

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sektor industri yang semakin berkembang saat ini, mulai berfikir untuk menggunakan aluminium sebagai salah satu bahan produksi. Karena penggunaan aluminium sebagai bahan utama produksi memiliki keuntungan tersendiri, karena aluminium merupakan logam ringan namun memiliki kekuatan, ketahanan terhadap korosi, dan juga sebagai penghantar listrik dan panas yang cukup baik dan mudah dalam pembentukan.

Karena perkembangan industri aluminium sangat pesat, berbagai proses dilakukan untuk meningkatkan daya guna dari aluminium. Proses penyambungan dengan pengelasan adalah salah satunya. Namun pada perkembangannya, proses penyambungan dengan pengelasan masih memiliki beberapa permasalahan. Hal ini dikarenakan bahan aluminium mempunyai sifat yang kurang baik dalam memenuhi persyaratan proses penyambungan dengan pengelasan. Oleh karena itu akhirnya dikembangkan metode pengelasan gesek (*friction welding*) dimana metode ini sedang banyak digunakan, pada aluminium khususnya.

Friction welding atau disebut juga pengelasan gesek merupakan suatu proses penyambungan dua buah logam yang memanfaatkan energi panas yang ditimbulkan oleh gesekan antara permukaan kedua buah logam dimana salah satu logam tersebut diberi gaya tekan sedangkan logam yang lain berputar.

Friction welding memiliki beberapa kelebihan jika dibanding dengan proses-proses pengelasan yang lainnya, yaitu : tidak perlu menggunakan fluks, tidak perlu adanya pengisi atau elektroda ataupun gas pada proses pengelasannya, tidak pula menghasilkan percikan api las yang membuat mata sakit ataupun asap hasil pengelasan, juga dapat menyambungkan dua buah logam yang berbeda dengan metode yang lebih mudah dan efisien sehingga berdampak pada biaya yang lebih ringan.

Ardhiyanto (2010), dalam penelitiannya pada pengelasan gesek paduan Al-Mg-Si menyimpulkan bahwa dengan adanya penggunaan variasi *friction time* dapat mempengaruhi nilai kekuatan tarik pada sambungan las gesek tersebut, dimana kekuatan

tarik rata – rata yang tertinggi terletak pada variasi *friction time* 60 detik dimana nilai kekuatan tarik tersebut sebesar $136,9 \text{ N/mm}^2$ dan nilai kekuatan tarik yang terendah terletak pada variasi *friction time* 180 detik yang memiliki nilai sebesar $74,7 \text{ N/mm}^2$. Dan hasil foto makrostruktur menunjukkan bahwa nilai kekuatan tarik tersebut dipengaruhi oleh luasan zona panas atau *HAZ (Heat Affected Zone)* dari masing masing hasil pengelasan, luasan zpl, dan porositas sambungan las tersebut.

Santoso, dkk (2012), penelitian yang juga meneliti tentang pengelasan gesek untuk mengetahui besarnya nilai kekuatan tarik dengan memberikan variasi sudut chamfer dan juga variasi gaya tekan akhir tersebut menghasilkan kesimpulan bahwa nilai kekuatan tarik sambungan las gesek akan meningkat ketika semakin kecil sudut *chamfer* kontak pengelasan dan semakin besarnya gaya tekan akhirnya dan juga porositasnya menurun dengan semakin bertambah besar sudut *chamfer* dan gaya tekan akhirnya.

Irawan, dkk (2012), pada penelitiannya yaitu pengelasan gesek pada Al-Mg-Si didapat hasil bahwa nilai kekuatan tarik pada paduan Al-Mg-Si dengan menggunakan variasi sudut chamfer dan menetapkan gaya penekanan awal sebesar 123 kgf dan gaya penekanan akhir sebesar 157 kgf didapat nilai kekuatan tarik sambungan las terbesar pada spesimen yang menggunakan sudut chamfer 30° dan pada hasil mikrostruktur, nilai kekuatan tarik tertinggi yang dimiliki spesimen tersebut dikarenakan luas zona *plastis* yang besar, porositas yang kecil dan luas daerah yang terkena dampak panas sedikit pada spesimen tersebut.

Dalam penelitian ini, dengan menggunakan material aluminium paduan Al-Mg-Si yang memiliki ketahanan korosi dan sifat mampu las yang baik. Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan masih belum diketahui pengaruh *friction time* dan sudut *chamfer* satu sisi terhadap kekuatan tarik dan porositas pada sambungan las. Oleh karena itu masih perlu dilakukan penelitian tentang bagaimana jika dengan adanya pengaruh variasi *friction time* dan menggunakan kontak *chamfer* satu sisi terhadap kekuatan tarik sambungan las pada paduan Al-Mg-Si.

1.2. Rumusan Masalah

Dengan adanya uraian latar belakang tersebut, maka dapat dirumuskan permasalahan yang akan diteliti pada penelitian ini yaitu : Pengaruh variasi *friction time*

menggunakan tinggi *chamfer* 2 mm pada sambungan las gesek Al-Mg-Si terhadap kekuatan tarik.

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut :

1. *Friction welding* yang digunakan adalah *linier friction welding*
2. Pengelasan dilakukan dengan dua buah material atau logam yang sama
3. Material yang digunakan adalah logam paduan Al-Mg-Si
4. Tinggi *chamfer* yang digunakan adalah 0 mm, dan 2 mm.
5. Kecepatan putaran *spindle* yang digunakan yaitu sebesar 1600 rpm.
6. Gaya penekanan awal pengelasan 150 kgf.
7. Gaya penekanan akhir pengelasan 200 kgf.
8. *Friction time* yang digunakan 40 detik, 45 detik, 50 detik, 55 detik, dan 60 detik.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini, adalah untuk mengetahui pengaruh *friction time* dengan menggunakan *chamfer* satu sisi terhadap nilai kekuatan tarik pada sambungan hasil las gesek Al-Mg-Si.

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat-manfaat sebagai berikut :

1. Sebagai tempat pengaplikasian ilmu-ilmu yang didapat selama proses pembelajaran pada perkuliahan, khususnya teori-teori yang berhubungan dengan pengelasan logam.
2. Membantu memecahkan permasalahan-permasalahan yang sering dihadapi dalam pengelasan terutama tentang pengelasan aluminium dan paduannya.
3. Sebagai salah satu jalan pengembangan pengetahuan dan teknologi yang semakin pesat perkembangannya.
4. Sebagai salah satu bentuk ikut serta berperan dalam hal penelitian di dunia industri untuk masalah pengembangan proses pengelasan gesek.
5. Sebagai dasar acuan untuk penelitian lanjut tentang teknologi pengelasan gesek ataupun hal hal yang berkaitan tentang penelitian saat ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Ardhiyanto (2010), dalam penelitiannya pada pengelasan gesek paduan Al-Mg-Si menyimpulkan bahwa dengan adanya penggunaan variasi *friction time* akan mempengaruhi nilai kekuatan tarik sambungan las gesek tersebut, dimana kekuatan tarik rata – rata yang tertinggi terletak pada variasi *friction time* 60 detik dimana hasil nilai kekuatan tarik $136,92 \text{ N/mm}^2$ dan nilai kekuatan tarik yang terendah terletak pada variasi *friction time* 180 detik dengan nilainya sebesar $74,74 \text{ N/mm}^2$. Dan hasil foto makrostruktur menunjukkan bahwa nilai kekuatan tarik tersebut dipengaruhi oleh luasan zona panas atau *HAZ (Heat Affected Zone)* dari masing masing hasil pengelasan, luasan zpl, dan porositas sambungan las tersebut.

Santoso, dkk (2012), penelitian yang juga meneliti tentang pengelasan gesek untuk mengetahui besarnya nilai kekuatan tarik dengan memberikan variasi sudut chamfer dan juga variasi gaya tekan akhir tersebut menghasilkan kesimpulan bahwa nilai kekuatan tarik sambungan las gesek akan meningkat ketika semakin kecil sudut *chamfer* dan semakin besar gaya tekan akhirnya dan juga porositasnya menurun dengan semakin bertambah besar sudut *chamfer* dan gaya tekan akhirnya.

Irawan, dkk (2012), pada penelitiannya yaitu pengelasan gesek pada Al-Mg-Si didapat hasil bahwa nilai kekuatan tarik pada paduan Al-Mg-Si menggunakan variasi sudut *chamfer* dan menetapkan gaya penekanan awal sebesar 123 kgf dan gaya penekanan akhir sebesar 157 kgf didapat nilai kekuatan tarik sambungan las terbesar pada spesimen yang menggunakan sudut chamfer 30° dan pada hasil mikrostruktur, nilai kekuatan tarik tertinggi yang dimiliki spesimen tersebut dikarenakan luas zona *plastis* yang besar, porositas yang kecil dan luas daerah yang terkena dampak panas sedikit pada spesimen tersebut.

2.2 Aluminium

Aluminium merupakan suatu logam ringan penghantar panas dan listrik yang baik, dan juga memiliki ketahanan korosi yang baik dan sifat – sifat yang cukup baik lainnya sebagai sifat logam. Aluminium dapat ditambahkan dan menjadi paduan dengan

penambahan dengan logam lain seperti Mg, Cu, Si, Mn, Ni, Zn baik itu masing-masing ataupun bersamaan, sehingga bertambah kuat sifat mekaniknya dan juga memberikan juga sifat sifat baik lainnya seperti ketahanan korosinya, ketahanan aus, dan koefisien pemuaiannya yang rendah. (Surdia 1999:138)

Tabel 2.1 Sifat-Sifat Fisik Pada Aluminium

Sifat – sifat	Kemurnian Al (%)	
	99,996	>99,0
Massa jenis (20°C)	26,989	2,710
Titik cair	660,20	653 - 657
Panas jenis (cal/g.°C) (100°C)	0,223	0,23
Hantaran listrik (%)	64,940	59 (dianil)
Tahanan listrik koefisien temperatur (/°C)	0,00428	0,0116
Koefisien pemuaian (20 – 100°C)	23,87 x 10	23,5 x 10

Sumber : Surdia, 1999 : 134

Tabel 2.2 Sifat-Sifat Mekanik Pada Aluminium

Sifat - sifat	Kemurnian Al (%)			
	99,996		< 99,0	
	Dianil	75% dirol dingin	Dianil	H18
Kekuatan tarik (kg/mm ²)	4,90	11,60	9,30	16,90
Kekuatan mulur (0,2%) (kg/mm ²)	1,30	11,0	3,50	14,80
Perpanjangan (%)	48,80	5,5	35,0	5,0
Kekerasan brinell	17,0	27,0	23,0	44,0

Sumber : Surdia, 1999 : 134

2.2.1 Klasifikasi Paduan Aluminium

Aluminium secara umum paduannya dapat dibagi menjadi tiga klasifikasi bagian yakni klasifikasi berdasarkan cara pembuatannya, berdasarkan cara perlakuannya, dan berdasarkan komposisi unsur-unsur paduan. Dari ketigabagian klasifikasi tersebut, kita dapat membagi aluminium tersebut menjadi berbagai macam jenis. Diantaranya dibagi-bagi menjadi 7 macam yaitu :

1. Aluminium murni

Aluminium murni merupakan aluminium dengan nilai komposisi kemurnian antara 99,0% sampai dengan 99,9%. Aluminium murni ini mempunyai sifat-sifat yang baik dalam daya tahanan korosinya, sebagai penghantar panas dan listrik yang baik, dan juga mempunyai sifat-sifat mampu las dan juga mampu potong yang baik jika dibandingkan dengan aluminium-aluminium yang lainnya. Kekurangan dari jenis aluminium murni ini adalah kekuatannya yang relatif rendah.

2. Aluminium paduan Al-Cu

Aluminium dengan paduan Al-Cu merupakan salah satu jenis paduan yang dapat diperlaku-panaskan. Dengan adanya proses pengerasan endap ataupun penyepuhan pada sifat mekanik paduan aluminium ini dapat menyamai baja lunak, namun daya tahan korosinya lebih rendah jika dibandingkan dengan jenis-jenis paduan lainnya dan sifat mampu lasnya yang kurang baik. Karena sifatnya ini, paduan Al dengan Cu ini biasanya diaplikasikan pada konstruksi keling maupun digunakan dalam konstruksi pada pesawat terbang seperti jenis duralumin maupun super duralumin.

3. Aluminium paduan Al-Mn

Aluminium paduan Al-Mn merupakan salah satu jenis paduan yang tidak dapat diperlaku-panaskan sehingga jika ingin menaikkan kekuatannya hanya dapat dilakukan dengan cara pengerjaan dingin ketika pada saat proses pembuatannya. Jika dibandingkan dengan aluminium murni, paduan ini memiliki sifat-sifat yang relatif sama dalam hal daya tahan korosinya, dan juga mampu potong maupun sifat mampu las. Untuk perihal kekuatannya, jenis paduan Al dengan Mn ini lebih baik dari pada jenis Aluminium murni.

4. Aluminium paduan Al-Si

Aluminium paduan Al-Si merupakan salah satu jenis paduan yang tidak dapat diperlaku-panaskan. Paduan Al dengan Si ini ketikadalam fase cair memiliki sifat mampu alir yang cukup baik dan pada saat proses pembekuannya hampir tidak ada terjadi keretakan. Paduan jenis Al dengan Si ini diaplikasikan sebagai bahan atau logam las, baik dalam pengelasan pada paduan aluminium, paduan cor, maupun paduan tempa.

5. Aluminium paduan Al-Mg

Aluminium paduan Al-Mg ini termasuk jenis paduan yang tidak dapat diperlakukan, akan tetapi memiliki sifat-sifat baik dalam hal daya tahan korosinya, terutama korosi yang dikarenakan oleh air laut, ataupun dalam sifat-sifat mampu lasnya. Paduan Al dengan Mg ini diaplikasikan dalam industri konstruksi, pada tangki penyimpanan gas alam cair ataupun oksigen cair.

6. Aluminium paduan Al-Mg-Si

Aluminium paduan Al-Mg-Si ini termasuk dalam jenis paduan yang dapat diperlakukan dan juga memiliki sifat mampu potong, sifat mampu las dan juga daya tahan korosinya yang cukup baik. Kelemahan paduan Al-Mg-Si ini yaitu pada sifatnya yang kurang baik karena adanya pelunakan pada daerah hasil pengelasannya sebagai akibat dari panas hasil pengelasan yang ada dan cepat menyebar.

7. Aluminium paduan Al-Zn

Aluminium paduan Al-Zn merupakan jenis paduan yang dapat diperlakukan. Paduan ini juga disebut dengan ultraduralumin. Namun walaupun kekuatan taruknya baik, sifat-sifat mampu las dan ketahanannya terhadap korosi kurang baik untuk paduan ini. Paduan Al-Zn-Mg diaplikasikan pada konstruksi las, karena paduan Al-Zn-Mg ini sifat mampu lasnya dan juga ketahanan korosinya lebih baik dibandingkan dengan paduan dasar Al-Zn.

(Wiryosumarto, 2000)

2.2.2 Paduan Al-Mg-Si

Paduan Aluminium – Magnesium – Silicon merupakan paduan yang dapat diperlakukan dan mempunyai sifat mampu potong, mampu las, dan daya tahan korosi yang cukup (Wiryosumarto, 2000). Dalam aplikasinya paduan Al-Mg-Si banyak digunakan untuk bahan keling dan komponen mobil.

Tabel 2.3 Komposisi Kimia Al-Mg-Si

Paduan	Al	Mg	Si	Fe	Mn	Zn	Cu	Cr	Ti	Kandungan lainnya (%)
6061	95,8-98,6	0,80-1,2	0,40-0,80	Max 0,7	Max 0,150	Max 0,250	0,15-0,40	0,040-0,35	Max 0,150	Max 0,15

Sumber : ASM (Aero Space Metal Inc.)

Tabel 2.4 Sifat-Sifat Aluminium Pada Paduan Al-Mg-Si

Sifat	Nilai
<i>Density</i>	2,7 g/cm ³
<i>Melting Point</i>	650 ⁰ C
<i>Thermal Expansion</i>	23,40 x 10 ⁻⁶ /K
<i>Modulus of Elasticity</i>	70,0 Gpa
<i>Thermal Conductivity</i>	166,0 W/m.K
<i>Electrical Resistivity</i>	0,0400 x 106 Ω.m
<i>Tensile Strength</i>	310,1 MPa

Sumber : Aalco (2013)

Tabel 2.5 Sifat Mekanik Paduan Al-Mg-Si

Paduan	Keadaan	Kekuatan-tarik (kgf/mm ²)	Kekuatan-mulur (kgf/mm ²)	Perpanjangan (%)	Kekuatan-geser (kgf/mm ²)	Kekerasan brinell	Batas-lelah (kgf/mm ²)
6061	0	12,60	5,60	30	8,40	30	6,30
	T4	24,310	14,80	28	16,90	65	9,50
	T6	31,60	28,0	15	21,00	95	9,50

Sumber : Surdia, 1999: 140

2.2.3 Sifat Mampu Las Aluminium

Pada proses pengelasan, paduan-paduan aluminium memiliki sifat-sifat yang kurang baik jika dibandingkan dengan baja. Berikut ini merupakan sifat-sifat yang kurang baik atau merugikan tersebut:

1. Panas jenis dan daya penghantar panasnya tinggi maka sulit sekali jika untuk memanaskan dan mencairkan sebagian kecil saja.
2. Mudah teroksidasi dan membentuk oksida alumunium Al_2O_3 dimana memiliki titik cair yang relatif tinggi. Karena sifat inilah sehingga peleburan antara logam dasar dan logam las menjadi sulit.
3. Koefisien muai yang besar, maka mudah sekali terjadi deformasi sehingga paduan-paduan yang memiliki sifat getas panas akan cenderung membentuk retak-panas.
4. Perbedaan yang tinggi antara kelarutan hidrogen dalam logam cair dengan logam padat, maka dalam proses pembekuan yang terlalu cepat akan membentuk rongga halus bekas kantong-kantong hidrogen.
5. Paduan alumunium mempunyai berat jenis rendah, karena itu banyak zat – zat lain yang terbentuk selama pengelasan akan tenggelam. Keadaan ini memudahkan tergantungnya zat – zat yang tidak dikehendaki ke dalamnya.
6. Karena titik cair dan viskositasnya rendah, maka daerah yang kena pemanasan mudah menjadi cair sehingga jatuh menetes.

(Wiryosumarto, 2000)

2.3 Pengelasan

Pengelasan adalah suatu proses penyambungan dua logam. Dalam pengelasan, penyambungan logam tersebut memanfaatkan atau menggunakan energi panas. Energi panas pada pengelasan sangat penting, karena dibutuhkan untuk melunakkan hingga lumer atau mencairkan logam tersebut yang akan di las. Berdasarkan prinsip kerja pengelasan dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis yaitu :

1. Pengelasan cair

Merupakan suatu cara pengelasan yang sambungan dipanaskan sampai mencair dengan sumber panas berasal dari busur listriknya atau semburan api gas yang terbakar.

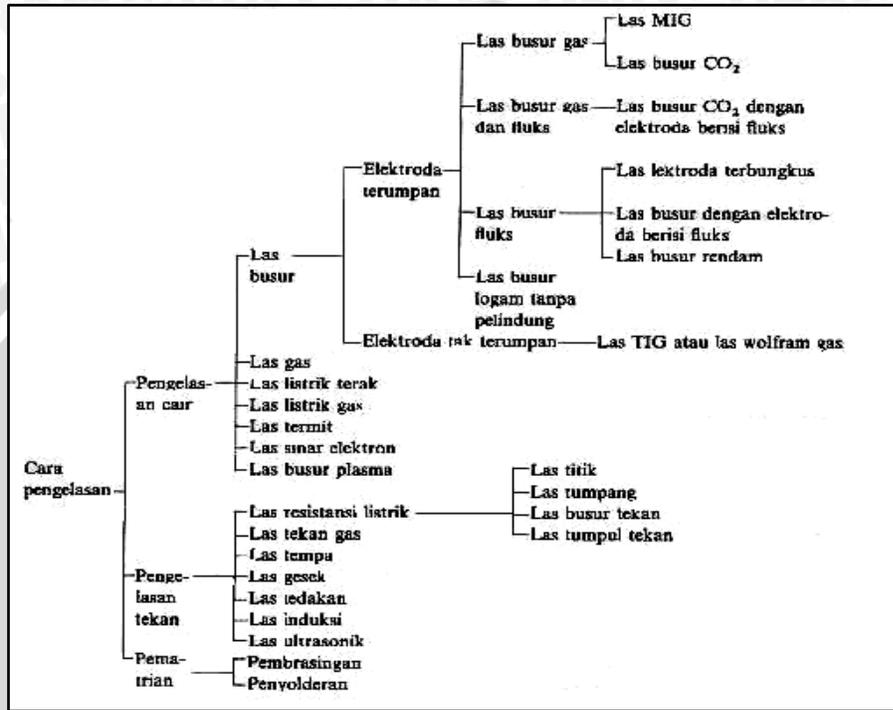
2. Pengelasan tekan

Merupakan suatu cara pengelasan yang sambungan dipanaskan lalu kemudian ditekan sampai sambungan tersebut menjadi satu.

3. Pematrian

Merupakan suatu cara pengelasan yang prosesnya sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang memiliki titik cair yang rendah.

Berikut ini adalah gambar pengklasifikasian pada pengelasan :



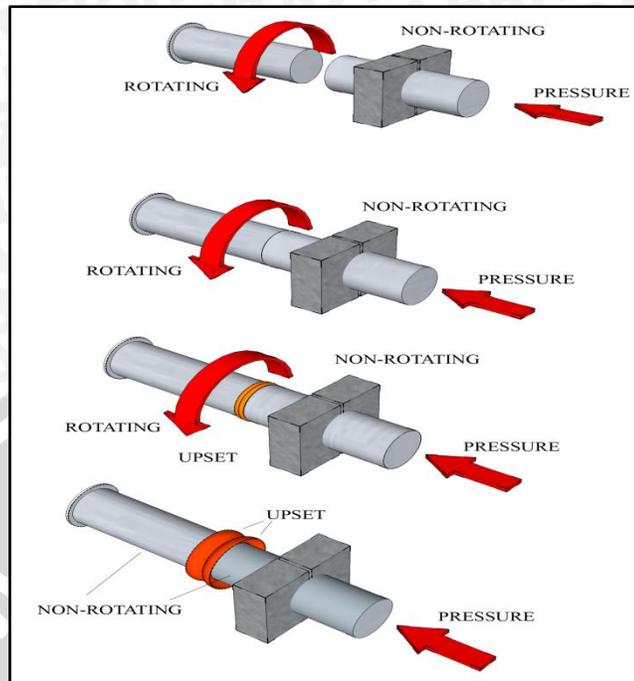
Gambar 2.1 Klasifikasi Cara pengelasan
 Sumber : Wiryosumarto, 2000, 8

2.4 Las Gesek (*Friction Welding*)

Pengelasan gesek termasuk klasifikasi dari pengelasan tekan, dimana pada cara ini dua buah logam dapat menyatu dikarenakan adanya energi panas yang dihasilkan karena adanya gesekan dua logam tersebut. Prinsip dasar pada pengelasan ini yaitu dengan cara memanaskan logam tersebut yang akan dilas atau disambung agar logam tersebut dapat meleleh sehingga bisa saling menempel. Pada pengelasan gesek, panas yang didapat itu berasal dari gesekan logam yang diam dengan logam lain yang berputar. Pengelasan gesek dibagi menjadi 2 yaitu :

1. *Linier Friction Welding*

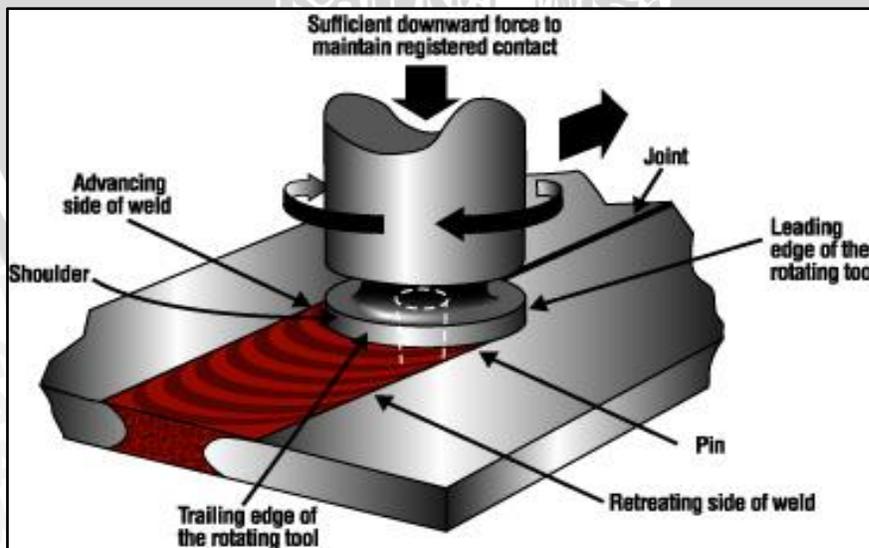
Las gesek dengan memanfaatkan sumber panas yang berasal dari gesekan kedua permukaan logam itu sendiri.



Gambar 2.2 Mekanisme *Linier Friction Welding*
 Sumber : Gatwick technologies, 2013

2. *Friction Stir Welding*

Merupakan pengelasan gesek dengan memanfaatkan sumber panas yang dihasilkan oleh gesekan antara benda kerja atau logam yang akan di las dengan pahat untuk pengelasan tersebut atau *Tools*.

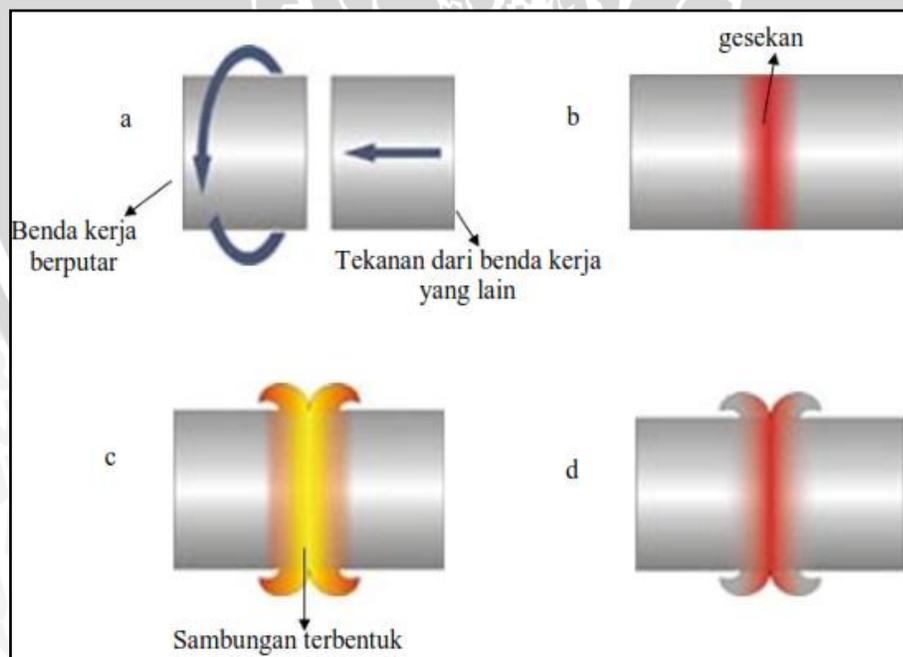


Gambar 2.3 Mekanisme *Friction Stir Welding*
 Sumber : Friction Stir Link Inc. 2011

2.4.1 Linier Friction Welding

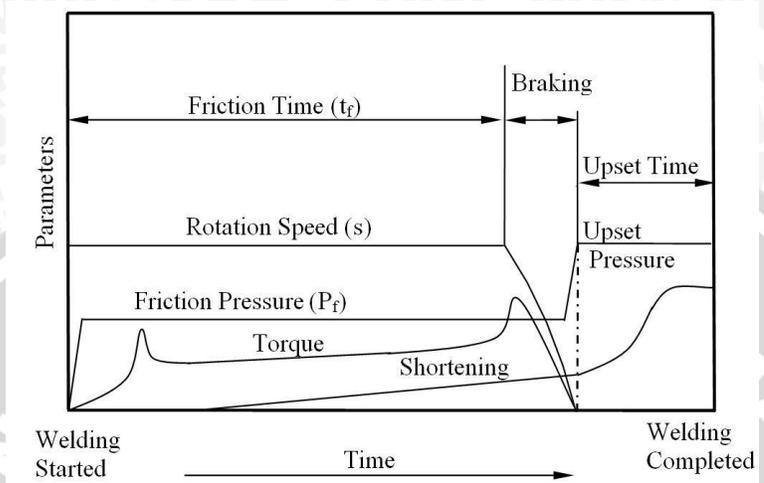
Linear friction welding adalah merupakan salah satu metode pengelasan gesek dengan memanfaatkan sumber panas yang berasal dari gesekan kedua permukaan logam itu sendiri, yakni logam yang berputar dengan logam yang diam akan tetapi memberi penekanan.

Mekanisme *liner friction welding* yaitu dengan menggunakan dua buah benda logam, antara logam yang berputar dengan kecepatan yang ditentukan dan juga relatif tinggi dan logam lain yang lain diam namun memberikan penekanan terhadap logam yang berputar. Maka dengan adanya gesekan pada permukaan kedua logam yang menempel tersebut maka timbul panas yang mengakibatkan kedua permukaan yang bersentuhan tersebut leleh, lalu partikel dari kedua logam tersebut dapat saling berikatan. Maka dari itu karena berputarnya salah satu logam akan mengakibatkan partikel-partikel dari kedua logam itu ikut tercampur campur, dan logam yang memberi penekanan akan mengakibatkan partikel terdorong, sehingga saling mengisi celah kosong yang juga dapat mengeluarkan udara yang terjebak. Maka dari itu proses ini menghasilkan penyambungan dua buah logam menjadi satu atau menyambung tanpa adanya pencairan terlebih dahulu atau *solid state process*.



Gambar 2.4 Simulasi Linier Friction Welding
Sumber : Swanson Industries Inc. 2006

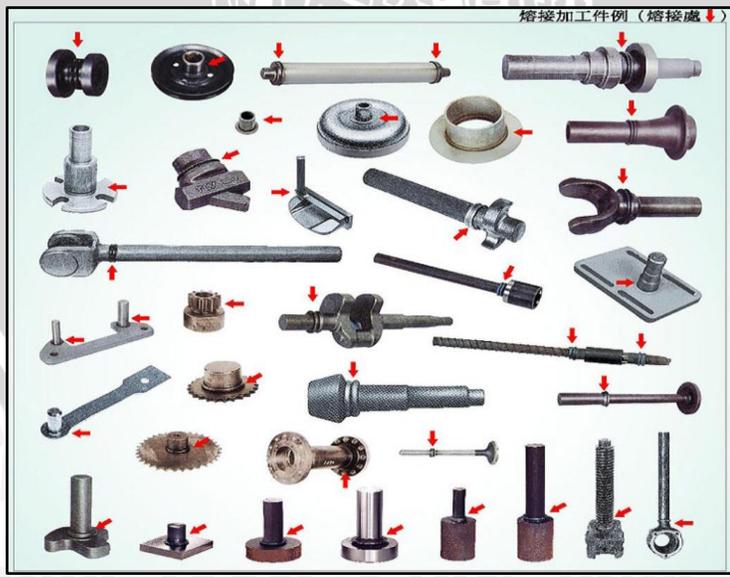
Pada pegelasan las gesek, terdapat parameter-parameter yang harus diperhatikan ketika proses penyambungan, Terutama parameter waktu dan gaya yang diberikan ketika proses pengelasan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.5 Parameter *Friction Welding*
 Sumber: Sahin (2006)

2.4.2 Aplikasi Las Gesek

Pengaplikasian las gesek dalam kehidupan sehari hari banyak digunakan dalam bidang industri dan otomotif. Berikut gambar contoh aplikasi pengelasan gesek.



Gambar 2.6 Aplikasi Las Gesek
 Sumber : Da Jie Electricity Machinery Industrial (2012)

2.4.3 Kelebihan Las Gesek

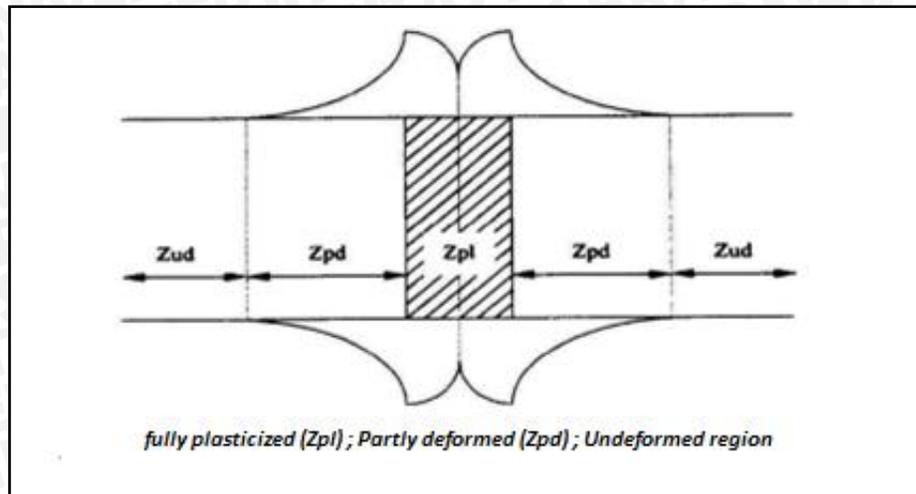
Pengelasan gesek memiliki beberapa kelebihan diantara pengelasan pengelasan lainnya. Berikut beberapa kelebihan pengelasan gesek :

1. Biayanya relatif lebih murah dalam pelaksanaannya.
2. Prosesnya meminimalisir energi yang dibutuhkan.
3. Tidak menghasilkan berkas sampah, ataupun asap dan gas.
4. Dapat dilakukan untuk kedua logam berbeda jenis.
5. Kekuatan yang dihasilkan sambungan pengelasan gesek hampir mendekati sama dengan kekuatan pada logam induk aslinya.
6. Pengelasan yang dilakukan pada temperatur yang relatif rendah dapat mempertahankan sifat material dan mikrostrukturnya.

2.5 Heat Affected Zone (HAZ)

Zona yang terpengaruh oleh panas pada saat proses pengelasan atau yang biasa disebut *Heat Affected Zone (HAZ)*, zona ini terjadi karena adanya panas ini struktur mikro dan sifat-sifat mekanisnya berubah dari keadaan semula.

Zona *HAZ* pada pengelasan gesek dibagi menjadi 3 bagian yakni *fully plasticized region (zpl)* yang merupakan zona sambungan pengelasan yang menyatu dengan sempurna, *partly deformed region (zpd)* merupakan zona *heat affected zone (HAZ)*, karena pada zona ini mengalami panas sebagian akibat proses pengelasan dan *undeformed region (zud)* atau daerah yang tidak terpengaruh panas ketika pada saat proses pengelasan. Dengan foto makrostruktur dapat dilihat daerah-daerah tersebut, sehingga bisa di teliti luasan daerah masing masing zonanya.



Gambar 2.7 Zona Hasil Pengelasan Gesek
Sumber : Lin et al (1999)

2.6 Energi Mekanik

Energi panas pada proses pengelasan gesek didapat dari proses gesekan antar permukaan logam yang digunakan pada pengelasan gesek. Hal ini dapat disamakan bahwa tekanan gesekan yang bersifat homogen akan dapat menyebar pada benda kerja yang berputar dan yang tidak berputar. Energi panas yang dihasilkan dapat dinyatakan dengan rumus :

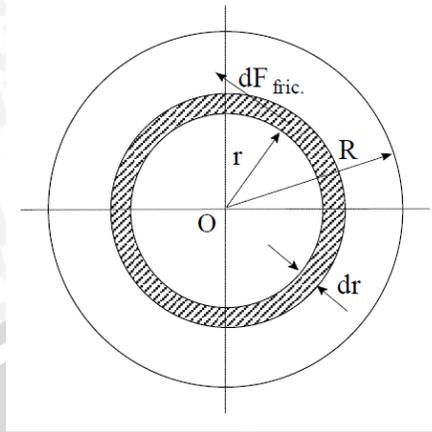
$$d\dot{Q} = \omega \cdot dM_t \quad ; (\text{Watt}) \quad (2 - 1)$$

dimana ω merupakan kecepatan sudut, dan dM_t ialah perbedaan nilai momen torsi pada teballingkar (dr).

Maka dari itu, nilai torsi tersebut dapat dihitung dengan rumus :

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

Nilai dF_{friction} merupakan gaya gesek pada tebal ligkaran (dr) dan, (r) merupakan jari-jari lingkaran tersebut. Maka dari itu, dapat disimpulkan juga bahwa gaya gesek (dF_{friction}) setara dengan nilai koefisien gesek yang akan dikalikan dengan gaya aksial tekanan (P) pada ketebalan lingkaran tersebut (dr).



Gambar 2.8 Friction Surface

Sumber: Sahin (2010)

$$dF_{\text{friction}} = r (\mu \cdot P \cdot 2\pi r \cdot dr) \quad (2-3)$$

dengan menggabungkan antara persamaan (2 - 2) dan (2 - 3), lalu disubstitusikan kedalam persamaan (2 - 1), maka akan didapatkan :

$$d\dot{Q} = 2\pi \cdot \mu \cdot \omega \cdot P \cdot r^2 \cdot dr \quad (2-4)$$

Untuk mencari nilai kalor yang terjadi pada proses pengelasan gesek dengan cara mengintegrasikan persamaan (4) menggunakan nilai jari-jari (R). rumus :

$$\int_0^R d\dot{Q} = 2\pi \cdot \mu \cdot P \cdot R^2 \cdot \omega \cdot dr. \quad (2-5)$$

$$\dot{Q} = 2 \cdot \pi \cdot \mu \cdot P \cdot \omega \cdot \frac{R^3}{3} \quad (2-6)$$

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

dengan :

Q : Jumlah energi mekanik per- satuan waktu pada permukaan pengelasan gesek (Watt)

P : Tekanan Gesek (N/m²)

Ω : Kecepatan sudut (rad/s)

R : Jari-jari benda kerja (m)

μ : Koefisien gesek

2.7 Pengujian Sambungan Las

Pengujian pada sambungan las sangat diperlukan, karena bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat mekanik, cacat pada materia tersebut ataupun sifat-sifat lainnya.

2.7.1 Macam – macam pengujian

Pengujian secara garis besar terbagi menjadi 2 yaitu :

1. Pengujian *destructive*

Pengujian ini merupakan pengujian dengan cara merusak spesimen yang akan diuji. Pengujian seperti ini biasanya dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat mekanik dari suatu material. Contohnya seperti pengujian tarik, puntir, impak, dan juga kekerasan.

2. Pengujian *Non destructive*

Pengujian *non-destructive* (NDT) adalah pengujian atau inspeksi pada suatu benda untuk mengetahui adanya cacat, atau kekurangan lainnya tanpa merusak benda yang di uji. Pada intinya, tes ini dilakukan untuk menjamin material yang kita gunakan masih aman. Diantara contoh dari pengujian ini adalah Uji visual, Uji hyper-eutectoid magnet, Uji cairan penetran, Edy current test, *Ultrasonic inspection*, dan juga *Radiographic inspection*.

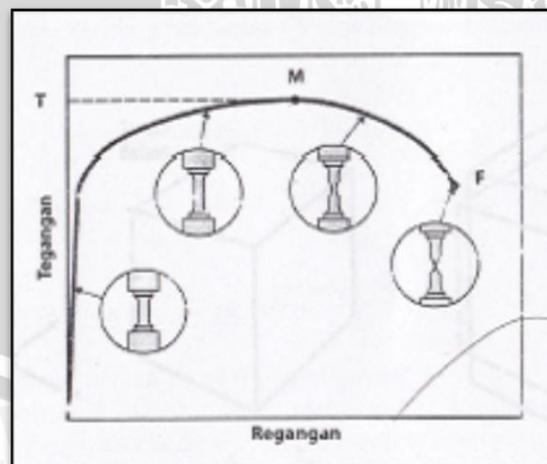
2.7.2 Pengujian Tarik

Pengujian tarik adalah salah satu uji *stress-strain* mekanik yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan bahan terhadap gaya tarik. Dalam pengujiannya, bahan uji tarik ditarik dengan dikenakan beban sehingga benda uji putus. Pengujian tarik pada hasil sambungan pada pengelasan perlu diberikan untuk dapat mengetahui bilamana kekuatan tarik pada sambungan las tersebut mempunyai nilai yang relatif sama, atau lebih rendah ataupun lebih tinggi jika dibanding dengan nilai kekuatan tarik yang dimiliki material itu sendiri.



Gambar 2.9 Grafik Pembebanan dan Pertambahan Panjang
Sumber : Sofyan, (2010 : 29)

Pada pengujian tarik akan diberikan beban statis yang meningkat secara perlahan sampai spesimen pengujian tersebut akhirnya patah. Selama pembebanan dilakukan mesin perekam pertambahan beban dan pertambahan panjang dari spesimen tersebut ditampilkan dalam bentuk grafik seperti yang digambarkan pada gambar 2.8. Grafik ini kemudian dikonversikan ke dalam grafik tegangan-regangan dengan menggunakan persamaan sebelumnya, dengan bentuk dasarnya seperti pada gambar 2.9. Dari gambar grafik 2.9 kita dapat menganalisa sifat mekanik material, atau kekuatan tarik yang dapat dibagi menjadi 2 bagian yaitu deformasi elastis, dan juga deformasi plastis (Sofyan, 2010 : 28).



Gambar 2.10 Grafik Hubungan Tegangan – Regangan
Sumber : Sofyan, (2010 : 29)

Secara skematik tegangan tarik pada material dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \text{ (Kg/mm}^2\text{)} \quad (2-8)$$

dengan :

σ = Tegangan (Kg/mm²)

F = Beban tarik (Kg)

A₀ = Luas penampang spesimen mula (mm²)

Sedangkan untuk regangan, (persentase pertambahan panjang) pada saat itu dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{(L-L_0)}{L_0} \times 100\% \quad (2-9)$$

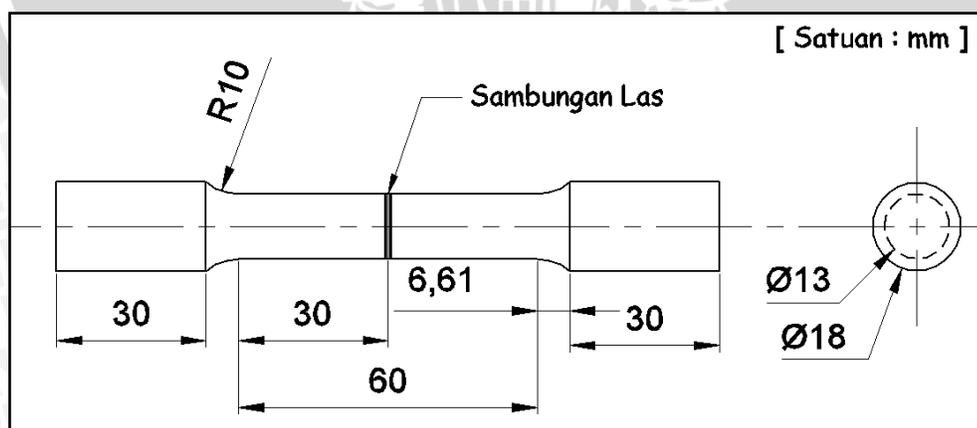
dengan :

ε = Regangan (%)

L₀ = Panjang batang uji mula (mm)

L = Panjang batang uji akhir (mm)

Berikut ini adalah contoh gambar dimensi spesimen pengujian tarik yang digunakan menurut standar AWS (*American Welding Society*).



Gambar 2.11 Spesimen Logam Uji Tarik Standar AWS

Sumber : *American Welding Society*, 2007



Gambar 2.12 Mesin Uji Tarik

Sumber : Laboratorium Pengujian Bahan Teknik Mesin Universitas Brawijaya

2.7.3 Pengujian Kekerasan

Uji Kekerasan adalah mengukur ketahanan pada suatu material terhadap deformasi plastis yang terlokalisasi (lengkungan kecil atau goresan). Macam-macam uji kekerasan :

- Uji kekerasan rockwell
- Uji kekerasan brinell
- Uji kekerasan vickers
- Uji kekerasan kwoop

Dari semua metode pengujian kekerasan diatas, prinsipnya menggunakan indenter yang kecil dengan berbentuk bola atau piramid yang ditekan kepada permukaan benda uji dengan mengontrol besarnya pembebanannya dan juga laju pembebanannya. Indentasi rekam jejak yang terlihat kemudian diukur dengan menggunakan mikroskop ukur.

Uji kekerasan dengan metode vickers menggunakan indenter berbentuk intan piramid, dengan beban antara 1 – 1000gr dan hasil test berupa lekukan diperiksa dengan mikroskop.

Luasan indenter diagonal pada vickers dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

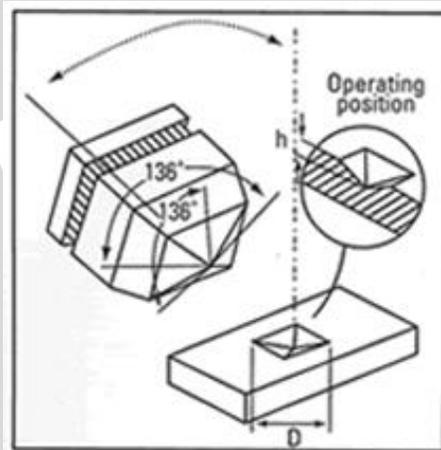
$$\text{VHN} = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{L^2} = \frac{1.854 P}{L^2} \quad (2-10)$$

dengan :

P = Beban (kg)

L = Panjang diagonal rata - rata (mm)

θ = Sudut antar permukaan intan yang berlawanan (136°)



Gambar 2.13 Indentor piramid intan pada metode vickers

Sumber : Sofyan, (2010 : 21)

2.8 Cacat Las

Dalam pengelasan biasanya terdapat daerah yang tidak sempurna akibat hal hal lain sehingga terjadi penurunan kualitas dari hasil lasan, daerah ini merupakan cacat las. Macam-macam jenis cacat pada pengelasan yang dapat terjadi adalah sebagai berikut:

1. Cacat porositas

Porositas adalah cacat las akibat adanya gas hidrogen yang terjebak di dalam logam hasil pengelasan. Hidrogen dengan mudah masuk mengisi celah pada saat logam dalam keadaan fase cair. Saat logam tersebut mulai membeku dalam waktu yang cepat maka gas hidrogen akan terjebak di dalam dan juga membentuk pori.

2. *Lock of fusion*

Lock of fusion adalah cacat yang disebabkan akibat panas masuk tidak terdistribusi sempurna, akibatnya terdapat bagian pada logam yang tidak melebur sehingga berakibat pada terdapatnya luasan-luasan yang tidak tersambung.

3. Inklusi

Inklusi adalah cacat las yang terjadi akibat adanya semacam slug yang terjebak didalam hasil pengelasan. Cacat ini sering ditemukan pada TIG-*welding*.

4. Retak

Retakan adalah cacat las yang terjadi akibat dari banyak faktor diantaranya akibat kecepatan pendinginan, jenis logam yang disambungkan dan lain – lain.

5. Undercut

Undercut adalah cacat pada pengelasan yang disebabkan karena pemakanan dari salah satu daripada kedua sisi lasan. Cacat tersebut dapat disebabkan karena tidak sempurnanya peleburan pada sisi pengelasan.

2.9 Hipotesis

Berdasarkan teori dan beberapa penelitian yang sudah pernah dilakukan dapat ditarik hipotesa bahwa penggunaan tinggi *chamfer* pada salah satu sisi dan variasi *friction time* akan mempengaruhi kekuatan tarik pada sambungan las gesek aluminium Al-Mg-Si. Dengan adanya variasi ini pada las gesek akan mempengaruhi masukan panas yang akan mempengaruhi lebar daerah *HAZ* sehingga mempengaruhi kekuatan tarik dari sambungan las.

BAB III

METODE PENELITIAN

Metode Penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah metode penelitian nyata (*True Experimental Research*). Metode ini digunakan agar dapat mengetahui secara langsung pengaruh *friction time* pada pengelasan gesek terhadap kekuatan tarik dan porositas dari material Al-Mg-Si dengan penggunaan *chamfer* satu sisi.

3.1 Variabel Penelitian

Penelitian ini menggunakan 3 variabel, yaitu variabel bebas, variabel kontrol dan variabel terikat. Berikut variabel-variabel tersebut.

3.1.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang bisa dirubah sesuai kebutuhan sehingga variabel bebas dapat mempengaruhi hasil dari penelitian. Nilai pada variabel bebas ini ditentukan oleh peneliti sehingga mendapatkan hubungan antara variabel bebas dengan variabel terikatnya. Variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini adalah :

- *Friction time* :40 detik, 45 detik, 50 detik, 55 detik dan 60 detik

3.1.2 Variabel Kontrol

Variabel kontrol merupakan variabel yang dikontrol selama penelitian, agar parameter yang digunakan sama, variabel kontrol pada penelitian ini adalah:

- Kecepatan *Spindle* yaitu 1600 rpm.
- Gaya penekanan awal sebesar 150 kgf
- Gaya penekanan akhir sebesar 200 kgf
- Waktu *upset* selama 2 menit
- Menggunakan kertas gosok #600 untuk pengamplasan permukaan kontak las

3.1.3 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang diteliti. Variabel terikat pada penelitian ini adalah:

- Nilai kekuatan tarik

3.2 Alat Dan Bahan Yang Digunakan

3.2.1 Alat Yang Digunakan

Penelitian ini menggunakan alat-alat sebagai berikut :

- Mesin pemotong logam atau *Power Hacksaw*
- Mesin Bubut
- Mesin Milling
- Mesin Uji Tarik
- Alat bantu cekam
- *Stopwatch*
- Penggaris
- Spidol boardmarker
- Kamera
- Penyangga
- *Termo Gun*
- *Vernier Caliper*
- Amplas / Kertas gosok #600

3.2.2 Bahan Yang Digunakan

Bahan yang digunakan adalah material paduan aluminium Al-Mg-Si dengan komposisi pada unsur paduannya sebagai berikut :

Tabel 3. 1 Komposisi Kimia Paduan pada aluminium Al-Mg-Si

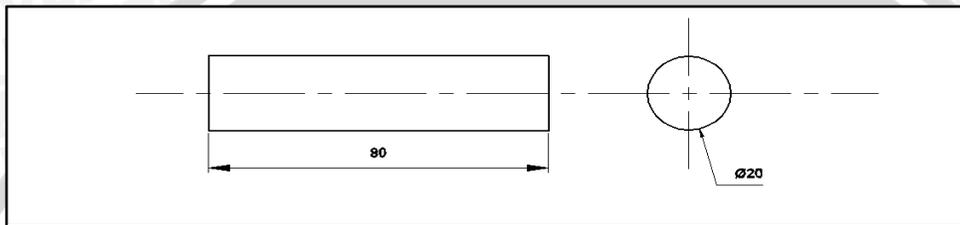
Paduan	Al	Mg	Si	Fe	Mn	Zn	Cu	Cr	Ti	Kandungan lainnya (%)
6061	95,80-98,60	0,80-1,20	0,40-0,80	Max 0,7	Max 0,150	Max 0,250	0,150-0,40	0,040-0,350	Max 0,150	Max 0,150

Sumber : ASM (*Aero Space Metal Inc.*)

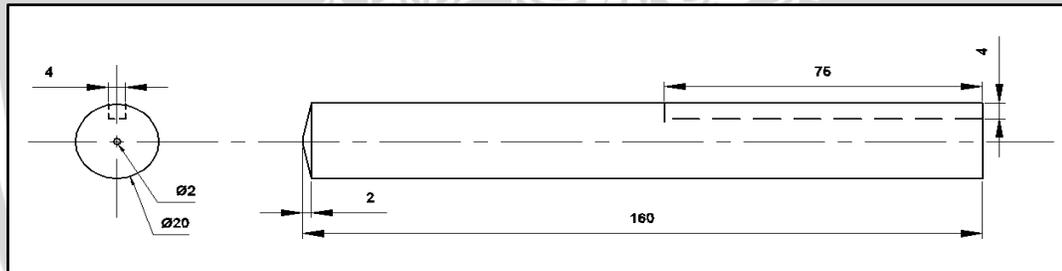
Tabel 3. 2 Komposisi Kimia Paduan aluminium Al-Mg-Si Hasil Pengujian Komposisi

Paduan	Al	Mg	Si	Fe	Mn	Zn	Cu	Cr	Ti	Kandungan lainnya (%)
6061	97.9	0.823	0.568	0.305	0.0213	0.0424	0.25	0.083	0.013	Max 0.0085

3.2.3 Bentuk Spesimen



Gambar 3.1 Spesimen pengelasan I (dicekamoleh *chuck*)
Sumber :DokumenPribadi



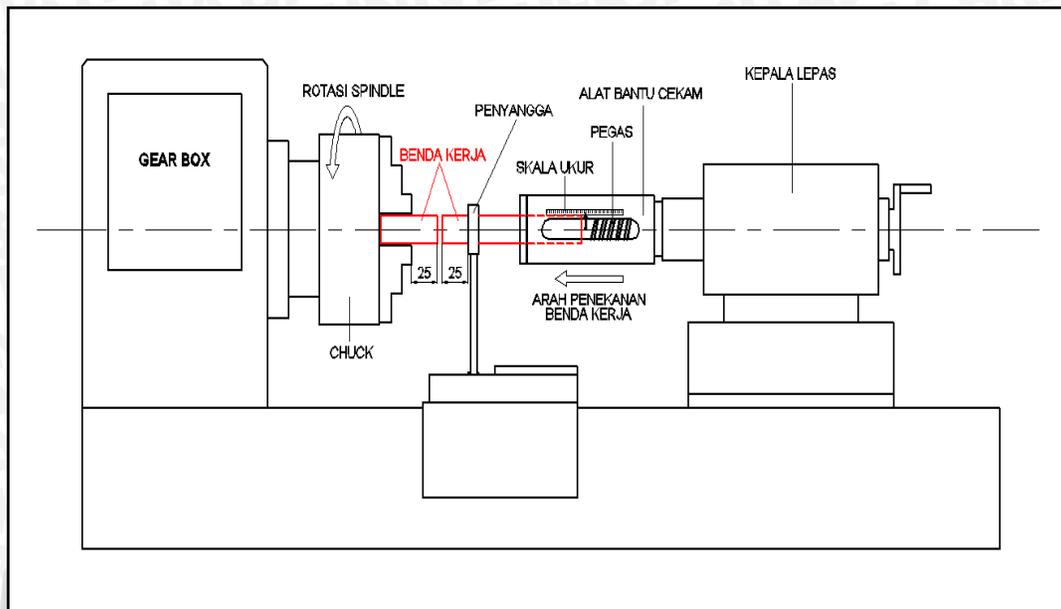
Gambar 3.2 Spesimen pengelasan II (dicekam olehalat bantu cekam)
Sumber :DokumenPribadi

3.3 Waktu Dan Tempat Penelitian

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

- Laboratorium Proses Produksi I
(Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya Malang)
- Laboratorium Pengujian Bahan
(Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya Malang)
- Laboratorium Konstruksi Baja
(Jurusan Pendidikan Teknik Sipil, Universitas Negeri Malang)

3.4 Instalasi Alat Penelitian



Gambar 3.3 Skema Alat Pengelasan Gesek

Sumber : Dokumen Pribadi

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Proses Persiapan Benda Kerja

Proses persiapan sebelum melaksanakan pengelasan gesek adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan logam yang akan di las gesek
2. Memotong logam yang akan digunakan sesuai dimensi ukuran yang telah ditentukan.
3. Membubut benda kerjasehingga menjadi spesimen yang telah ditentukan
4. Membentuk tinggi *chamfer* pada ujung permukaan benda kerja II dengan tinggi *chamfer* sebesar 2 mm.
5. Membuat alur yang akan dijadikan sebagai alur pasak pada benda kerja II.

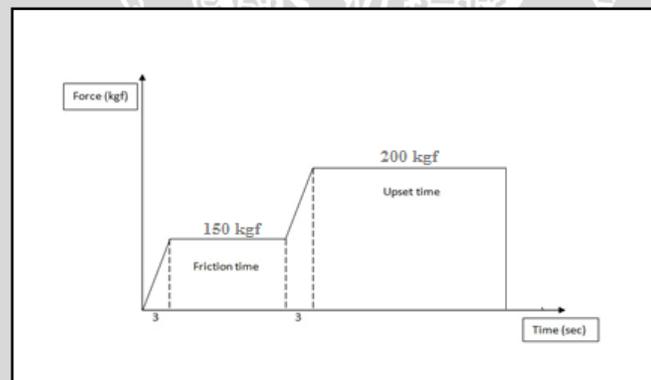
3.5.2 Pengelasan Gesek

Proses pengelasan gesek ini dilakukan dengan memakai mesin bubut dengan langkah-langkahnya sebagai berikut :

1. Membersihkan permukaan kedua benda kerja yang akan dilas.

2. Memasangkan benda kerja I dipasang pada *chuck* dan juga benda kerja II dipasang pada alat bantu cekam.
3. Persiapkan *termo gun* pada titik tengah pertemuan kontak las
4. Menghidupkan mesin bubut
5. Pengaturan kecepatan putaran *spindle* sebesar 1600
6. Pemberian gaya tekan awal sebesar 150 kgf.
7. Proses awal pengelasan dimulai sesuai variasi *friction time*.
8. Menghentikan putaran *spindle*.
9. Pemberian gaya tekan akhir sebesar 200 kgf
10. Diamkan spesimen dengan waktu *upset time* selama 2 menit.
11. Pelepasan penekanan dari gaya tekan akhir sebesar 200 kgf sampai dengan 0 kgf.
12. Pelepasan spesimen atau benda kerja yang ada pada alat bantu cekam, dan juga pada *chuck*.
13. Pengecekan hasil pengelasan.

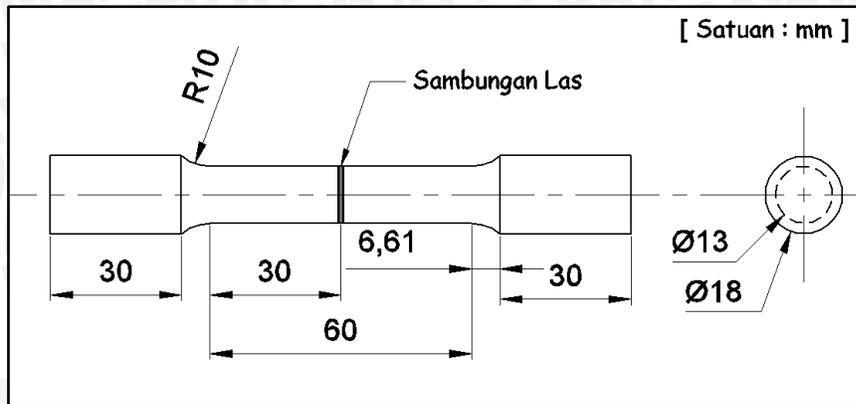
Berikut parameter pengelasan yang dipakai :



Gambar 3.4 Parameter las gesek yang digunakan
Sumber : dokumentasi pribadi

3.5.3 Pengujian Kekuatan Tarik

Setelah selesai proses pengelasan, selanjutnya pengujian tarik. Pada pengujian tarik ini menggunakan standar AWS (*American Welding Society*) dimana standar tersebut mengacu pada ASTM E-8/ASTM E-8M dengan dimensi sebagai berikut :



Gambar 3.5 Spesimen Uji Tarik Standar AWS

Sumber : *American Welding Society, 2007*

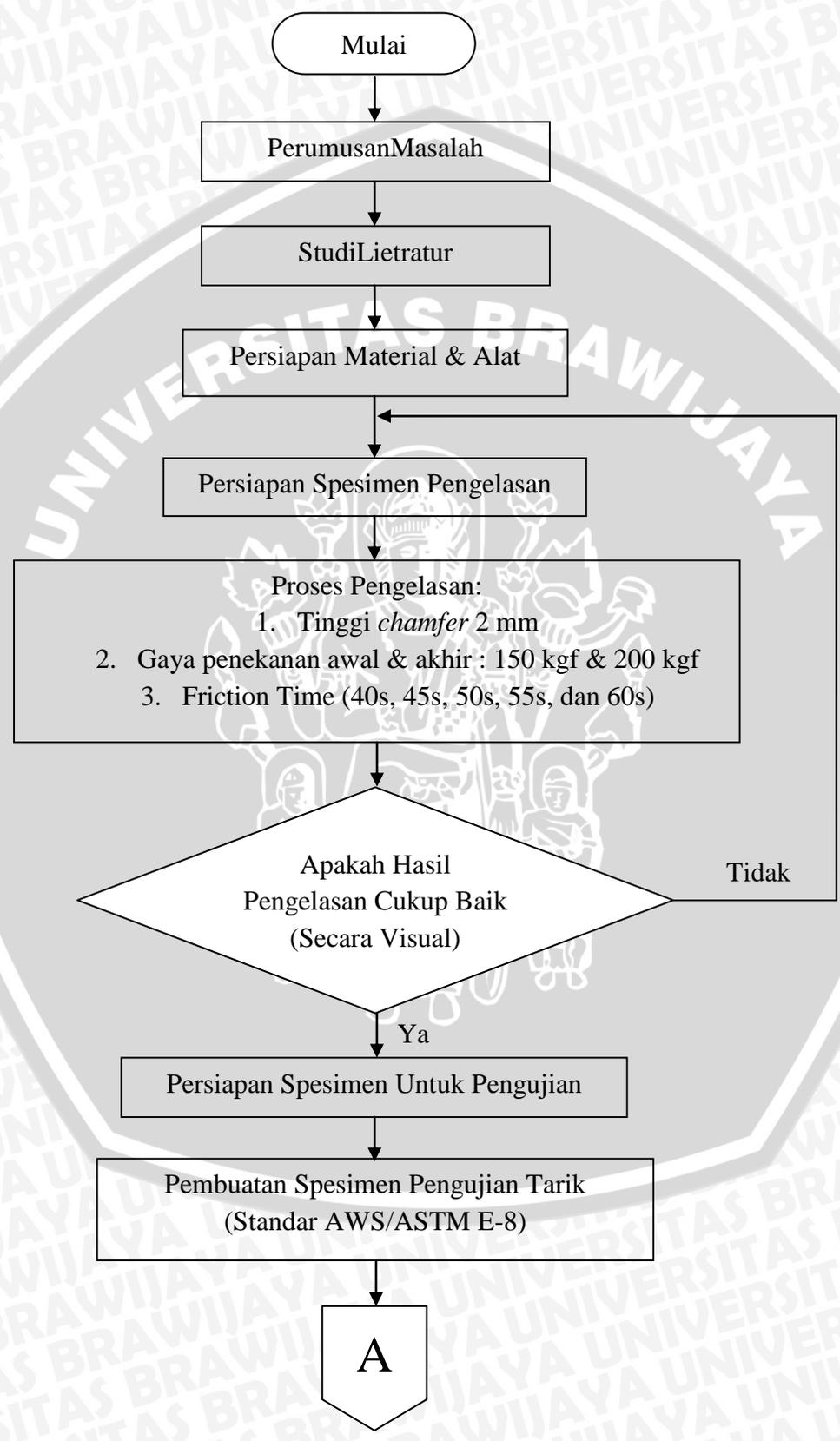
Proses pengujian tarik yang akan dilakukan yaitu sebagai berikut :

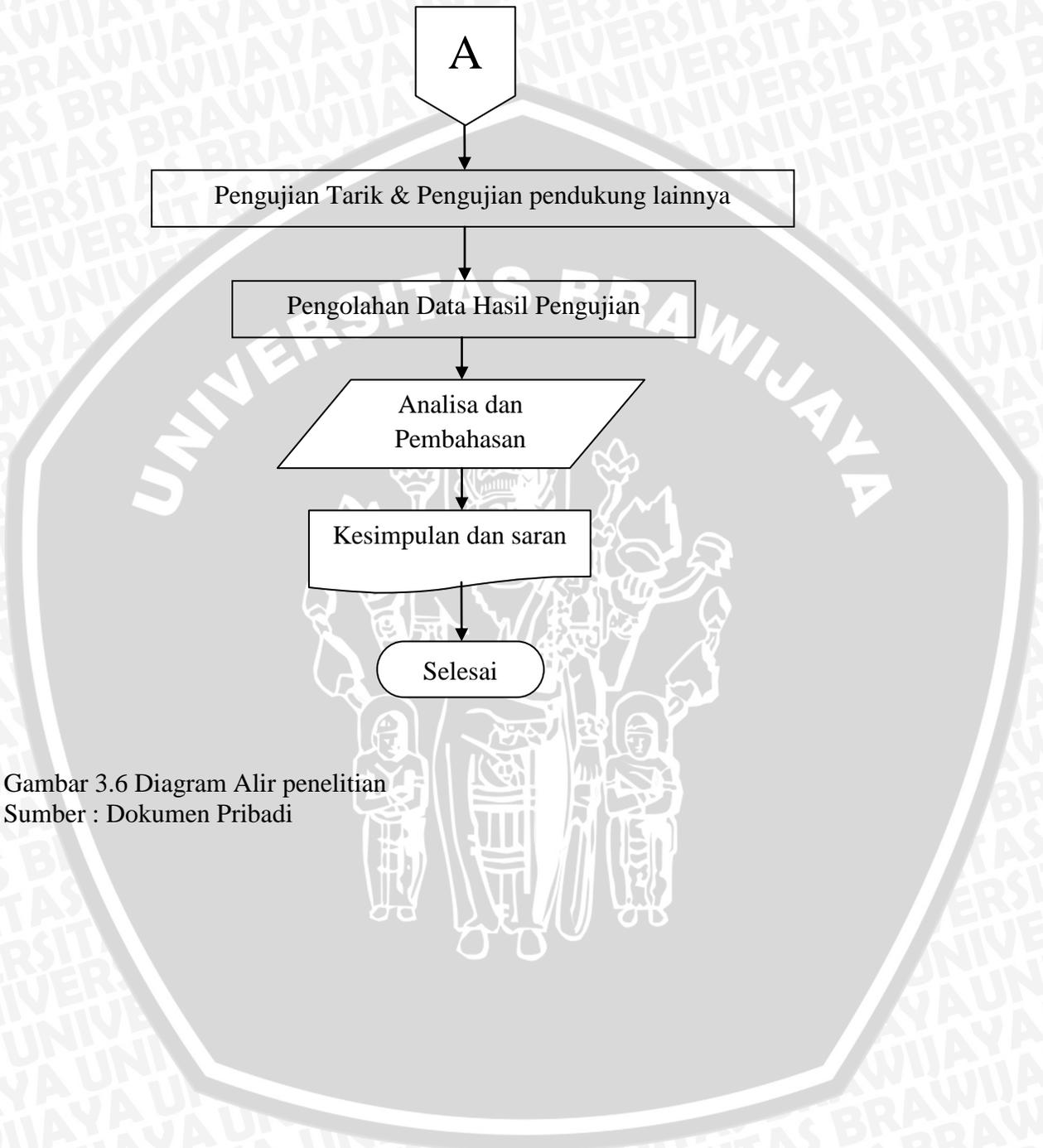
1. Mempersiapkan benda spesimen uji tarik sesuai standar AWS
2. Mengukur diameter pada tengah spesimen di sambungan las
3. Spesimen uji tarik dipasang pada mesin uji tarik dan dicekam dengan benar pada mesin uji tarik.
4. Benda uji mulai mendapatkan beban tarik diawali dari 0 kg hingga benda putus pada beban maksimum yang dapat ditahan benda tersebut.
5. Mencatat hasil yang tertera pada layar pengujian dan semua hasil selama pengujian
6. Menghitung nilai kekuatan tariknya.

3.5.4 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dengan menggunakan *Microvickers Hardness Tester* (VHN) terlebih dahulu spesimen hasil pengelasan dibelah dan diampas sehingga dapat diukur nilai kekerasannya.

3.6 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.6 Diagram Alir penelitian
Sumber : Dokumen Pribadi



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian Kekuatan Tarik

Pengambilan data menggunakan alat uji tarik setelah selesai proses pengelasan dan dibentuk sesuai dengan standar spesimen pengujian tarik. Pada setiap variasi dilakukan tiga kali pengulangan dan diperoleh nilai rata rata dari ketiga pengulangan tersebut. Nilai yang diperoleh dari hasil uji tarik dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Tarik Tinggi *Chamfer* 2 mm

No	<i>Friction Time</i> (s)	Pengulangan	Kekuatan Tarik (N/mm ²)	Kekuatan Tarik Rata- Rata (N/mm ²)
1	40	1	174,108	176,560
		2	175,743	
		3	179,829	
2	45	1	155,055	155,485
		2	154,065	
		3	157,336	
3	50	1	147,522	148,113
		2	142,989	
		3	153,828	
4	55	1	142,364	147,777
		2	148,066	
		3	152,899	
5	60	1	129,936	127,147
		2	128,301	
		3	123,204	

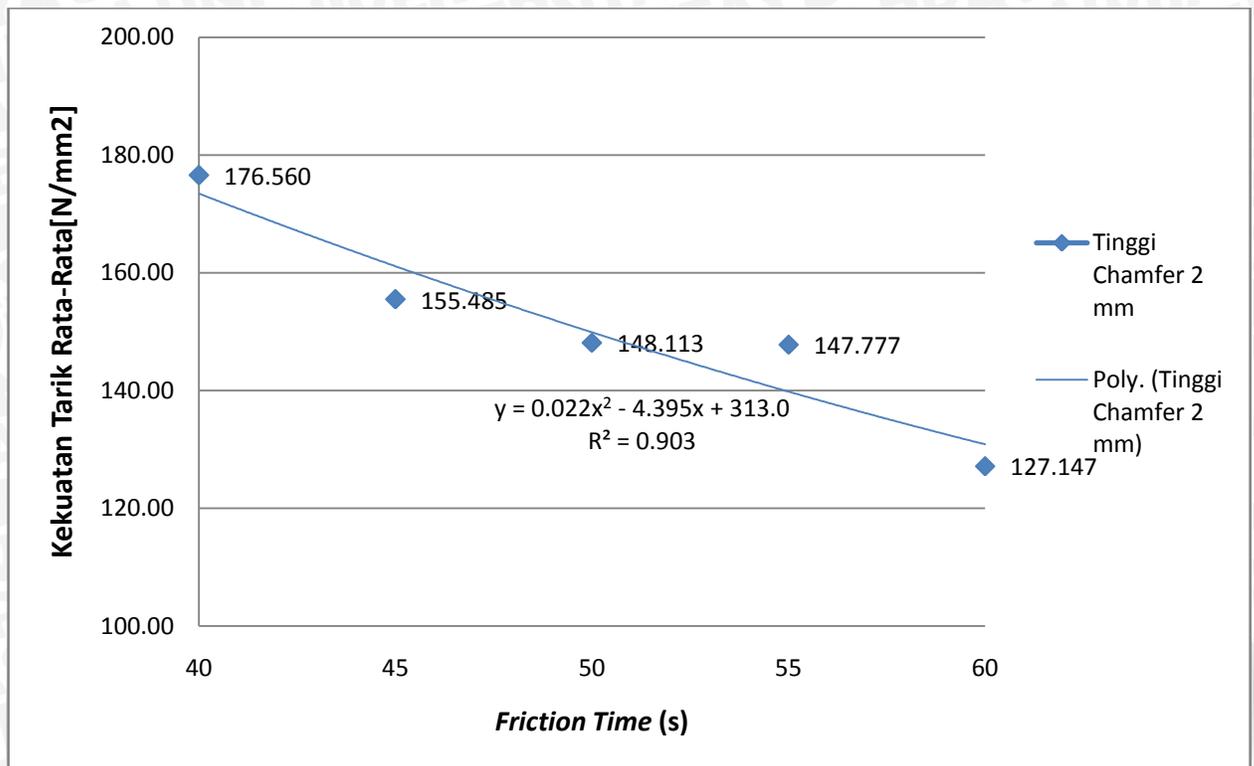
Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Tarik Tanpa *Chamfer*

NO	<i>Friction Time</i> (s)	Pengulangan	Kekuatan Tarik (N/mm ²)	Kekuatan Tarik Rata- Rata (N/mm ²)
1	40	1	136,015	134,820
		2	133,624	
2	45	1	139,664	132,561
		2	121,920	
		3	136,099	
3	50	1	122,486	128,361
		2	128,010	
		3	134,586	
4	55	1	126,095	127,808
		2	121,358	
		3	135,970	
5	60	1	127,781	121,842
		2	115,903	

4.2 Pembahasan

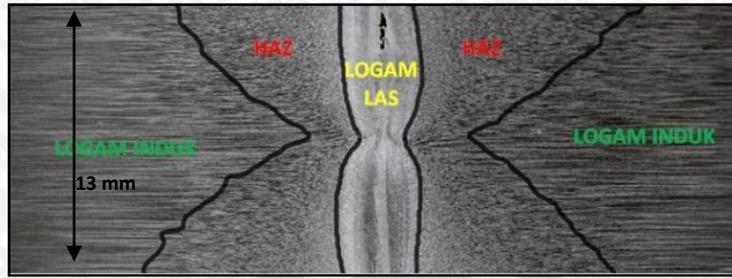
4.2.1 Hubungan antara *friction time* dengan kekuatan tarik pada tinggi *chamfer* 2 mm

Dari hasil perhitungan variasi *friction time* pada pengelasan diperoleh besarnya kekuatan tarik sambungan las gesek. Analisis perhitungan data tersebut disajikan pada grafik hubungan antara *friction time* dengan kekuatan tarik sambungan las gesek pada tinggi *chamfer* 2 mm berikut ini.

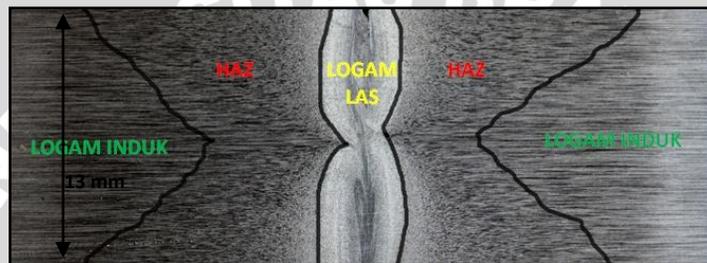


Gambar 4.1 Grafik Hubungan antara *friction time* terhadap kekuatan tarik sambungan las pada tinggi *chamfer* 2 mm

Pada gambar 4.1 Grafik Hubungan antara *friction time* terhadap kekuatan tarik sambungan las pada tinggi *chamfer* 2 mm, diatas dapat dilihat bahwa kekuatan tarik tertinggi terletak pada *friction time* 40 detik sebesar 176,56 N/mm², sedangkan kekuatan tarik terendah terletak pada *friction time* 60 detik yaitu sebesar 127,15 N/mm². Hal ini menunjukkan bahwa *friction time* akan berpengaruh terhadap kekuatan tarik sambungan las gesek, semakin bertambahnya *friction time* maka kekuatan tarik akan semakin menurun. Hal ini disebabkan karena semakin lamanya *friction time* akan mengakibatkan semakin besar masukan panasnya (heat input), dan karena semakin besar masukan panasnya sehingga menyebabkan daerah zona *HAZ* yang terbentuk juga semakin besar, yang mengakibatkan turunnya kekuatan tarik pada sambungan las. Luasan daerah *HAZ* dapat dilihat dari hasil foto makro seperti gambar 4.2 dan gambar 4.3 berikut ini.



Gambar 4.2 Foto makrostruktur hasil pengelasan gesek dengan tinggi *chamfer* 2 mm pada *friction time* 40 detik



Gambar 4.3 Foto makrostruktur hasil pengelasan gesek dengan tinggi *chamfer* 2 mm pada *friction time* 60 detik

Dari hasil makrostruktur dapat diketahui luasan daerah logam las dan luasan daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) serta daerah porositas yang nampak untuk hasil pengelasan gesek dengan kekuatan tarik terendah pada *friction time* 60 detik dan kekuatan tarik tertinggi pada *friction time* 40 detik memiliki luasan sebagai berikut.

Tabel 4.3 Luasan Daerah logam las, HAZ, dan porositas

<i>Friction time</i> (s)	Luas daerah (mm ²)		
	Las	HAZ	Porositas
40	45,568	165,732	0,333
60	48,685	216,400	0,127

Dari tabel 4.3 dapat diketahui luasan spesimen dengan variasi *friction time* selama 40 detik memiliki daerah logam las sebesar 45,568 mm², daerah HAZ sebesar 165,732 mm² dan daerah porositas sebesar 0,33 mm², sedangkan untuk luasan spesimen dengan *friction time* 60 detik memiliki daerah logam las sebesar 48,685 mm², daerah HAZ sebesar 216,400

mm² dan daerah porositas sebesar 0,127 mm². Semakin besar luas daerah *HAZ* yang terbentuk, maka kekuatan tariknya akan semakin menurun, sindokou (2002). Hal inilah yang menyebabkan nilai kekuatan tarik *friction time* 40 detik lebih besar daripada kekuatan tarik *friction time* 60 detik, daerah *HAZ* pada *friction time* 60 detik lebih besar daripada daerah *HAZ* pada *friction time* 40 detik, walaupun pada *friction time* 60 detik memiliki luasan logam las yang lebih besar daripada *friction time* 40 detik, namun luasan daerah *HAZ* yang terbentuk juga lebih besar pada *friction time* 60 detik yaitu sebesar 216,400 mm². Hal ini yang menyebabkan menurunnya kekuatan tarik.

4.2.1.1 Hasil Pengujian Kekerasan

Dari hasil pengujian kekerasan menggunakan Microvickers Hardness Tester (VHN) didapat data seperti berikut:

Tabel 4.4 Data nilai kekerasan tinggi *chamfer* 2 mm

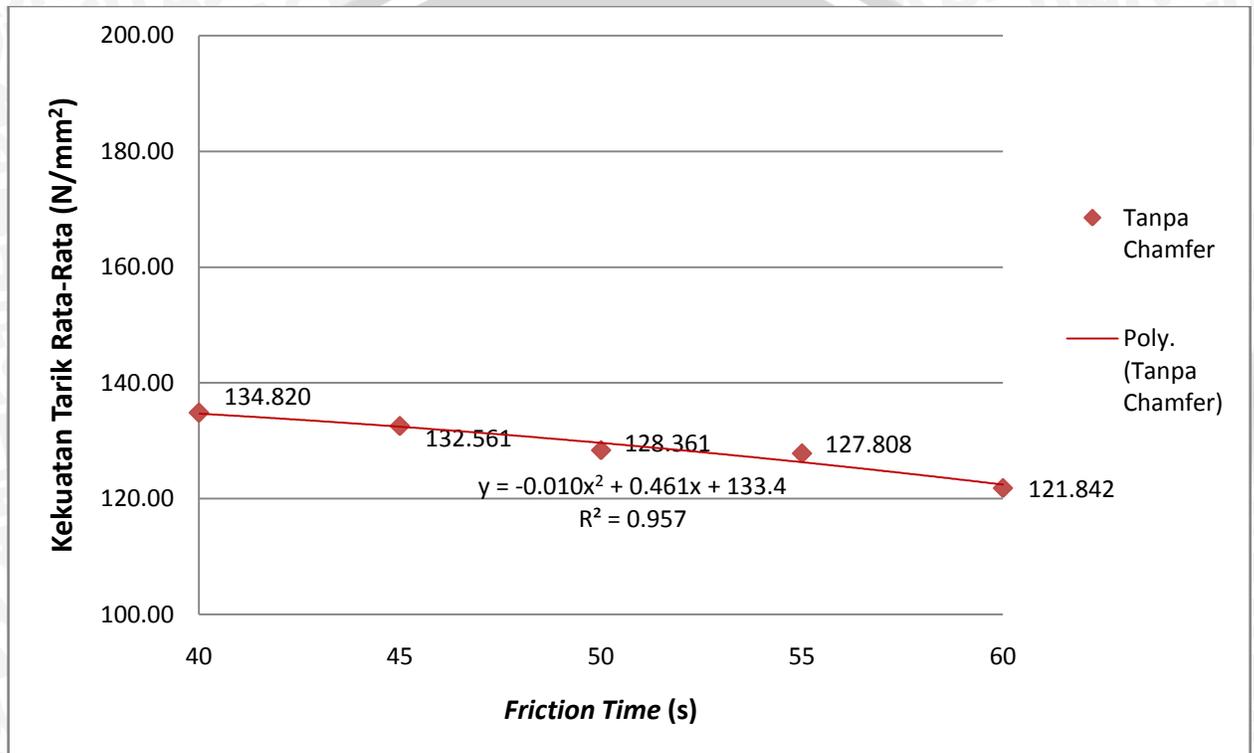
<i>Friction time</i> (s)	Daerah	Kekerasan rata- rata
40	Las	146,33
	<i>HAZ</i>	160,70
	Logam Induk	134,81
60	Las	104,77
	<i>HAZ</i>	106,14
	Logam Induk	123,55

Dari Tabel 4.4 Spesimen dengan *friction time* 40 detik memiliki nilai kekerasan rata-rata pada setiap daerah, yaitu logam las sebesar 146,33 *VHN*, daerah *HAZ* sebesar 160,70 *VHN*, dan logam induk sebesar 134,81 *VHN*. Dan pada spesimen dengan *friction time* 60 detik memiliki nilai kekerasan rata-rata pada setiap daerah, yaitu logam las sebesar 104,77 *VHN*, daerah *HAZ* sebesar 106,14 *VHN*, dan logam induk sebesar 123,55 *VHN*.

Hal tersebut menunjukkan bahwa spesimen dengan *friction time* 40 detik memiliki nilai kekerasan lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen dengan *friction time* 60 detik. Hal ini menyebabkan spesimen dengan *friction time* 40 detik memiliki kekuatan tarik yang lebih tinggi daripada spesimen dengan *friction time* 60 detik.

4.2.2 Hubungan *friction time* dengan kekuatan tarik pada spesimen tanpa *chamfer*

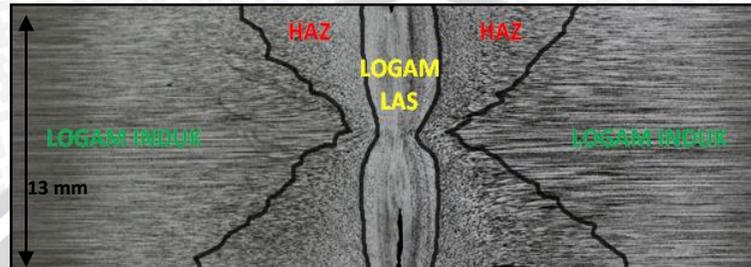
Dari hasil perhitungan variasi *friction time* pada pengelasan diperoleh besarnya kekuatan tarik sambungan las gesek. Analisis perhitungan data tersebut disajikan pada grafik hubungan antara *friction time* dengan kekuatan tarik sambungan las gesek pada spesimen tanpa *chamfer* berikut ini.



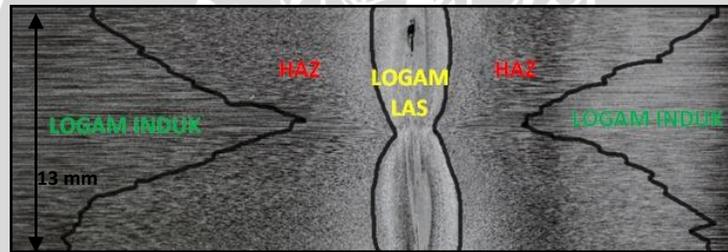
Gambar 4.4 Grafik Hubungan antara *friction time* terhadap kekuatan tarik sambungan las spesimen tanpa *chamfer*

Pada gambar 4.4 Grafik Hubungan antara *friction time* terhadap kekuatan tarik sambungan las spesimen tanpa *chamfer*, diatas dapat dilihat bahwa kekuatan tarik tertinggi terletak pada *friction time* 40 detik sebesar $134,820 N/mm^2$, sedangkan kekuatan tarik terendah terletak pada *friction time* 60 detik yaitu sebesar $121,842 N/mm^2$. Hal ini menunjukkan bahwa variasi *friction time* berpengaruh terhadap nilai kekuatan tarik sambungan las gesek, semakin bertambahnya *friction time* maka kekuatan tarik akan semakin menurun. Hal ini disebabkan karena semakin lama *friction time* akan

menyebabkan semakin besarnya masukan panas (*heat input*), karena dengan semakin besar masukan panasnya akan menyebabkan daerah *HAZ* yang akan terbentuk juga semakin besar, yang mengakibatkan turunnya kekuatan tarik pada sambungan las. Luasan daerah *HAZ* dapat dilihat dari hasil foto makro seperti gambar 4.5 dan gambar 4.6 berikut ini.



Gambar 4.5 Foto makrostruktur hasil pengelasan gesek spesimen tanpa *chamfer* pada *friction time* 40 detik



Gambar 4.6 Foto makrostruktur hasil pengelasan gesek spesimen tanpa *chamfer* pada *friction time* 60 detik

Dari hasil makrostruktur dapat diketahui luasan daerah logam las dan luasan daerah *HAZ* (*Heat Affected Zone*) serta daerah porositas yang nampak untuk hasil pengelasan gesek dengan kekuatan tarik terendah pada *friction time* 60 detik dan kekuatan tarik tertinggi pada *friction time* 40 detik memiliki luasan sebagai berikut.

Tabel 4.5 Luasan Daerah logam las, *HAZ*, dan porositas

<i>Friction time</i> (s)	Luas daerah (mm ²)		
	Las	<i>HAZ</i>	Porositas
40	43,720	125,963	0,943
60	42,267	270,223	0,326

Dari tabel 4.5 dapat diketahui luasan spesimen dengan *friction time* 40 detik memiliki daerah logam las sebesar $43,72 \text{ mm}^2$, daerah *HAZ* sebesar $125,963 \text{ mm}^2$ dan daerah porositas sebesar $0,943 \text{ mm}^2$, sedangkan untuk luasan spesimen dengan *friction time* 60 detik memiliki daerah logam las sebesar $42,267 \text{ mm}^2$, daerah *HAZ* sebesar $270,223 \text{ mm}^2$ dan daerah porositas sebesar $0,326 \text{ mm}^2$. Semakin besar luas daerah *HAZ* yang terbentuk maka nilai kekuatan tariknya akan semakin menurun, (Sindokou, 2002). Hal ini yang menyebabkan kekuatan tarik *friction time* 40 detik lebih besar daripada kekuatan tarik *friction time* 60 detik, daerah *HAZ* pada *friction time* 60 detik lebih besar daripada daerah *HAZ* pada *friction time* 40 detik, walaupun pada *friction time* 60 detik memiliki luasan logam las yang lebih besar daripada *friction time* 40 detik, namun luasan daerah *HAZ* yang akan terbentuk juga lebih besar pada *friction time* 60 detik yaitu sebesar $216,400 \text{ mm}^2$. Hal ini yang menyebabkan menurunnya kekuatan tarik.

4.2.2.1 Hasil Pengujian Kekerasan

Dari hasil pengujian kekerasan menggunakan Microvickers Hardness Tester (VHN) didapat data seperti berikut:

Tabel 4.6 Data nilai kekerasan tinggi *chamfer* 2 mm

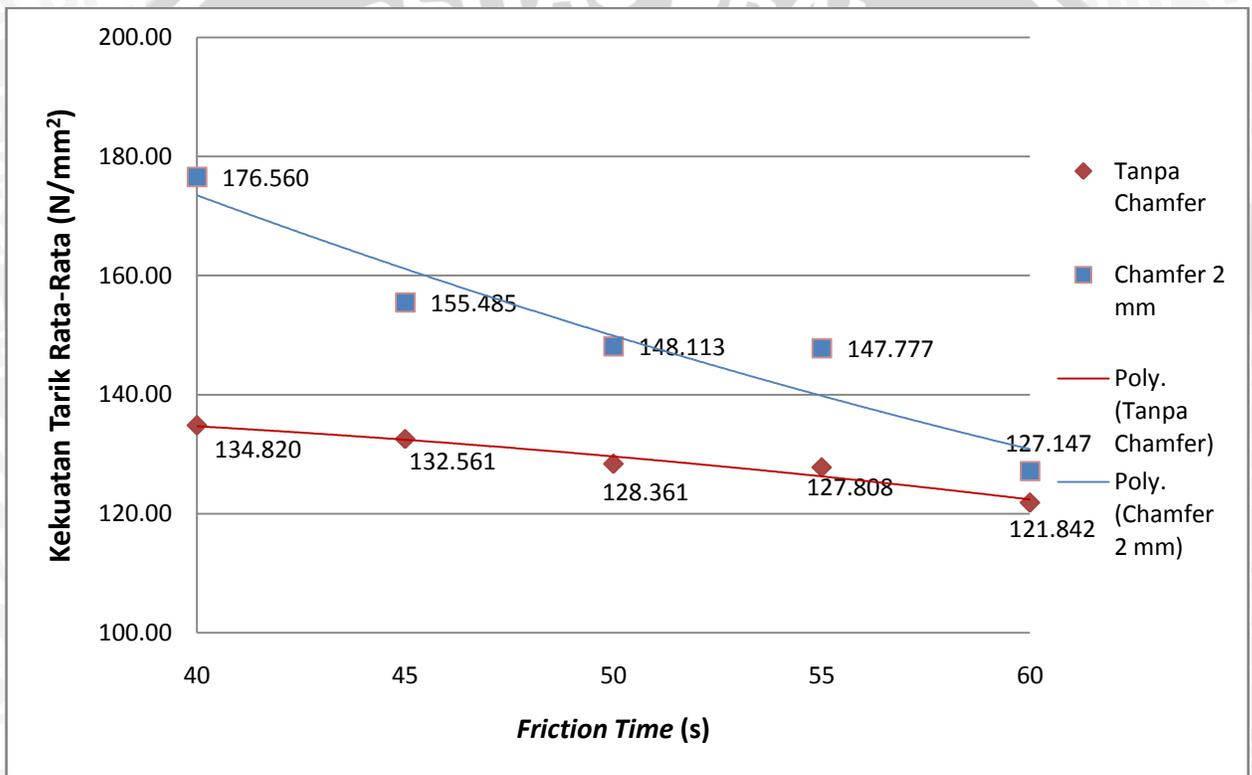
<i>Friction time</i> (s)	Daerah	Kekerasan rata-rata
40	Las	158,13
	<i>HAZ</i>	170,67
	Logam Induk	123,90
60	Las	123,13
	<i>HAZ</i>	149,23
	Logam Induk	120,57

Dari Tabel 4.6 Spesimen dengan *friction time* 40 detik memiliki nilai kekerasan rata-ratanya tersebar pada tiap-tiap daerah, yaitu pada logam las sebesar 158,13 *VHN*, daerah *HAZ* sebesar 170,67 *VHN*, dan pada logam induk nilai kekerasannya sebesar 123,90 *VHN*. Dan pada spesimen yang menggunakan *friction time* 60 detik memiliki nilai kekerasan rata-ratanya juga tersebar pada tiap-tiap daerah, yaitu pada logam las nilainya sebesar 123,13

VHN, nilai kekerasan pada daerah HAZ sebesar 149,23 VHN, dan nilai kekerasan pada logam induk sebesar 120,57 VHN.

Hal tersebut menunjukkan bahwa spesimen dengan *friction time* 40 detik ini mempunyai nilai kekerasan lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen dengan *friction time* selama 60 detik. Hal ini menyebabkan spesimen dengan *friction time* 40 detik memiliki kekuatan tarik yang lebih tinggi daripada spesimen dengan *friction time* 60 detik.

4.2.3 Perbandingan hasil kekuatan tarik sambungan las antara tinggi *chamfer* 2mm dengan spesimen tanpa *chamfer*



Gambar 4.7 Grafik perbandingan nilai kekuatan tarik terhadap *friction time* antara tinggi *chamfer* 2mm dan tanpa *chamfer*

Pada gambar 4.7 Grafik perbandingan nilai kekuatan tarik terhadap *friction time* antara tinggi *chamfer* 2mm dan tanpa *chamfer*, dapat dilihat bahwa secara keseluruhan nilai kekuatan tarik spesimen dengan *chamfer* 2 mm lebih tinggi daripada spesimen tanpa *chamfer*, hal ini membuktikan bahwa adanya penggunaan tinggi *chamfer* mempengaruhi

nilai kekuatan tarik pada hasil pengelasan. Dan semakin lama waktu *friction time* akan semakin menurun nilai kekuatan tariknya.

Dapat dilihat juga bahwa kekuatan tarik tertinggi yaitu spesimen yang memiliki tinggi *chamfer* 2 mm dengan *friction time* 40 detik sebesar 176,56 N/mm² dan nilai kekuatan tarik terendah yaitu pada spesimen tanpa *chamfer* dengan *friction time* 60 detik sebesar 121,87 N/mm². Hal ini dipengaruhi oleh luasan daerah lasan yang didapat dari foto makrostuktur dimana semakin lama *friction time* maka akan semakin luas daerah *HAZ* sehingga mengakibatkan nilai kekuatan tarik akan semakin menurun.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

Penggunaan *friction time* dan tinggi *chamfer* satu sisi dapat mempengaruhi sambungan las gesek, semakin lama waktu *friction time*, maka akan memperlebar luas daerah *HAZ* sehingga menurunkan nilai kekuatan tariknya. Dimana pada penelitian ini kekuatan tarik tertinggi ada pada spesimen dengan tinggi *chamfer* 2 mm *friction time* 40 detik dan kekuatan tarik terendah terletak pada spesimen yang tanpa diberi tinggi *chamfer* dengan *friction time* selama 60 detik.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut penggunaan tinggi *chamfer* satu sisi pada pengelasan gesek Al-Mg-Si
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang penggunaan gaya tekan akhir yang bervariasi terhadap kekuatan tarik sambungan las gesek Al-Mg-Si