Pengaruh dari sudut *chamfer* pada sudut ini hampir sama dengan sudut 15° dan 22.5° akan tetapi pengaruh dari masukan panas awal yang didapat lebih besar dan celah yang dihasilkan sudut *chamfer* lebih sempit sehingga nilai kekerasan pada daerah Zpl lebih tinggi pula. Hal ini juga berpengaruh pada struktur mikronya yang mana pengaruhnya hampir sama dengan sudut 30° yaitu struktur mikronya menjadi lebih kecil, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.10 dalam gambar tampak tanda lingkaran hitam yang merupakan tanda korosi saat pengetsaan.





c)

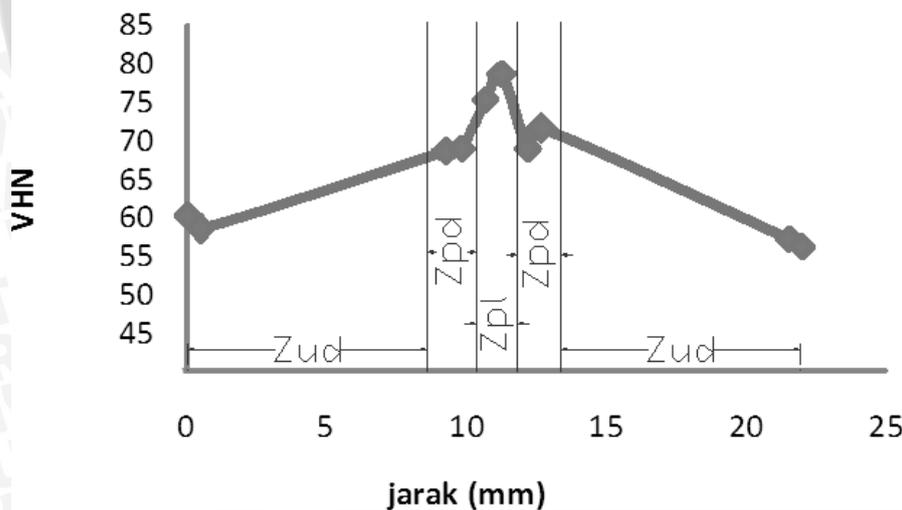
Gambar 4.10 Foto mikrostruktur pada pengelasan gesek dengan sudut *chamfer* 30°

- d) Foto mikrostruktur pengelasan gesek dengan sudut *chamfer* 30° pada daerah Zud
- e) Foto mikrostruktur pengelasan gesek dengan sudut *chamfer* 30° pada daerah Zpd
- f) Foto mikrostruktur pengelasan gesek dengan sudut *chamfer* 30° pada daerah Zpl

#### 4.3.5 Sudut *chamfer* 45°

Tabel 4.7 Distribusi kekerasan pada sudut 45°

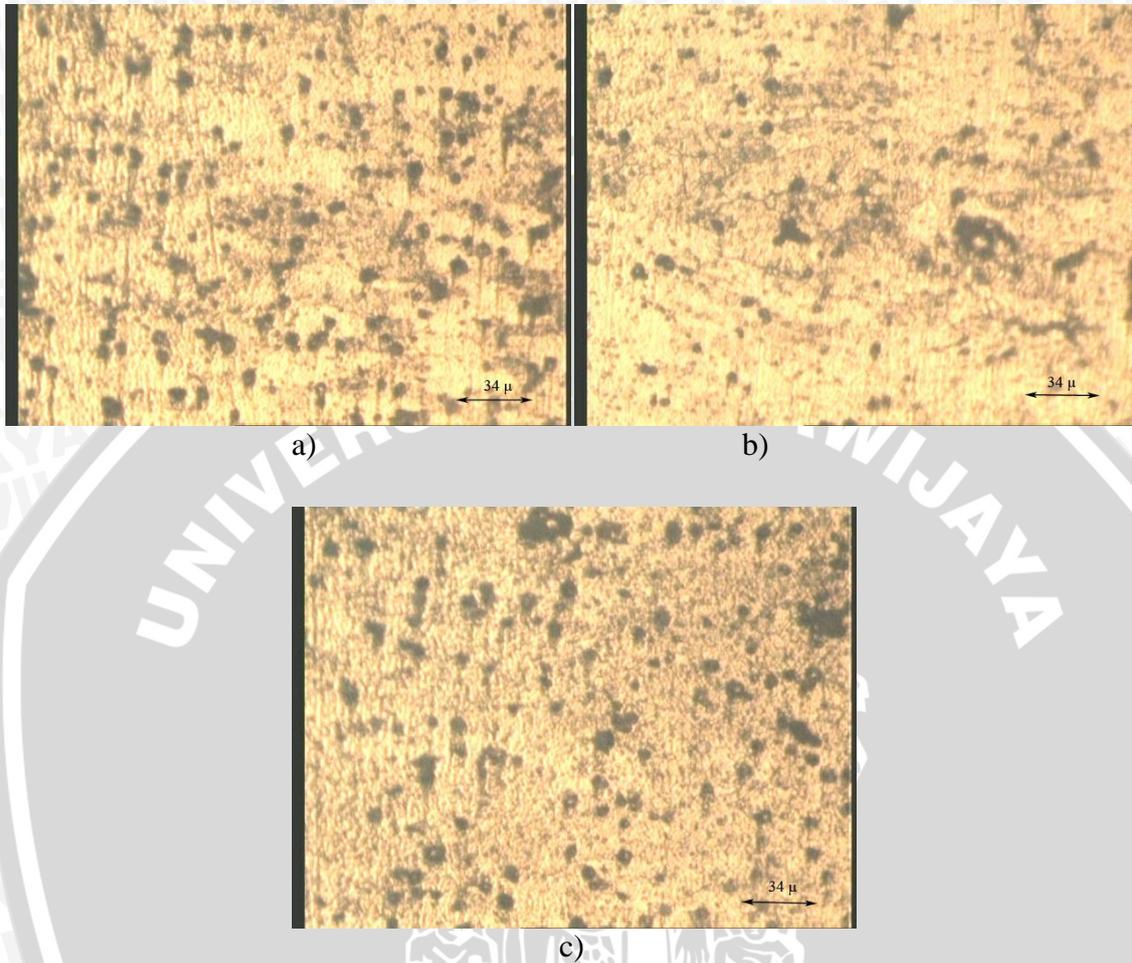
titik	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VHN	60,2	58,3	68,6	68,9	75,2	78,5	68,9	71,4	57,2	56,2
Jarak (mm)	0	0,5	9,3	9,8	10,7	11,3	12,2	12,7	21,5	22



Gambar 4.11 Hubungan nilai kekerasan dengan jarak pada specimen dengan sudut *chamfer* 45°

Pada sudut 45° kekerasan tertinggi terdapat pada daerah las dengan nilai 78,5 VHN pada tabel 4.7. Pengaruh dari sudut *chamfer* pada sudut ini hampir sama dengan sudut 15°, 22,5° dan 30° akan tetapi pengaruh dari masukan panas awal yang didapat lebih besar dan celah yang dihasilkan sudut *chamfer* lebih sempit sehingga nilai

kekerasan pada daerah Zpl lebih tinggi pula dan pada Gambar 4.12 dapat diamati bahwa struktur mikro yang dihasilkan lebih kecil.



Gambar 4.12 Foto mikrostruktur pada pengelasan gesek dengan sudut *chamfer* 45°

- d) Foto mikrostruktur pengelasan gesek dengan sudut *chamfer* 45° pada daerah Zud
- e) Foto mikrostruktur pengelasan gesek dengan sudut *chamfer* 45° pada daerah Zpd
- f) Foto mikrostruktur pengelasan gesek dengan sudut *chamfer* 45° pada daerah Zpl

Luasan daerah HAZ sudut 45° yaitu 40.88 mm<sup>2</sup> masih di bawah luasan daerah HAZ 0° yaitu 74.53 mm<sup>2</sup>. hal ini disebabkan oleh pengaruh sudut *chamfer* yang mengakibatkan kecepatan peningkatan panas pada daerah las sehingga pada daerah las terjadi panas yang lebih cepat tanpa harus dengan mempengaruhi daerah sekitar terlalu banyak karena daerah las terdorong keluar oleh tekanan yang diberikan oleh material pada saat penyambungan. Hal ini dapat kita lihat pada luasan daerah las yaitu 13.29 mm<sup>2</sup> dibanding dengan sudut di bawah 45° merupakan luasan daerah las yang paling kecil. Namun daerah las yang terdorong keluar tidak semua yang mana logam las tersebut terbentuk dari luasan kontak material yang telah diberi sudut *chamfer*, sehingga luasan kontak lebih sempit dibanding luasan tanpa sudut *chamfer*.

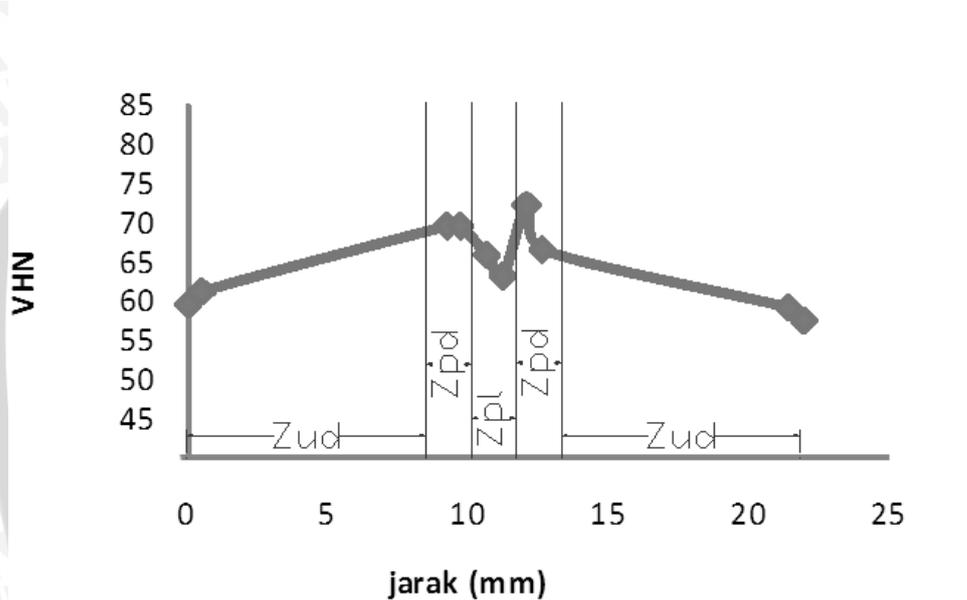
#### 4.3.6 Sudut *chamfer* 60° dan 75°

Tabel 4.8 Distribusi kekerasan pada sudut 60°

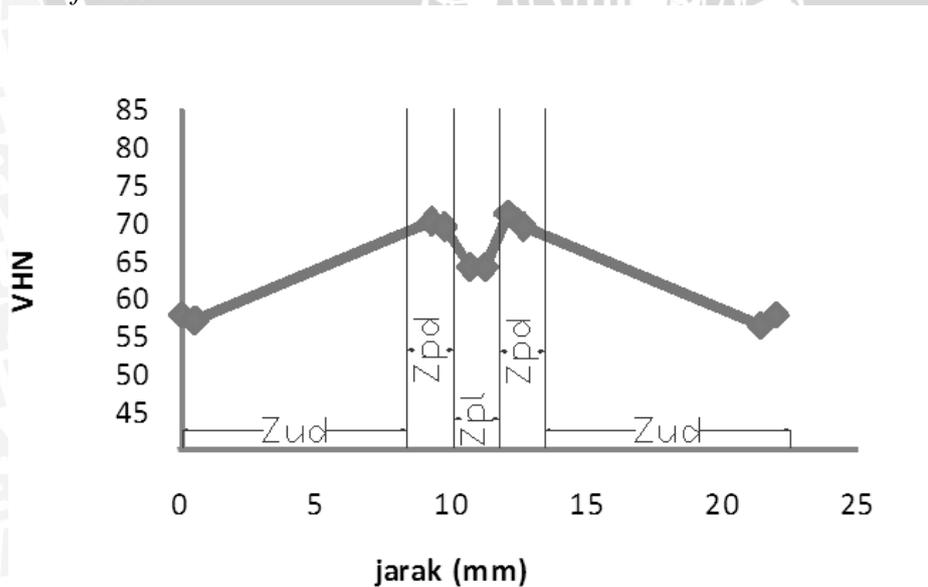
titik	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VHN	59,4	61,1	69,6	69,6	65,9	63,1	72,2	66,6	59,1	57,5
Jarak (mm)	0	0,55	9,25	9,75	10,65	11,25	12,15	12,65	21,45	22,0

Tabel 4.9 Distribusi kekerasan pada sudut 75°

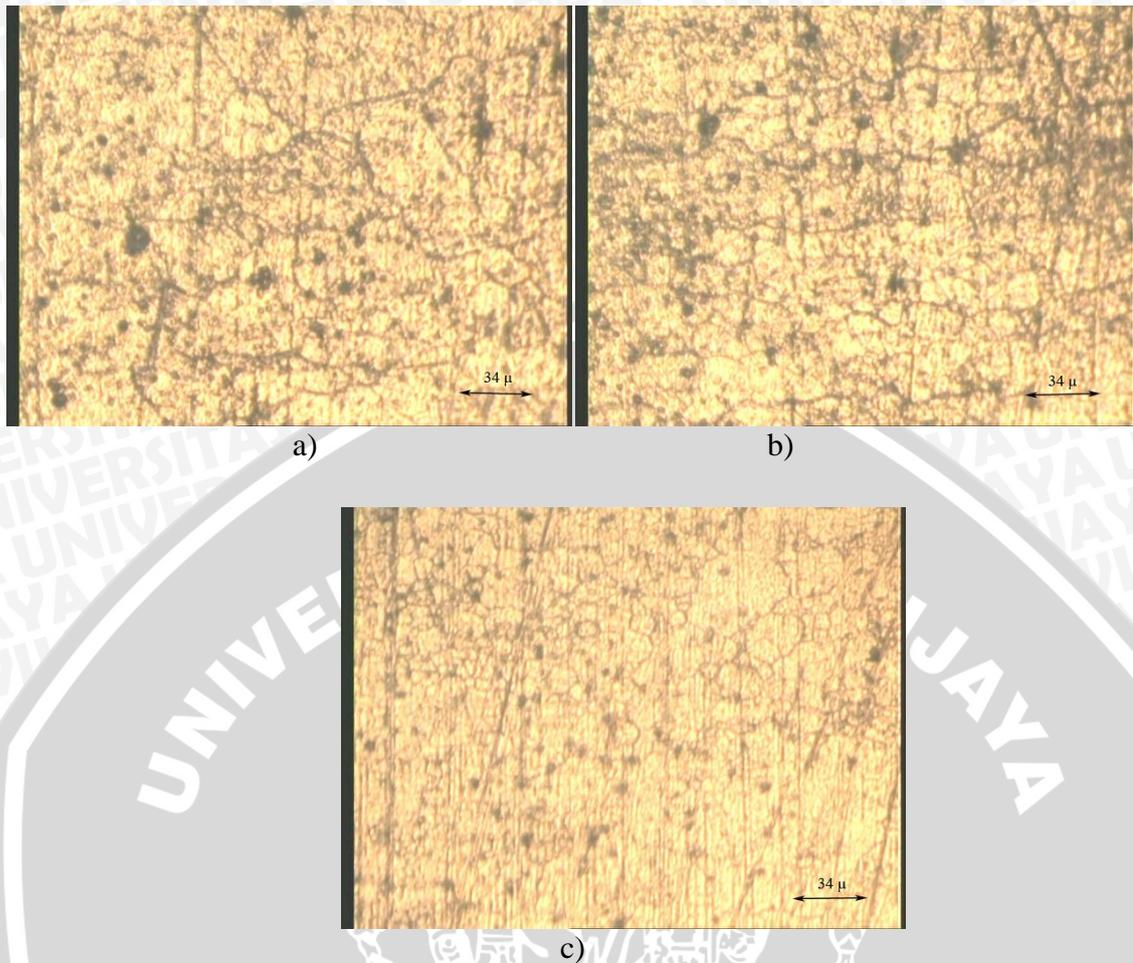
titik	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VHN	57,7	57	70	69,3	64	64	71,1	69,3	56,4	57,7
Jarak (mm)	0	0,55	9,25	9,75	10,65	11,25	12,15	12,65	21,45	22,0



Gambar 4.13 Hubungan nilai kekerasan dengan jarak pada specimen dengan sudut *chamfer* 60°

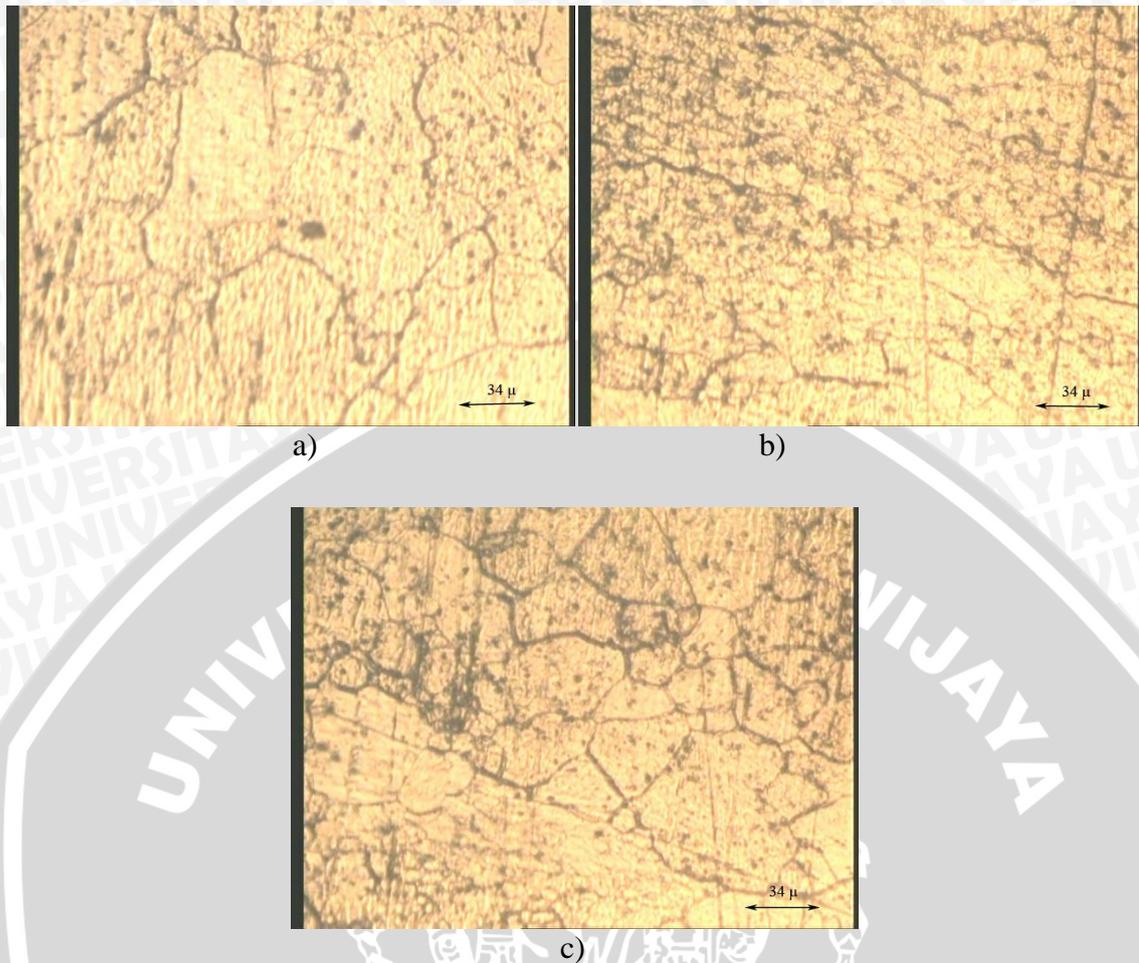


Gambar 4.14 Hubungan nilai kekerasan dengan jarak pada specimen dengan sudut *chamfer* 75°



Gambar 4.15 Foto mikrostruktur pada pengelasan gesek dengan sudut *chamfer* 60°  
 d) Foto mikrostruktur pengelasan gesek dengan sudut *chamfer* 60° pada daerah Zud  
 e) Foto mikrostruktur pengelasan gesek dengan sudut *chamfer* 60° pada daerah Zpd  
 f) Foto mikrostruktur pengelasan gesek dengan sudut *chamfer* 60° pada daerah Zpl

Pada sudut 60° dan 75° kekerasan tertinggi terdapat pada daerah HAZ kemudian daerah las dan daerah logam induk dapat dilihat pada Gambar 4.13 dan 4.14. Hal ini juga dapat diamati pada Gambar 4.15 dan 4.16 yang mana tidak terjadi keseragaman butiran pada daerah Zpl sehingga mengurangi kekerasan pada daerah tersebut. Hal ini disebabkan Kecepatan peningkatan panas yang lebih cepat akan membentuk logam las lebih awal. Yang mana logam las masih bersifat lumer sehingga dengan adanya tekanan yang diberikan logam las keluar membentuk *flash*. Karena logam las keluar semua atau kosong yang diakibatkan celah sudut *chamfer* yang lebih sempit. Dengan adanya tekanan material akan membentuk logam las yang baru dengan waktu gesekan yang tersedia lebih sedikit yang mengakibatkan luas daerah las sempit pada tabel 4.1.



Gambar 4.16 Foto mikrostruktur pada pengelasan gesek dengan sudut *chamfer* 75°

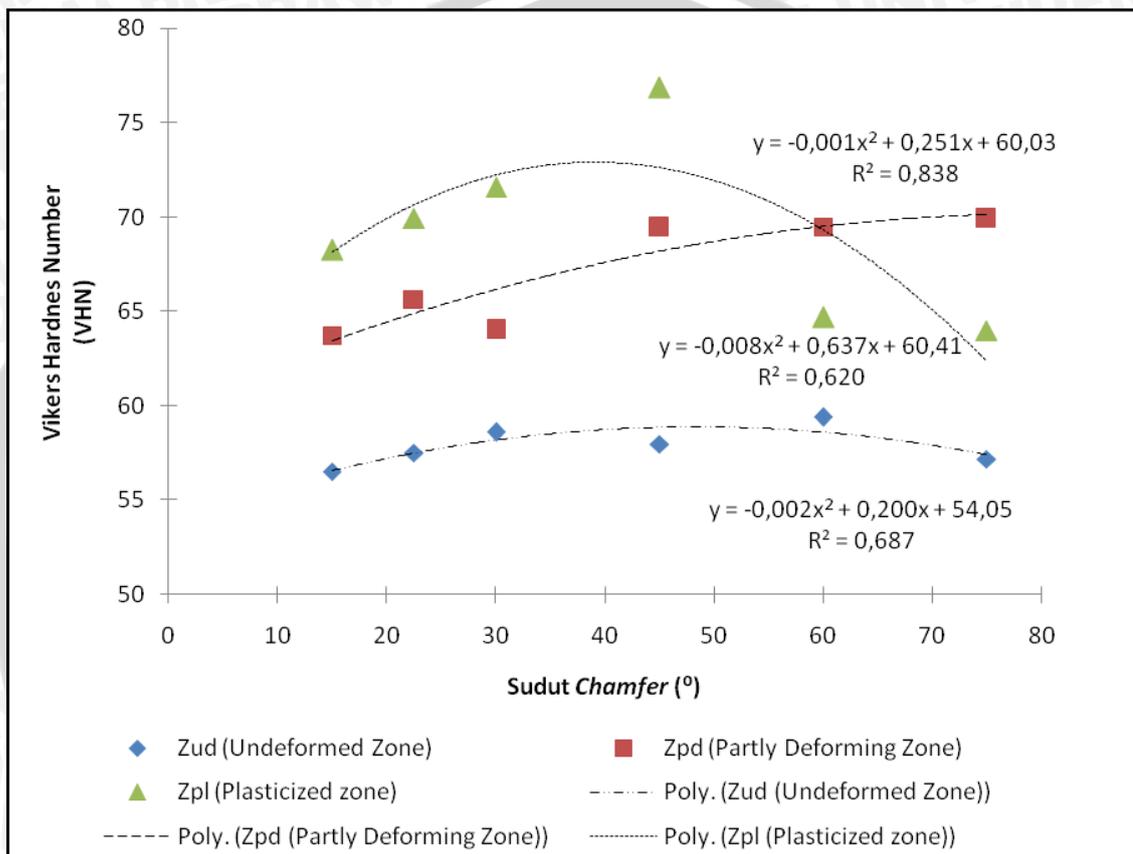
- a) Foto mikrostruktur pengelasan gesek dengan sudut *chamfer* 75° pada daerah Zud
- b) Foto mikrostruktur pengelasan gesek dengan sudut *chamfer* 75° pada daerah Zpd
- c) Foto mikrostruktur pengelasan gesek dengan sudut *chamfer* 75° pada daerah Zpl

Kekerasan tertinggi terdapat pada daerah HAZ dikarenakan kondisi pelarutan endapan  $Mg_2Si$  saat suhunya  $T_{max}$  dan terjadinya endapan kembali (*reprecipitation*) saat pendinginan. Hal ini menyebabkan profil kekerasan yang mana siklus pendinginan di daerah HAZ dekat logam las lebih tinggi daripada pendinginan pada bagian yang agak jauh dari logam las. Dengan  *Holding* selama 2 menit dengan suhu kamar akan mengakibatkan unsur Mg dan Si pada aluminium paduan akan terbentuk GP zone (Guinier Preston)  $Mg_2Si$  dan di daerah *fusion line* sehingga kekerasannya naik. Seperti penjelasan di atas pada sudut 60° dan 75° sebagian besar logam isi keluar menjadi *flash* oleh karena itu diduga sebagian besar endapan  $Mg_2Si$  terbawa keluar sehingga distribusi kekerasan Zpl pada sudut 60° dan 75° menjadi lebih rendah dari daerah Zpd.

#### 4.3.7 Hubungan sudut *Chamfer* terhadap sambungan las

Tabel 4.10 Distribusi kekerasan pada sambungan las

Sudut <i>chamfer</i> (°)	0	15	22.5	30	45	60	75
VHN Zpl	80	68.25	69.95	71.6	76.85	64.7	64
VHN Zpd	72.78	63.75	65.65	64.05	69.45	69.5	69.93
VHN Zud	58.73	56.53	57.53	58.63	57.98	59.4	57.2



Gambar 4.17 Hubungan sudut *Chamfer* terhadap sambungan las

*Fully plasticized zone* (Zpl) merupakan daerah yang terpengaruh panas penuh sehingga terjadi perubahan distribusi kekerasan pada daerah ini. Yang mana penghasil panas pada pengelasan gesek adalah gesekan yang terjadi pada kontak antara dua spesimen.

Mengacu pada gambar 4.17 yaitu nilai kekerasan akan seiring meningkat dengan penggunaan sudut *Chamfer* yang semakin besar. Hal ini dikarenakan pengaruh luasan kontak yang lebih besar membuat masukan awal panas semakin besar. Akan tetapi pada penggunaan sudut *chamfer* 60° nilai kekerasan mulai menurun pada daerah Zpl. Diduga hal ini disebabkan terdorongnya sebagian besar endapan Mg<sub>2</sub>Si terbawa keluar sehingga distribusi kekerasan Zpl pada sudut 60° dan 75° menurun.

Zpd merupakan daerah pada material yang telah dipengaruhi panas sehingga terjadi perubahan distribusi kekerasan pada daerah tersebut. Pada gambar 4.17 dapat kita lihat nilai kekerasan pada daerah Zpd meningkat seiring penggunaan sudut *chamfer*.

Zpd pada penelitian ini mempunyai nilai kekerasan yang tidak jauh berbeda karena panas yang diterima oleh daerah Zpd pada tiap pengelasan hampir sama. Hal ini disebabkan karena panas maksimal yang dapat dihasilkan pada pengelasan gesek sama walaupun dengan penggunaan sudut *chamfer*. Pada sudut  $15^\circ$ ,  $22.5^\circ$ , dan  $30^\circ$  memiliki kekerasan yang rendah. Hal ini disebabkan pemanasan awal yang dihasilkan dari luasan daerah kontak yang lebih sempit hanya cukup untuk melumerkan daerah kontak saja. Sehingga waktu yang diperoleh Zpd untuk dipengaruhi panas lebih pendek.

Pada penelitian ini luas Zpd yang dihasilkan berbeda-beda. Zpd dipengaruhi panas akan tetapi pada pengelasan ini luas daerah Zpd juga dipengaruhi oleh logam las yang terbentuk. Pada penelitian ini sebagian Zpl juga terbentuk dari Zpd sehingga mengurangi luas dari Zpd itu sendiri. Oleh karena itu penggunaan las gesek mempunyai Zpd yang lebih sempit dibanding pengelasan yang lain.

*Undeformed zone* (Zud) sendiri adalah logam yang tidak terpengaruh panas oleh karena itu pada gambar 4.17 tidak terlalu banyak terjadi perbedaan nilai distribusi kekerasan. Hal ini disebabkan oleh jarak yang terlalu jauh dengan sumber panas sehingga panas yang diterima tidak mampu untuk mengubah distribusi kekerasan pada daerah tersebut. Nilai distribusi kekerasan pada pengelasan gesek ini berkisar antara 56,53 VHN sampai 59,4 VHN.

## BAB V PENUTUP

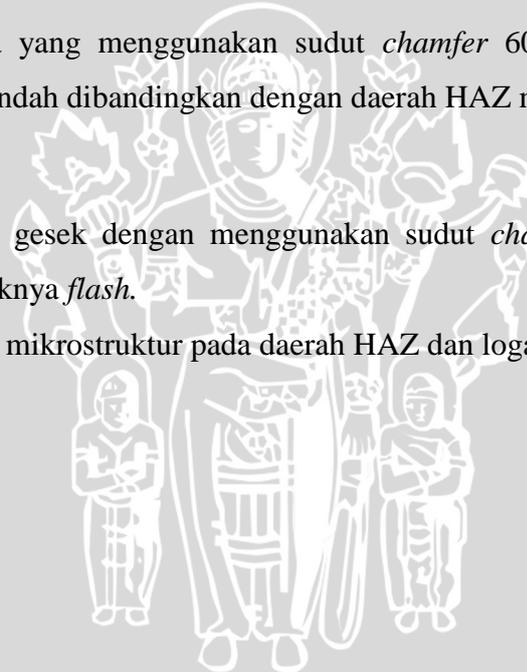
### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Penggunaan sudut *chamfer* pada sisi kontak benda kerja mempengaruhi distribusi kekerasan pada sambungan las gesek.
- Hasil luasan HAZ dan logam induk berbeda-beda yang disebabkan oleh pemakaian sudut *chamfer* yang berbeda-beda. Yang mana luasan daerah HAZ terbesar dimiliki pada benda kerja yang tanpa sudut *chamfer* yaitu  $74,53 \text{ mm}^2$ . Sedangkan untuk luasan daerah las terbesar terdapat pada benda kerja yang menggunakan sudut *chamfer*  $30^\circ$  yaitu  $39,78 \text{ mm}^2$ .
- Pada benda kerja yang menggunakan sudut *chamfer*  $60^\circ$  dan  $75^\circ$  memiliki kekerasan yang rendah dibandingkan dengan daerah HAZ masing-masing.

### 5.2 Saran

1. Dilakukan pengelasan gesek dengan menggunakan sudut *chamfer* variable waktu berdasar pada terbentuknya *flash*.
2. Dilakukan pengamatan mikrostruktur pada daerah HAZ dan logam las.



Lampiran 1 Foto Benda Kerja

a. Tanpa Chamfer atau Sudut Chamfer  $0^{\circ}$



Sebelum Proses Pengelasan



Setelah Proses Pengelasan



Sebelum pengujian



Setelah pengujian

b. Sudut Chamfer  $15^{\circ}$



Sebelum Proses Pengelasan



Setelah Proses Pengelasan



Sebelum pengujian



Setelah pengujian

c. Sudut Chamfer 22.5°



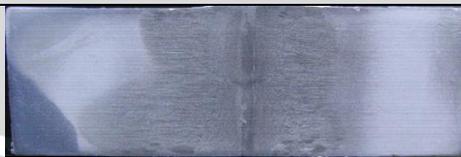
Sebelum Proses Pengelasan



Setelah Proses Pengelasan



Sebelum pengujian



Setelah pengujian

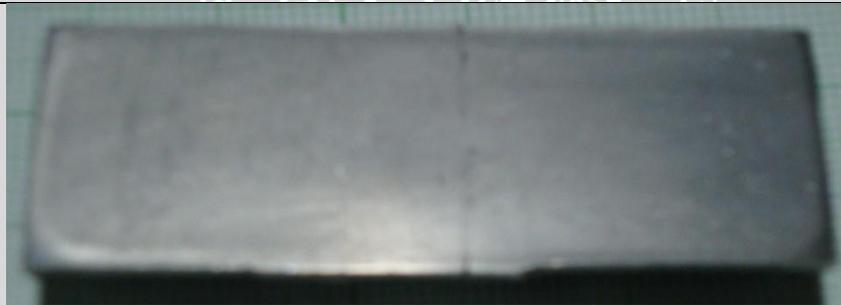
d. Sudut Chamfer 30°



Sebelum Proses Pengelasan



Setelah Proses Pengelasan



Sebelum pengujian

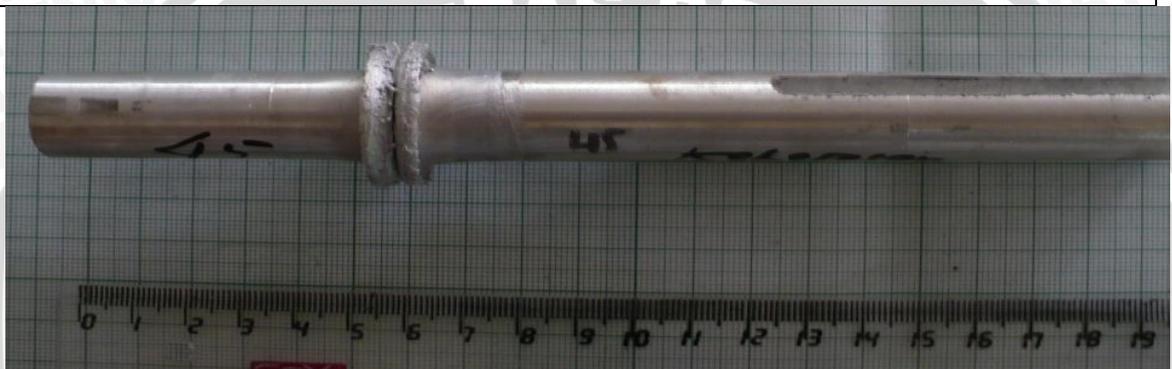


Setelah pengujian

e. Sudut Chamfer 45°



Sebelum Proses Pengelasan



Setelah Proses Pengelasan



Sebelum pengujian



Setelah pengujian

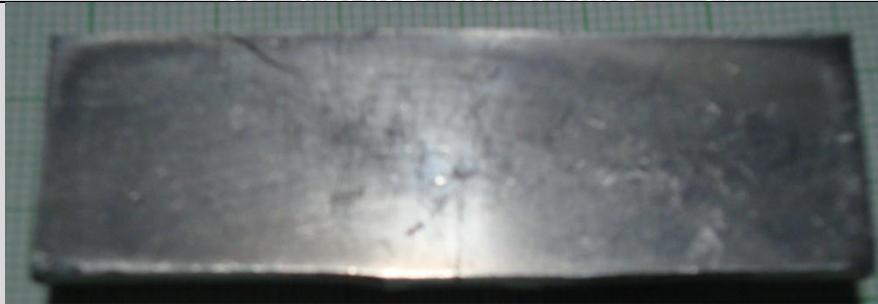
f. Sudut Chamfer 60°



Sebelum Proses Pengelasan



Setelah Proses Pengelasan



Sebelum pengujian

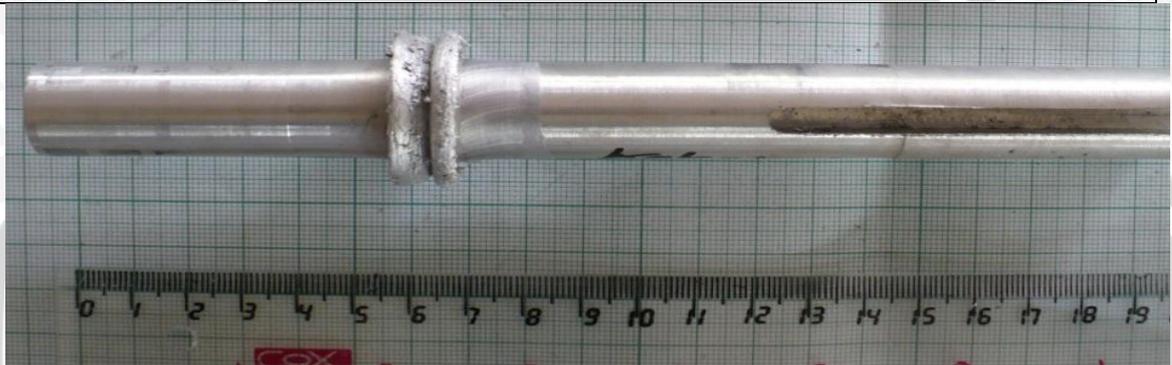


Setelah pengujian

g. Sudut Chamfer 75°



Sebelum Proses Pengelasan



Setelah Proses Pengelasan



Sebelum pengujian



Setelah pengujian

Lampiran 2  
Gambar alat bantu cekam

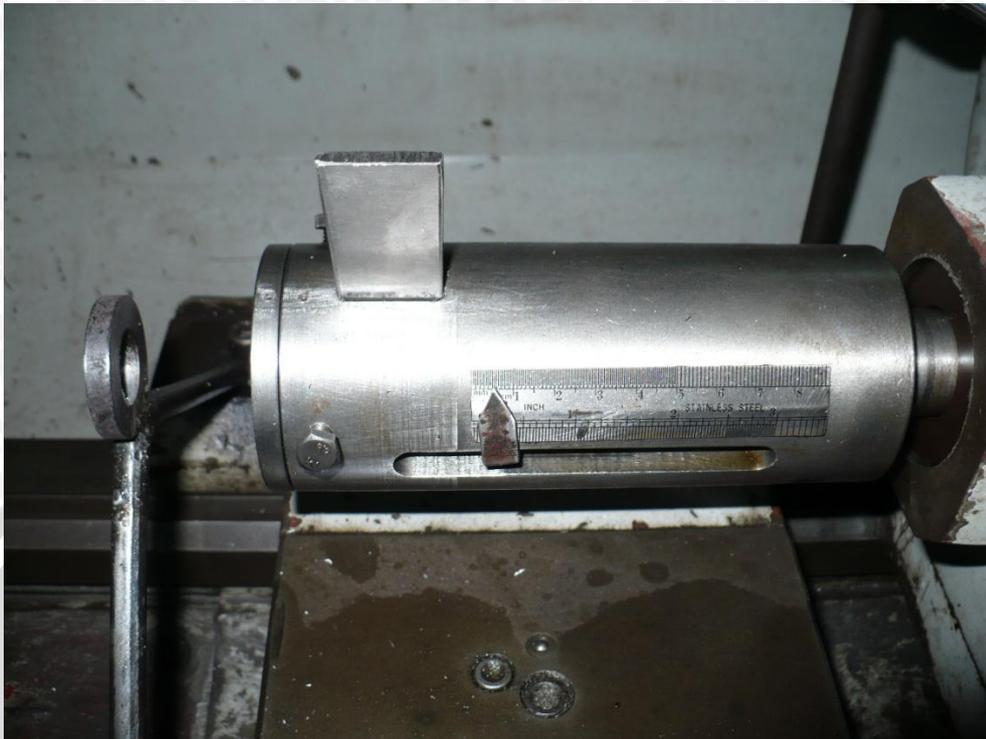


Foto alat bantu cekam



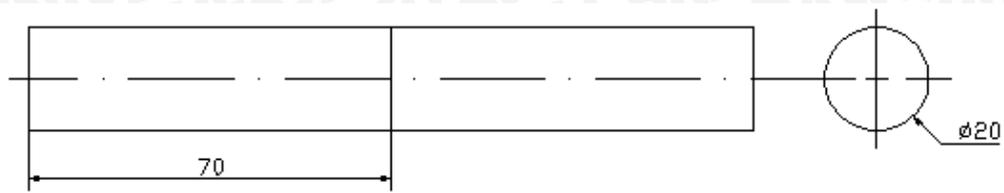
### Lampiran 3. Komposisi Kimia Paduan Aluminium AA6061

Elemen	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	Ni	Pb	Sn	Al
1)	0,43725	0,20875	0,09238	0,90732	0,19028	0,01362	0,03647	0,00812	0,02147	0,00423	97,3843
2)	0,43553	0,20935	0,09277	0,90777	0,18997	0,01352	0,03641	0,00789	0,02150	0,00433	97,3904
3)	0,43504	0,21077	0,09444	0,90935	0,19196	0,01361	0,03678	0,00895	0,02172	0,00418	97,3765
4)	0,43991	0,20956	0,09333	0,90732	0,19028	0,01362	0,03647	0,00812	0,02147	0,00423	97,3843
5)	0,43594	0,20956	0,09333	0,90732	0,19028	0,01362	0,03647	0,00812	0,02147	0,00423	97,3843
6)	0,43594	0,20956	0,09333	0,90732	0,19028	0,01362	0,03647	0,00812	0,02147	0,00423	97,3843
7)	0,43594	0,20956	0,09333	0,90732	0,19028	0,01362	0,03647	0,00812	0,02147	0,00423	97,3843
8)	0,43594	0,20956	0,09333	0,90732	0,19028	0,01362	0,03647	0,00812	0,02147	0,00423	97,3843
9)	0,43594	0,20956	0,09333	0,90732	0,19028	0,01362	0,03647	0,00812	0,02147	0,00423	97,3843
10)	0,43594	0,20956	0,09333	0,90732	0,19028	0,01362	0,03647	0,00812	0,02147	0,00423	97,3843
11)	0,43594	0,20956	0,09333	0,90732	0,19028	0,01362	0,03647	0,00812	0,02147	0,00423	97,3843
12)	0,43594	0,20956	0,09333	0,90732	0,19028	0,01362	0,03647	0,00812	0,02147	0,00423	97,3843

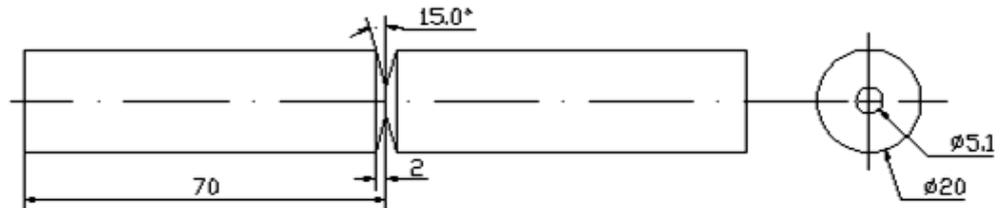
Hasil Uji Komposisi Menggunakan Spark Spectrometer

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

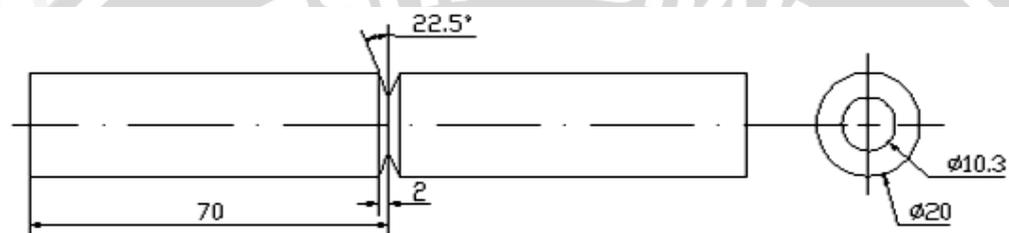
#### Lampiran 4 Gambar Benda Kerja



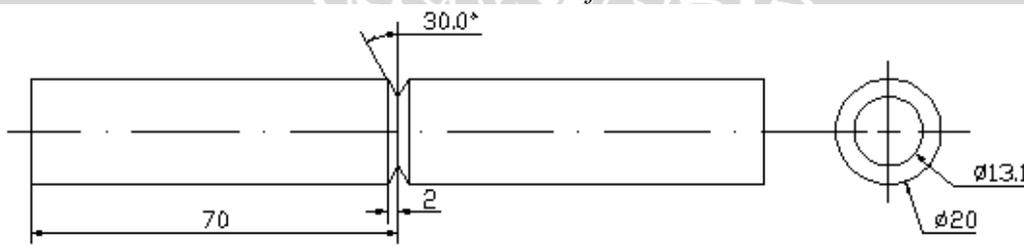
a. Sudut *chamfer*  $0^\circ$  (tanpa sudut *chamfer*)



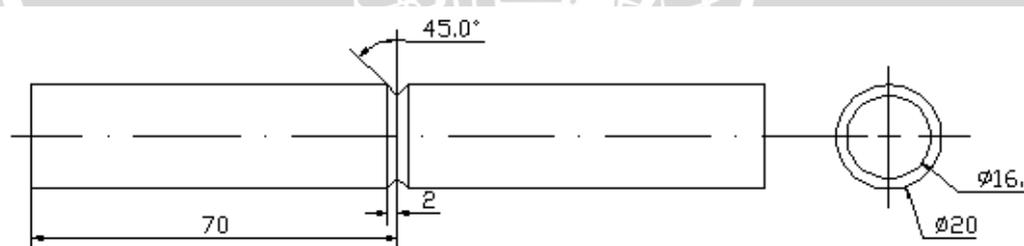
b. Sudut *chamfer*  $15^\circ$



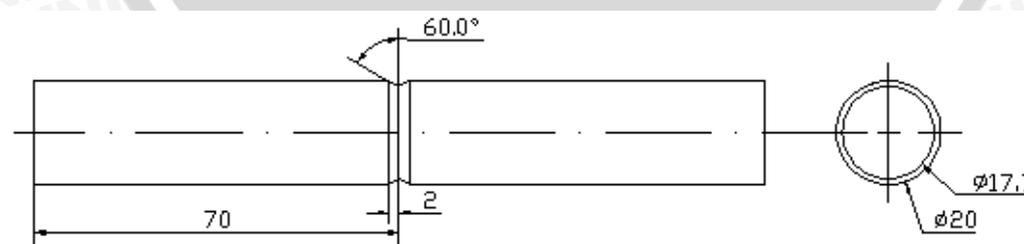
c. Sudut *chamfer*  $22.5^\circ$



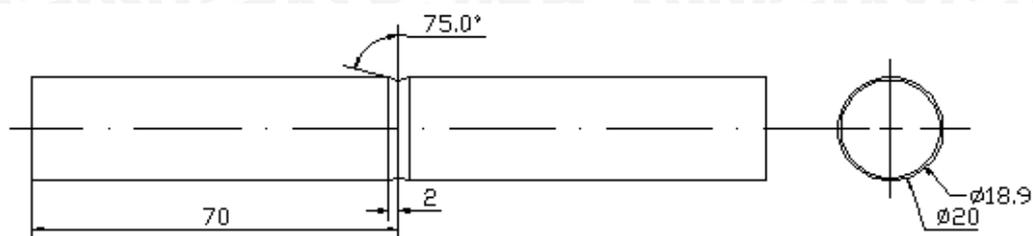
d. Sudut *chamfer*  $30^\circ$



e. Sudut *chamfer*  $45^\circ$



f. Sudut *chamfer*  $60^\circ$



g. Sudut *chamfer*  $75^\circ$



Lampiran 5 Tabel Kekerasan Vickers

Test load 0.4905N(0.050)  
Vickers Hardness Number

a	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
35.0	2240	2177	2117	2060	2004	1951	1900	1851	1804	1759
40.0	1715	1673	1632	1593	1555	1519	1484	1450	1417	1386
45.0	1355	1325	1297	1269	1242	1216	1191	1166	1143	1120
50.0	1098	1076	1055	1035	1015	996	977	959	941	924
55.0	907	891	875	860	845	830	816	802	788	775
60.0	762	750	737	725	714	702	691	680	670	660
65.0	649	640	630	620	611	602	593	585	576	568
70.0	560	552	544	537	529	522	515	508	501	494
75.0	488	481	475	469	463	457	451	445	440	434
80.0	429	423	418	413	408	403	398	394	389	384
85.0	380	375	371	367	363	358	354	350	346	343
90.0	339	335	331	328	324	321	317	314	311	307
95.0	304	301	298	295	292	289	286	283	280	277
100.0	274	272	269	266	264	261	259	256	254	251
105.0	249	247	244	242	240	237	235	233	231	229
110.0	227	225	223	221	219	217	215	213	211	209
115.0	207	206	204	202	200	199	197	195	194	192
120.0	191	189	187	186	184	183	181	180	178	177
125.0	176	174	173	171	170	169	167	166	165	164
130.0	162	161	160	159	157	156	155	154	153	152
135.0	151	149	148	147	146	145	144	143	142	141
140.0	140	139	138	137	136	135	134	133	132	131
145.0	131	130	129	128	127	126	125	124	124	123
150.0	122	121	120	120	119	118	117	116	116	115
155.0	114	113	113	112	111	111	110	109	109	108
160.0	107	107	106	105	105	104	103	103	102	101
165.0	101	100	99.6	99.0	98.4	97.8	97.2	96.6	96.1	95.5
170.0	94.9	94.4	93.8	93.3	92.7	92.2	91.7	91.2	90.6	90.1
175.0	89.6	89.1	88.6	88.1	87.6	87.1	86.6	86.1	85.6	85.2
180.0	84.7	84.2	83.8	83.3	82.8	82.4	81.9	81.5	81.0	80.6
185.0	80.2	79.7	79.3	78.9	78.5	78.0	77.6	77.2	76.8	76.4
190.0	76.0	75.6	75.2	74.8	74.4	74.0	73.7	73.3	72.9	72.5
195.0	72.2	71.8	71.4	71.1	70.7	70.3	70.0	69.6	69.3	68.9
200.0	68.6	68.3	67.9	67.6	67.2	66.9	66.6	66.3	65.9	65.6
205.0	65.3	65.0	64.7	64.3	64.0	63.7	63.4	63.1	62.8	62.5
210.0	62.2	61.9	61.6	61.3	61.1	60.8	60.5	60.2	59.9	59.6
215.0	59.4	59.1	58.8	58.5	58.3	58.0	57.7	57.5	57.2	57.0
220.0	56.7	56.4	56.2	55.9	55.7	55.4	55.2	54.9	54.7	54.4
225.0	54.2	54.0	53.7	53.5	53.2	53.0	52.8	52.6	52.3	52.1
230.0	51.9	51.6	51.4	51.2	51.0	50.8	50.5	50.3	50.1	49.9
235.0	49.7	49.5	49.3	49.1	48.9	48.6	48.4	48.2	48.0	47.8
240.0	47.6	47.4	47.2	47.0	46.9	46.7	46.5	46.3	46.1	45.9
245.0	45.7	45.5	45.3	45.2	45.0	44.8	44.6	44.4	44.3	44.1
250.0	43.9	43.7	43.6	43.4	43.2	43.0	42.9	42.7	42.5	42.4
255.0	42.2	42.0	41.9	41.7	41.5	41.4	41.2	41.1	40.9	40.7



Test load 0.4905N(0.050)

Vickers Hardness Number

a	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
260.0	40.6	40.4	40.3	40.1	40.0	39.8	39.7	39.5	39.4	39.2
265.0	39.1	38.9	38.8	38.6	38.5	38.3	38.2	38.1	37.9	37.8
270.0	37.6	37.5	37.4	37.2	37.1	37.0	36.8	36.7	36.5	36.4
275.0	36.3	36.2	36.0	35.9	35.8	35.6	35.5	35.4	35.2	35.1
280.0	35.0	34.9	34.7	34.6	34.5	34.4	34.3	34.1	34.0	33.9
285.0	33.8	33.7	33.5	33.4	33.3	33.2	33.1	33.0	32.9	32.7
290.0	32.6	32.5	32.4	32.3	32.2	32.1	32.0	31.9	31.7	31.6
295.0	31.5	31.4	31.3	31.2	31.1	31.0	30.9	30.8	30.7	30.6
300.0	30.5	30.4	30.3	30.2	30.1	30.0	29.9	29.8	29.7	29.6
305.0	29.5	29.4	29.3	29.2	29.1	29.0	28.9	28.8	28.7	28.6
310.0	28.6	28.5	28.4	28.3	28.2	28.1	28.0	27.9	27.8	27.7
315.0	27.7	27.6	27.5	27.4	27.3	27.2	27.1	27.0	27.0	26.9
320.0	26.8	26.7	26.6	26.5	26.5	26.4	26.3	26.2	26.1	26.1
325.0	26.0	25.9	25.8	25.7	25.7	25.6	25.5	25.4	25.3	25.3
330.0	25.2	25.1	25.0	25.0	24.9	24.8	24.7	24.7	24.6	24.5
335.0	24.4	24.4	24.3	24.2	24.2	24.1	24.0	23.9	23.9	23.8
340.0	23.7	23.7	23.6	23.5	23.5	23.4	23.3	23.3	23.2	23.1
345.0	23.1	23.0	22.9	22.9	22.8	22.7	22.7	22.6	22.5	22.5
350.0	22.4	22.3	22.3	22.2	22.1	22.1	22.0	22.0	21.9	21.8
355.0	21.8	21.7	21.7	21.6	21.5	21.5	21.4	21.3	21.3	21.2
360.0	21.2	21.1	21.1	21.0	20.9	20.9	20.8	20.8	20.7	20.7
365.0	20.6	20.5	20.5	20.4	20.4	20.3	20.3	20.2	20.2	20.1
370.0	20.0	20.0	19.9	19.9	19.8	19.8	19.7	19.7	19.6	19.6
375.0	19.5	19.5	19.4	19.4	19.3	19.3	19.2	19.2	19.1	19.1
380.0	19.0	19.0	18.9	18.9	18.8	18.8	18.7	18.7	18.6	18.6
385.0	18.5	18.5	18.4	18.4	18.3	18.3	18.2	18.2	18.1	18.1
390.0	18.0	18.0	17.9	17.9	17.9	17.8	17.8	17.7	17.7	17.6
395.0	17.6	17.5	17.5	17.5	17.4	17.4	17.3	17.3	17.2	17.2
400.0	17.1	17.1	17.1	17.0	17.0	16.9	16.9	16.9	16.8	16.8
405.0	16.7	16.7	16.6	16.6	16.6	16.5	16.5	16.4	16.4	16.4
410.0	16.3	16.3	16.2	16.2	16.2	16.1	16.1	16.0	16.0	16.0
415.0	15.9	15.9	15.9	15.8	15.8	15.7	15.7	15.7	15.6	15.6
420.0	15.6	15.5	15.5	15.4	15.4	15.4	15.3	15.3	15.3	15.2
425.0	15.2	15.2	15.1	15.1	15.0	15.0	15.0	14.9	14.9	14.9
430.0	14.8	14.8	14.8	14.7	14.7	14.7	14.6	14.6	14.6	14.5
435.0	14.5	14.5	14.4	14.4	14.4	14.3	14.3	14.3	14.2	14.2
440.0	14.2	14.1	14.1	14.1	14.0	14.0	14.0	14.0	13.9	13.9
445.0	13.9	13.8	13.8	13.8	13.7	13.7	13.7	13.6	13.6	13.6
450.0	13.5	13.5	13.5	13.5	13.4	13.4	13.4	13.3	13.3	13.3
455.0	13.3	13.2	13.2	13.2	13.1	13.1	13.1	13.1	13.0	13.0
460.0	13.0	12.9	12.9	12.9	12.9	12.8	12.8	12.8	12.7	12.7
465.0	12.7	12.7	12.6	12.6	12.6	12.6	12.5	12.5	12.5	12.4
470.0	12.4	12.4	12.4	12.3	12.3	12.3	12.3	12.2	12.2	12.2
475.0	12.2	12.1	12.1	12.1	12.1	12.0	12.0	12.0	12.0	11.9
480.0	11.9	11.9	11.9	11.8	11.8	11.8	11.8	11.7	11.7	11.7



Test load 0.4905N(0.050)

Vickers Hardness Number

a	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
485.0	11.7	11.6	11.6	11.6	11.6	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5
490.0	11.4	11.4	11.4	11.4	11.3	11.3	11.3	11.3	11.2	11.2
495.0	11.2	11.2	11.2	11.1	11.1	11.1	11.1	11.0	11.0	11.0
500.0	11.0	11.0	10.9	10.9	10.9	10.9	10.8	10.8	10.8	10.8
505.0	10.8	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.6	10.6	10.6	10.6
510.0	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4
515.0	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2
520.0	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.0	10.0	10.0	10.0



**Lampiran 6. Foto Alat yang Digunakan**



**Mesin Bubut**



**Mesin Uji Kekerasan Mikro Vickers  
Merk Mitutoyo MVK E3**



**Gergaji Tangan**



**Mistar Sorong**



**Mesin Penggosok Spesimen  
Merk Struers Labo Pol-21**



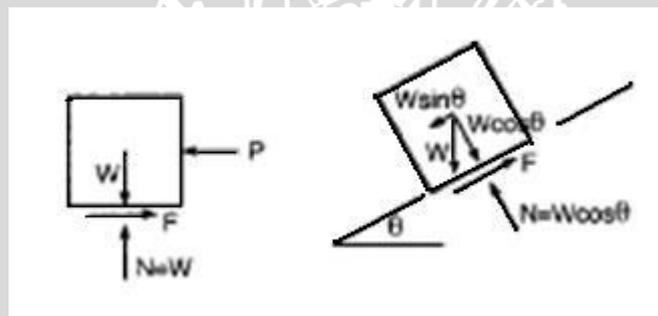
**Kamera Digital**

## Lampiran 7

### Perhitungan Koefisien Gesek Permukaan Kontak Aluminium yang Digunakan

Langkah-langkah perhitungan

1. Melakukan penghalusan permukaan specimen uji koefisien gesek dengan mesin bubut dengan kecepatan 1600 rpm (sama dengan penghalusan pada specimen pengelasan gesek)
2. Membuat landasan berbentuk persegi panjang dengan penghalusan permukaan dan material yang digunakan sama dengan perlakuan yang dilakukan pada saat pengelasan gesek.
3. Menimbang specimen uji koefisien gesek.
4. Melakukan uji koefisien gesek.
5. Menimbang berat yang diberikan pada saat uji koefisien gesek (berat pada saat gaya gesek bekerja).
6. Melakukan perhitungan koefisien gesek.



Gambar 1.1 koefisien gesek

Sumber : mechanical engineering handbook 2005

$$F_s = \mu \times N \text{ (mechanical engineering handbook 2005,1-23)}$$

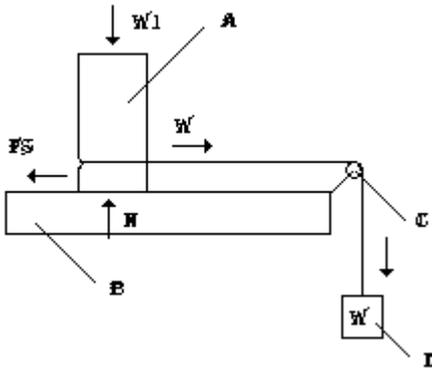
1.1

Keterangan :  $F_s$  : gaya gesek ( N )

$\mu$  : koefisien gesek

$N$  : gaya normal ( N )

## Skema Koefisien Gesek



keterangan A: spesimen uji koefisien gesek

B : landasan spesimen uji

C : roda

D : keranjang tempat beban

Gambar 1.2 skema koefisien gesek

## Tabel Hasil Uji Koefisien Gesek

no	w1	w
1	16,43	7,13
2	16,43	6,60
3	16,43	6,63
4	16,43	6,92
5	16,43	7,02
6	16,43	6,86
7	16,43	7,21
8	16,43	6,72
9	16,43	6,75
10	16,43	6,84

$$\sum w = 68,68 \text{ gram}$$

$$W_{\text{rata-rata}} = \frac{68,68}{10}$$

$$= 6,87 \text{ gram}$$

### Perhitungan Koefisin Gesek

$$\text{Karena } W_1 \times 9,8 \text{ m/s}^2 = N$$

$$\begin{aligned} \text{Maka } N &= \frac{16,43 \text{ gram} \times 9,8 \text{ m/s}^2}{1000} \\ &= 0,16 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\text{Karena } W \times 9,8 \text{ m/s}^2 = F_s$$

$$\begin{aligned} \text{Maka } F_s &= 6,87 \text{ gram} \frac{9,8 \text{ m/s}^2}{1000} \\ &= 0,067 \text{ N} \end{aligned}$$

$$F_s = \mu \times N$$

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{F_s}{N} \\ &= \frac{0,067 \text{ N}}{0,16 \text{ N}} \\ &= 0,42 \end{aligned}$$

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

