

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Ardianto dkk (2015), dalam penelitiannya yang berjudul “Kekuatan Puntir Sambungan Las Gesek Al-Mg-Si Dengan Variasi Sudut *Chamfer* Sisi Dan Kekasaran”. Hasil yang didapatkan yaitu sudut *chamfer* dan kekerasan berpengaruh terhadap nilai kekuatan puntir. Kekuatan puntir tertinggi didapat sudut *chamfer* 15° pada kekasaran 0,7 µm sebesar 163.46 MPa, sedangkan yang terendah pada sudut *chamfer* 0° pada kekasaran 1,07 µm sebesar 71.48 MPa. Kekuatan puntir dipengaruhi oleh besar kecilnya daerah *fully plasticized Zone (Zpl)*, *Partly deformed Zone (Zud)*, *Porosity Zone (Zpr)*.

(Irawan,2012) Dari hasil penelitiannya di dapatkan bahwa kekuatan tarik aluminium paduan Al 6061 dengan sudut *chamfer* yang digunakan pada penelitian ini 15, 30, 45, 60, 75 dan penekanan 123 kgf, dengan waktu penekanan 2 menit didapatkan nilai kekuatan tarik terbesar pada sudut 30 dan hasil mikrostruktur kekuatan tinggi pada spesimen ini disebabkan oleh luas maksimum zona plastis, porositas minimum dan luas minimum zona yang terkena dampak panas.

(Sathiya,2006) melakukan pengelasan gesek terhadap *ferritic stainless steel* dengan komposisi dan dimensi yang sama tanpa menggunakan sudut *chamfer*, dari hasil penelitiannya didapat bahwa kekuatan tarik akan menurun seiring bertambahnya *friction time*.

Sedangkan Amirullah, dkk (2014) dalam penelitiannya yang berjudul “Pengaruh sudut *chamfer* satu sisi dan *friction time* terhadap kekuatan puntir pada sambungan las gesek Al-Mg-Si” mendapatkan hasil kekuatan puntir tertinggi yang terdapat pada spesimen dengan *friction time* 90 detik pada sudut *chamfer* 11,5° dengan nilai sebesar 145,71 MPa, dan untuk kekuatan puntir terkecil didapat pada spesimen dengan sudut *chamfer* 11,5° dan *friction time* 150 detik, dengan nilai kekuatan puntir yang didapat sebesar 75,23 MPa.

#### 2.2 Aluminium

Aluminium adalah logam yang ringan dan cukup penting dalam kehidupan manusia. Aluminium merupakan unsur kimia golongan IIIA dalam sistim periodik unsur, dengan nomor atom 13 dan berat atom 26,98 gram per mol (sma). Di dalam udara bebas aluminium mudah teroksidasi membentuk lapisan tipis oksida (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) yang tahan terhadap korosi.

Aluminium juga bersifat *amfoter* yang mampu bereaksi dengan larutan asam maupun basa. (Anton J. Hartono, 1992)

Aluminium adalah logam hidrolisis kuat dan umumnya tidak larut dalam keadaan pH netral antara (6,0 – 8,0), dibawah asam (pH < 6,0) atau alkali (pH > 8,0), dan dalam larutan anorganik atau ligan organik (contoh OH<sup>-</sup>, F<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, asam sitrat) kelarutan Al<sup>3+</sup> meningkat. Reaksi jenis ini meningkatkan jumlah Al<sup>3+</sup> dalam keadaan encer. Berikut ion yang dibentuk dalam larutan aluminium hidroksida pada pH dibawah 5,5: Al(OH)<sub>2</sub><sup>+</sup>, Al(OH)<sub>2</sub><sup>+</sup>, dan Al<sup>3+</sup>. Aluminium murni tidak stabil dalam proses oksidasi. Dalam keadaan berhubungan dengan udara aluminium membentuk lapisan tipis oksida diatas permukaan serta membentuk lapisan pelindung yang tahan terhadap korosi. Aluminium oksida membentuk dua bentuk isomer  $\alpha$  – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan  $\gamma$  – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. (Seiler,1994)

Dilihat dari segi kuantitas dan kualitas, kegunaan aluminium dapat mengatasi kegunaan logam lain kecuali besi. Karena itu aluminium sangat penting dalam kehidupan sehari-hari dan berpengaruh terhadap perkembangan ekonomi dunia, dikarenakan aluminium diprediksi akan menjadi komoditi ekspor dunia. Aluminium murni mempunyai kekuatan tegangan yang rendah, tetapi mempunyai kemampuan untuk membentuk *alloy* bersama dengan banyak unsur seperti tembaga, seng, magnesium, mangan dan silikon. Pada saat ini hampir semua bahan yang dianggap aluminium adalah sebenarnya sejenis *alloy* aluminium bukan aluminium murni.

Tabel 2.1 Persentase komposisi kimia berdasarkan berat Aluminium 6061

No Code	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
6061	0,4-0,8	0,7	0,15-0,4	0,15	0,8-1,2	0,04-0,35	0,25	0,15

Sumber : Aluminium Structure, 2002 : 330

Aluminium memiliki karakteristik sendiri dibandingkan dengan logam lainnya, antara lain adalah:

1. Permukaan yang mengkilap
2. Mempunyai kekuatan tinggi
3. Mudah dibentuk
4. Tahan terhadap korosi
5. Titik lebur yang rendah
6. Tidak beracun
7. Aluminium semakin tangguh pada suhu yang rendah

8. Penghantar panas dan listrik yang baik
9. Kecepatan rambat panas tinggi

Penetapan standarisasi logam aluminium menurut *American society for materials* (ASTM) adalah dengan menggunakan angka untuk menetapkan penggolongan aluminium paduan. Adapun sifat umum dari berbagai jenis paduan menurut ASTM adalah sebagai berikut:

1. Aluminium Murni (kandungan aluminium 99%), seri 1xxx
  - a. Memiliki kemurnian antara 99%-99.9%
  - b. Tahan karat
  - c. Konduksi panas dan konduksi listrik
  - d. Kekuatan rendah
2. Copper (Al-Cu), seri 2xxx
  - a. Tidak tahan korosi
  - b. Sifat mampu lasnya kurang baik, sehingga banyak digunakan pada pesawat terbang dan konstruksi keeling
3. Manganase (Al-Mn), seri 3xxx
  - a. Tidak dapat diberikan perlakuan panas sehingga untuk memperbaiki kekuatannya hanya bisa dilakukan dengan cara pengerjaan dingin dalam pembuatannya
  - b. Tahan korosi
  - c. Memiliki kekuatan yang tinggi
  - d. Sifat potong dan sifat mampu las yang baik
4. Silicon (Al-Si), seri 4xxx
  - a. Tidak dapat diperlakukan panas
  - b. Dalam keadaan cair memiliki sifat mampu alir yang baik dan dalam pembekuannya tidak terjadi retak
5. Magnesium (Al-Mg), seri 5xxx
  - a. Tahan terhadap korosi
  - b. Memiliki sifat mampu las yang baik
  - c. Tidak dapat diperlakukan panas
6. Magnesium dan silikon (Al-Mg-Si), seri 6xxx
  - a. Dapat diperlakukan panas
  - b. Memiliki sifat potong

- c. Daya tahan terhadap korosi yang baik
  - d. Memiliki sifat mampu las yang baik
7. Zinc (Al-Zn), seri 7xxx
- a. Dapat diperlakukan panas
  - b. Tahan korosi

Unsur yang ditambahkan adalah Mg, Cu dan Cr

### 2.2.1 Sifat-Sifat Mekanik Aluminium

Adapun sifat-sifat mekanik dari aluminium adalah sebagai berikut:

#### 1. Kekuatan tarik

Kekuatan tarik adalah besar tegangan yang didapatkan ketika dilakukan pengujian tarik. Kekuatan tarik ditunjukkan oleh nilai tertinggi dari tegangan pada kurva tegangan-regangan hasil pengujian, dan biasanya terjadi ketika terjadinya *necking*. Kekuatan tarik bukanlah ukuran kekuatan yang sebenarnya dapat terjadi di lapangan, namun dapat dijadikan sebagai suatu acuan terhadap kekuatan bahan. Kekuatan tarik pada aluminium murni pada berbagai perlakuan umumnya sangat rendah, yaitu sekitar 90 MPa, sehingga untuk penggunaan yang memerlukan kekuatan tarik yang tinggi, aluminium perlu dipadukan. Dengan dipadukan dengan logam lain, ditambah dengan berbagai perlakuan *thermal*, aluminium paduan akan memiliki kekuatan tarik hingga 600 Mpa (paduan 7075).

#### 2. Kekerasan

Kekerasan gabungan dari berbagai sifat yang terdapat dalam suatu bahan yang mencegah terjadinya suatu deformasi terhadap bahan tersebut ketika diaplikasikan suatu gaya. Kekerasan suatu bahan dipengaruhi oleh elastisitas, plastisitas, viskoelastisitas, kekuatan tarik, *ductility*, dan sebagainya.

#### 3. Kekuatan Puntir

Kemampuan suatu material untuk menerima gaya sejajar dan gaya rotasi tanpa terjadinya slip.

#### 4. Kekuatan *Impact*

Kekuatan *impact* adalah kemampuan suatu bahan untuk menahan beban dinamis atau mendadak yang dapat menyebabkan rusak atau patah.

### 2.2.2 Sifat Mampu Las Aluminium

Dalam hal penyambungan dengan metode pengelasan, paduan aluminium mempunyai sifat kurang baik bila dibandingkan dengan baja. Sifat-sifat yang kurang baik dan merugikan tersebut yaitu:

1. Aluminium mempunyai panas jenis dan daya hantar panasnya tinggi sehingga sulit dipanaskan. Meskipun sudah panas daerah yang meleleh hanya sedikit saja.
2. Mudah teroksidasi dan membentuk oksida aluminium  $Al_2O_3$  yang mempunyai titik cair yang tinggi. Karena sifat ini maka peleburan antara logam dasar dan logam las menjadi terhalang.
3. Mudah terjadi deformasi karena koefisien muai yang besar ini menyebabkan terjadi reaksi panas pada paduan-paduan aluminium yang memiliki sifat getas.
4. Proses pembekuan pada proses pengelasan aluminium sangat cepat dikarenakan perbedaan yang tinggi antara klarutan *hydrogen* pada logam cair dan pada paduan sehingga menyebabkan terjadinya rongga halus bekas kantong *hydrogen*.
5. Viskositas aluminium yang rendah sehingga dalam proses pengelasan mudah jatuh kebawah.

Al 6061 merupakan salah satu jenis paduan aluminium Al-Mg-Si yang dapat diberi perlakuan panas (*heattreatable alloys*), mempunyai kekuatan tarik sedang dan sifat mampu las (*weldability*) yang relatif baik. Paduan ini banyak digunakan pada struktur kapal, kendaraan, dan pesawat karena ringan dan kekuatan tarik (*strength to weight ratio*) tinggi.

### 2.3 Baja

Baja adalah merupakan suatu campuran dari besi (Fe) dan karbon (C), dimana unsur karbon (C) menjadi dasar. Disamping unsur Fe dan C, baja juga mengandung unsur campuran lain seperti sulfur (S), fosfor (P), silikon (Si), dan mangan (Mn) yang jumlahnya dibatasi. Baja karbon adalah baja yang mengandung karbon antara 0,1% - 1,7%. Berdasarkan tingkatan banyaknya kadar karbon, baja digolongkan menjadi tiga tingkatan :

- a. Baja karbon rendah

Yaitu baja yang mengandung karbon kurang dari 0,30%. Baja karbon rendah dalam perdagangan dibuat dalam bentuk pelat, profil, batangan untuk keperluan tempa, pekerjaan mesin, dan lain-lain.

b. Baja karbon sedang

Baja ini mengandung karbon antara 0,30% – 0,60 %. Didalam perdagangan biasanya dipakai sebagai alat-alat perkakas, baut, poros engkol, roda gigi, ragum, pegas dan lain-lain.

c. Baja karbon tinggi

Baja karbon tinggi ialah baja yang mengandung karbon antara 0,6% – 1,5%. Baja ini biasanya digunakan untuk keperluan alat-alat konstruksi yang berhubungan dengan panas yang tinggi atau dalam 10 penggunaannya akan menerima atau mengalami panas, misalnya landasan, palu, gergaji, pahat, kikir, bor, bantalan peluru, dan sebagainya (Amanto,1999).

Baja banyak digunakan pada dunia industri karena baja memiliki sifat mekanis yang lebih baik daripada material lain misalnya besi. Sifat mekanis yang dimiliki baja yaitu tangguh, ulet, mudah ditempa, mudah diproses, sifatnya dapat diubah dengan perlakuan panas, sifatnya juga dapat diubah dengan kandungan karbonnya, banyak dipakai sebagai bahan peralatan, kadar karbon lebih rendah dibanding besi, kekuatannya juga lebih besar daripada besi.

Sifat baja juga dipengaruhi oleh unsur-unsur yang terkandung didalamnya. Unsur-unsur paduan yang ditambahkan untuk mengurangi sifat yang tidak diinginkan dan memperbaiki sifat-sifat lain yang diinginkan. Beberapa unsur paduan yang merubah sifat baja paduan adalah:

1. Silikon (Si)

Unsur silikon mempunyai pengaruh menaikkan tegangan tarik dan menurunkan kecepatan pendinginan kritis (laju pendinginan minimal yang dapat menghasilkan 100% martensit). Silikon merupakan unsur paduan yang ada pada setiap baja dengan jumlah kandungan lebih dari 0,4%.

2. Mangan (Mn)

Unsur mangan dalam proses pembuatan baja berfungsi sebagai deoksidan (pengikat O<sub>2</sub>) sehingga proses peleburan dapat berlangsung baik. Dengan kadar Mn yang rendah dapat menurunkan pendinginan kritis.

### 3. Nikel (Ni)

Unsur nikel memberikan pengaruh sama dengan Mn, yaitu menurunkan suhu kritis dan kecepatan kritis. Ni membuat struktur butiran menjadi halus dan menambah keuletan.

### 4. Krom (Cr)

Unsur krom meningkatkan kekuatan tarik dan keplastisan, menambah mampu keras, meningkatkan tahan korosi dan tahan suhu tinggi

### 5. Vanadium (V) dan Wolfram (W)

Unsur vanadium dan wolfram membentuk karbidat yang sangat keras dan memberikan baja dengan kekerasan yang tinggi. Kekerasan dan tahan panas yang cukup tinggi pada baja sangat diperlukan untuk mesin pemotongan dengan kecepatan tinggi (Kurniawan,2007).

#### 2.3.1 Baja St 41

Baja ST 41 merupakan jenis logam karbon yang sedang, artinya logam ini terdiri dari campuran ferrite dan pearlite yang kandungannya sama-sama besar atau setara dengan baja St 41. Daya tahan baja St 41 ini memiliki kekuatan dan keuletan yang cukup baik (*Metallic Material Specification hand book*, Robert B Ross), Arti dari baja jenis St 41 adalah baja karbon rendah yang mempunyai kekuatan tarik sebesar  $41 \text{ kg/mm}^2$ . Kandungan dari baja St 41 ini adalah

Tabel 2.2 Kandungan unsur paduan St 41

No.	Nama Unsur (simbol)	Persentase (%)
1	Besi (Fe)	98,985
2	Mangan (Mn)	0,6
3	Karbon (C)	0,10
4	Silikon (Si)	0,25
5	Fosfor (P)	0,03
6	Belerang (S)	0,035

Sumber : ASM Metals Handbook Vol 09

Aplikasi baja St 41 antarlain:

1. Digunakan untuk kawat, paku, *wire mesh*, peralatan otomotif dan sebagai bahan baku *welded fabrication* (kisi-kisi jendela atau pintu dan jeruji).
2. Aplikasi khusus seperti untuk kawat elektroda berlapis untuk keperluan pengelasan.

## 2.4 Pengelasan

Pengelasan sebagai metode penyambungan telah banyak digunakan untuk konstruksi bangunan baja dan konstruksi mesin, hal ini disebabkan karena metode penyambungan dengan las menghasilkan sambungan yang kuat, ringan dan biaya murah.

Metode pengelasan disamping digunakan untuk penyambungan juga digunakan untuk reparasi atau perbaikan, misalnya membuat lapisan keras pada perkakas, mempertebal bagian-bagian konstruksi yang aus.

Metode pengelasan kelihatannya sederhana, tetapi didalamnya banyak masalah yang harus diatasi dengan pemecahan yang memerlukan pengetahuan. Pengetahuan ini juga harus didampingi dengan praktek.

Perancangan sambungan konstruksi bangunan dan konstruksi mesin dengan las harus direncanakan; cara pengelasan, bahan las dan jenis las yang digunakan, serta cara pemeriksaannya, berdasarkan fungsi dari bagian-bagian bangunan atau mesin yang dirancang.

Klasifikasi Pengelasan Berdasarkan Cara Kerja :

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

Cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu

3. Pematrian

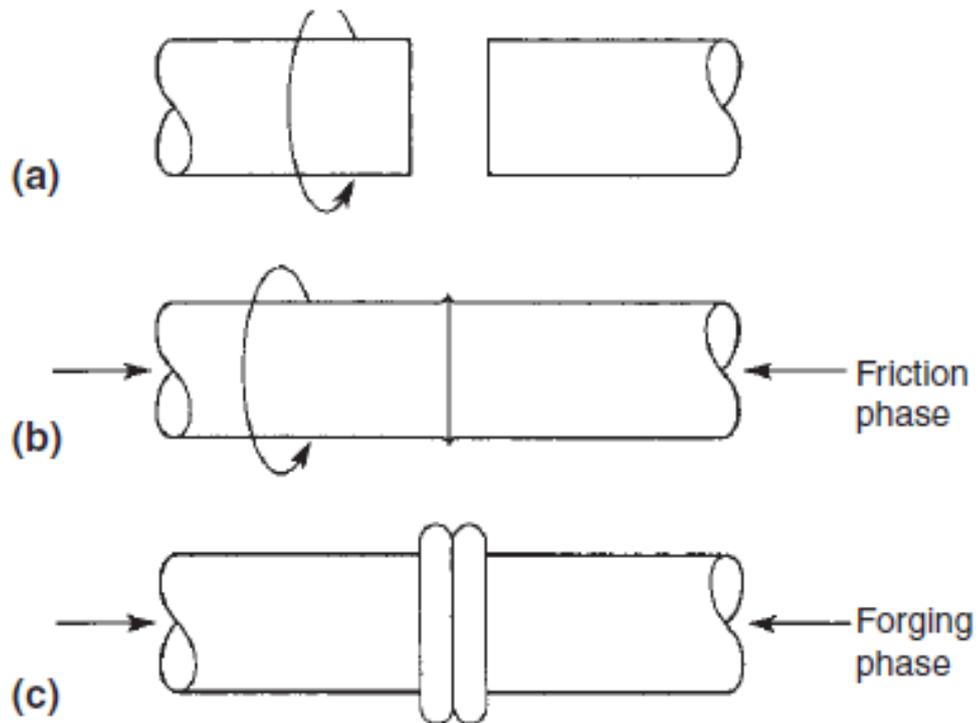
Cara pengelasan dimana sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah. Dalam hal ini logam induk tidak mencair.



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

### 2.5 Friction Welding

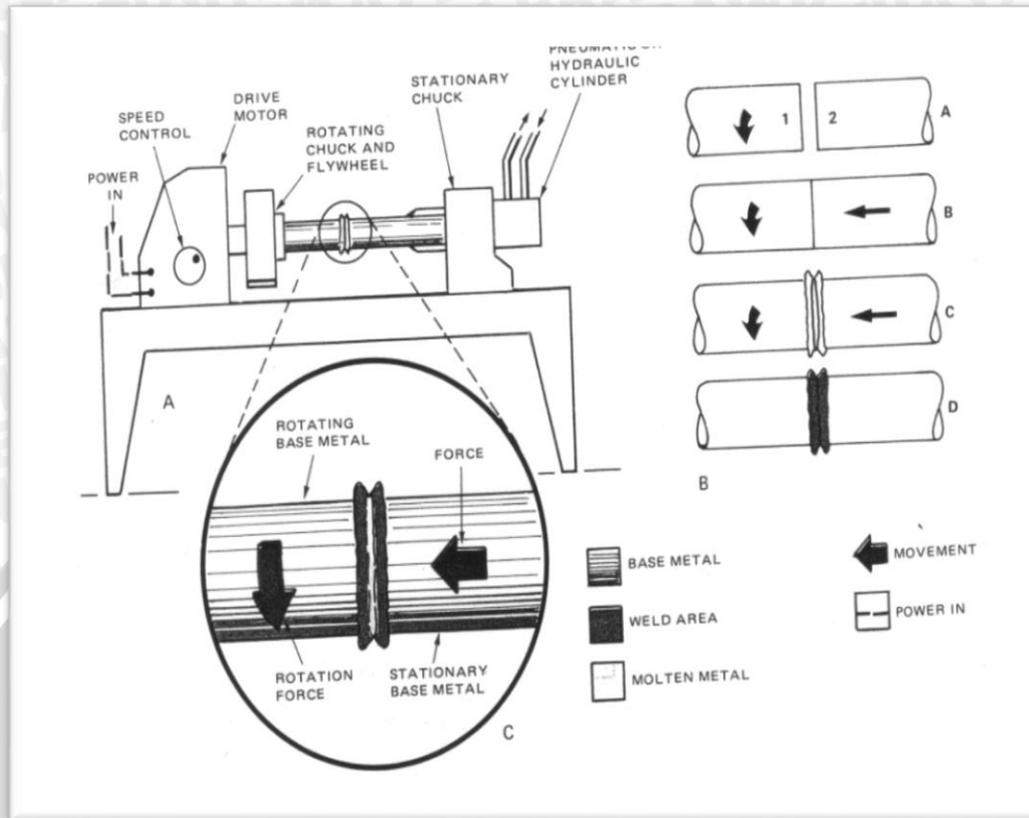
*Friction welding* adalah salah satu metode dalam pengelasan tekan. Las (*welding*) adalah suatu cara untuk menyambung benda padat dengan jalan mencairkannya melalui pemanasan (Sriwidharto, 1996:1). Dalam metode ini dua buah benda dapat menyatu karena adanya panas yang timbul karena adanya gesekan dua buah benda tersebut. Prinsip dasar dari pengelasan sendiri adalah dengan cara memanaskan logam yang akan di las supaya logam dapat meleleh dan bisa saling menempel. Salah satu cara untuk mendapatkan panas tersebut adalah dengan cara menggesekan logam itu sendiri dengan logam lainnya.



Gambar 2.2 Skema tahap-tahap dari proses *friction welding*  
Sumber : ASM International 2011, 179

Berdasarkan cara penggesekannya *friction welding* dibagi menjadi dua yaitu :

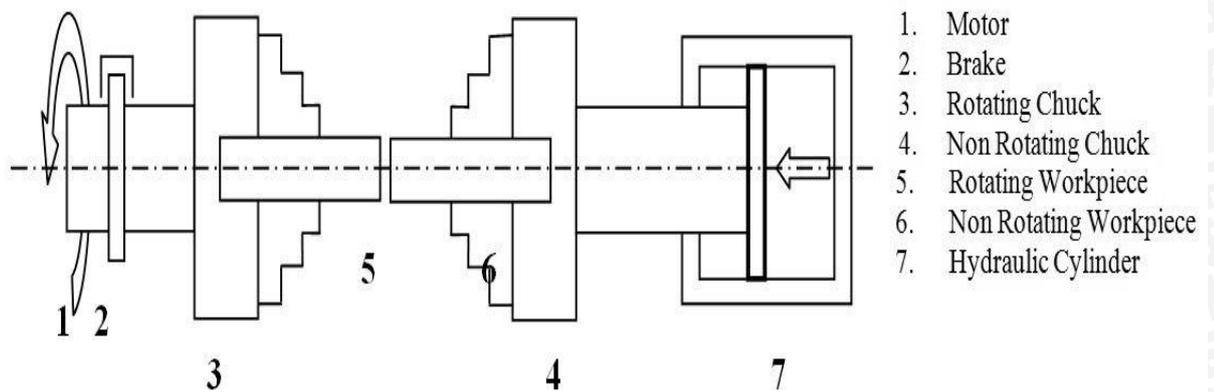
- Las gesek dengan sumber panas dari gesekan kedua permukaan benda kerja itu sendiri, contohnya *continous drive friction welding*.



Gambar 2.3 Mekanisme Las Gesek  
 Sumber : Keytometals AG

### 2.5.1 Continuous Drive Friction Welding

Las gesek merupakan pengelasan yang memanfaatkan panas yang berasal dari gesekan langsung dari benda itu sendiri dimana salah satu benda kerja diputar dan satunya diam dan menekan. Mekanisme proses ini adalah ketika salah satu benda diputar dengan kecepatan tinggi dan salah satu benda yang lain menekan benda yang berputar tersebut. Akibat dari penekanan tersebut timbul panas sehingga partikel dari dua logam dapat saling berikatan dan perputaran yang terjadi mengakibatkan partikel dari dua benda tersebut tercampur. Sedangkan penekanan menyebabkan partikel terdorong mengisi celah-celah kosong sekaligus mengeluarkan udara dan proses ini menghasilkan proses penyambungan logam tanpa pencairan atau yang dinamakan *solid state process*.



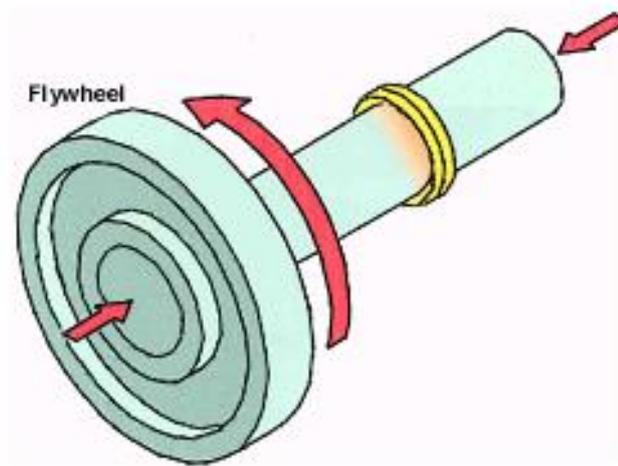
Gambar 2.4 *Continous Drive Friction Welding*  
Sumber :By MuminSahin and CenkMisirli

Pada pengelasan las gesek ini terdapat parameter-parameter yang harus diperhatikan ketika proses penyambungan, terutama parameter waktu dan gaya yang diberikan ketika proses pengelasan.

### 2.5.2 *Inertia Friction Welding*

Sistem berputar pengelasan terdiri dari dua *chuck* untuk memegang material yang akan dilas, salah satunya adalah tetap dan yang lainnya berputar. Sebelum pengelasan salah satu bagian pekerjaan melekat pada *chuck* berputar bersama dengan roda gila dengan berat tertentu. Potongan tersebut kemudian berputar hingga tingkat tinggi rotasi untuk menyimpan energi yang diperlukan dalam roda gila. Setelah berputar pada kecepatan yang tepat, motor ini dihapus dan potongan dipaksa bersama-sama di bawah tekanan. Kekuatan yang disimpan pada bagian setelah berputar berhenti untuk memungkinkan las untuk "mengatur".

Teknik ini juga dikenal sebagai pengelasan inersia, rotasi (atau gesekan *rotary*) pengelasan atau gesekan inersia pengelasan. Dalam *Inersia Friction Welding* motor drive terlepas, dan potongan-potongan kerja paksa bersama-sama oleh kekuatan las gesekan. Energi kinetik yang tersimpan dalam roda gila berputar didisipasikan sebagai panas pada antarmuka las sebagai kecepatan roda gila menurun.

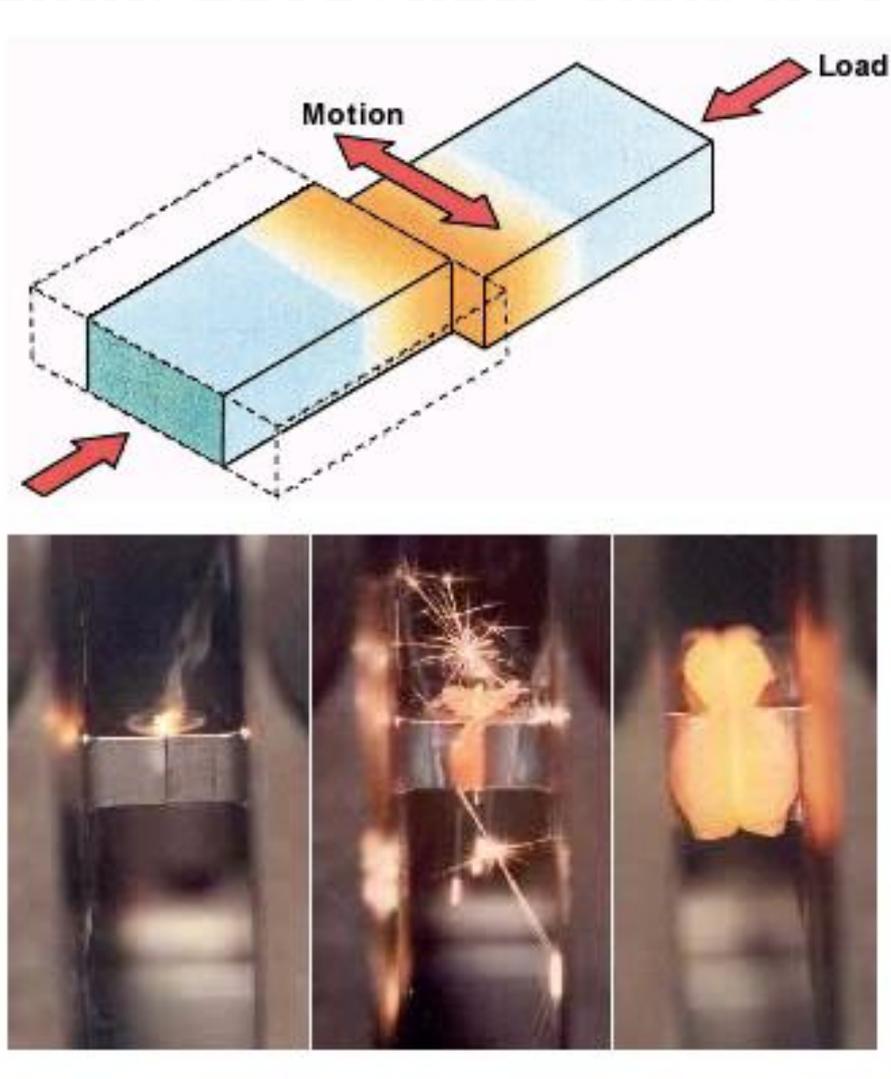


Gambar 2.5 *Inertia Friction Welding*

Sumber : (Kalle : 1999)

### 2.5.3 *Linier Friction Welding*

*Linier Friction Welding (LFW)* mirip dengan gerakan berputarnya las kecuali bahwa chuck bergerak berosilasi lateral bukannya berputar. Kecepatan jauh lebih rendah pada umumnya, yang membutuhkan potongan harus disimpan di bawah tekanan sepanjang waktu. Ini juga memerlukan bagian untuk memiliki kekuatan geser yang tinggi. Linear las gesekan membutuhkan mesin yang lebih kompleks daripada berputar pengelasan, tetapi memiliki keuntungan bahwa bagian dari bentuk apapun dapat bergabung, sebagai lawan bagian dengan titik pertemuan melingkar. Keuntungan lain adalah bahwa dalam banyak kasus kualitas bersama adalah lebih baik dari yang diperoleh dengan menggunakan teknik berputar.



Gambar 2.6 *Linear Friction Welding*

Sumber : (Philip : 2001)

#### 2.5.4 *Dissimilar Continous Drive Friction Welding*

Metode *Continous Drive Friction Welding* adalah suatu metode yang hampir sama dengan metode *Dissimilar Continous Drive Friction Welding* bedanya metode *Dissimilar Continous Drive Friction Welding* material yang di las berbeda. Logam *non ferrous* alumunium dan paduan banyak digunakan karena sifatnya yang baik dan tidak mahal. Namun alumunium paduan baik memiliki sifat seperti *stainless steel* yang kuat dan memiliki mampu las yang baik.

## 2.6 Pengujian Sambungan Las

Macam-macam pengujian

### 1. Pengujian *Destructive*

Pengujian merusak (*Destructive Test*) biasanya digunakan untuk mengukur sifat mekanik suatu material, seperti: kekuatan, kekerasan, *fatigue* dan sebagainya.

### 2. Pengujian *Non Destructive*

*Non destrructive test* (NDT) adalah aktivitas tes atau inspeksi terhadap suatu benda untuk mengetahui adanya cacat, retak, atau *discontinuity* lain tanpa merusak benda yang kita tes atau inspeksi. Pada dasarnya, tes ini dilakukan untuk menjamin bahwa material yang kita gunakan masih aman dan belum melewati *damage tolerance*. Material pesawat diusahakan semaksimal mungkin tidak mengalami kegagalan (*failure*) selama masa penggunaannya. NDT dilakukan paling tidak sebanyak dua kali. Pertama, selama dan diakhir proses fabrikasi, untuk menentukan suatu komponen dapat diterima setelah melalui tahap-tahap fabrikasi. NDT ini dijadikan sebagai bagian dari kendali mutu komponen. Kedua, NDT dilakukan setelah komponen digunakan dalam jangka waktu tertentu. Tujuannya adalah menemukan kegagalan parsial sebelum melampaui *damage tolerance*-nya.

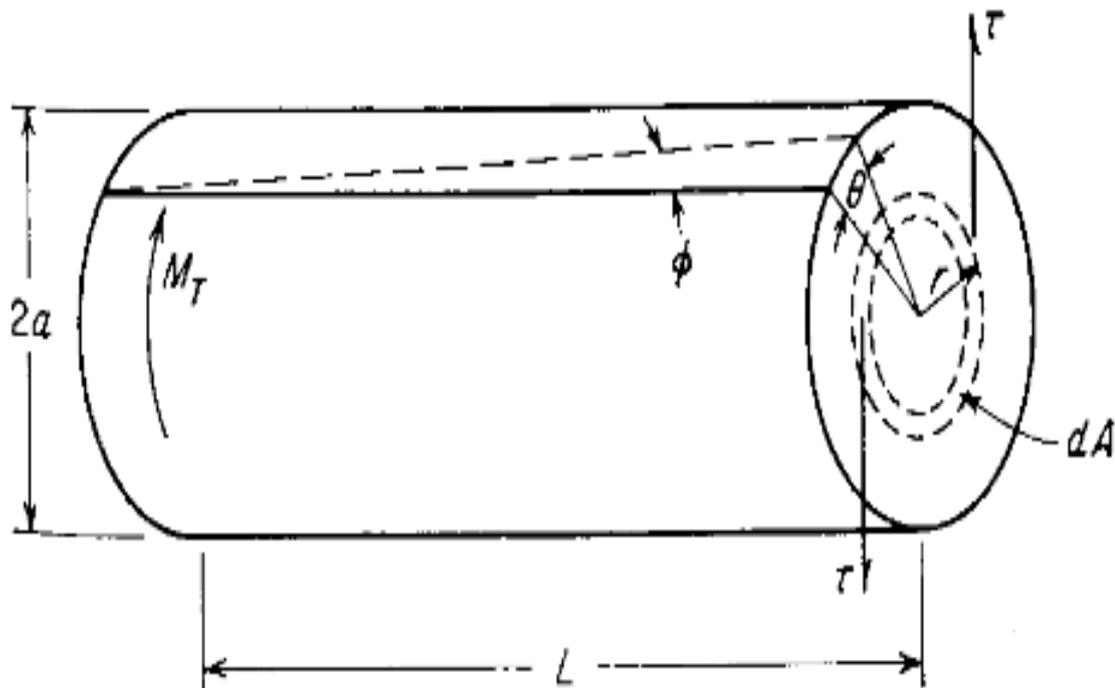
### 2.6.2 Pengujian Puntir

Pengujian ini merupakan jenis pengujian yang lebih spesifik dibandingkan pengujian-pengujian terdahulu (tarik, tekan, dan kekerasan). Dalam hal ini masih ada batas mulur dan batas pecah tetapi tidak ada kontraksi. Kontraksi sendiri merupakan perlawanan bahan terhadap beban akbiat adanya tegangan dalam. Pengujian puntir ini mampu memberikan informasi penting tambahan mengenai modulus elastisitas dalam arah geser (*shear*), kekuatan luluh puntir dan modulus pemuluran (*rupture*). Pengujian ini umumnya dilakukan pada material-material yang getas seperti baja perkakas dan pada komponen-komponen hasil fabrikasi seperti poros, as roda dan sebagainya.

Tegangan puntir disebabkan oleh momen puntir yang bekerja pada penampang batang. Dalam menganalisa tegangan puntir, momen torsi yang biasanya dinyatakan dalam vektor rotasi diubah menjadi vektor translasi. Seperti halnya gaya aksial, tegangan puntir muncul (momen puntir ada) bila batang tersebut dipotong. Metode irisan tetap digunakan untuk mendapatkan momen puntir dalam, sehingga tegangan puntir dapat dicari. Momen puntir

dalam ini yang akan mengimbangi momen puntir luas sehingga bagian struktur tetap dalam kondisi seimbang.

Kondisi kesetimbangan yang terjadi antara momen reaksi dari material dan momen puntir luar ini dapat dilihat pada rumus :



Gambar 2.7 Pengujian puntir pada benda uji silinder  
Sumber: Dieter (1988:339)

Pada gambar 2.5 bisa dijelaskan bahwa batang silinder yang mengalami sebuah torsi pada salah satu ujungnya. Saat memutar ditolak oleh tegangan geser yang menyebabkan potongan melintang pada batang. Tegangan geser pada tengah-tengah batang memiliki nilai nol dan meningkat secara linear dengan jari-jari lingkaran. Perhitungan momen puntir bisa dilihat pada rumus :

$$M_T = \int_{r=0}^{r=a} \tau \cdot r \cdot dA = \frac{\tau}{r} \int_{r=0}^{r=a} r^2 dA \quad (2-1)$$

Dimana  $(\int r^2 dA)$  dapat diartikan sebagai momen inersia polar dari benda uji dan dapat disebut dengan J, maka :

$$M_T = \frac{\tau \cdot J}{r} \quad (2-2)$$

Kemudian dapat dihasilkan

$$\tau = \frac{M_T \cdot r}{J} \quad (2-3)$$

dengan :

$M_T$  = momen puntir (N.mm)

$\tau$  = tegangan geser (N/mm<sup>2</sup>)

$r$  = jarak radial dari pusat (mm)

$J$  = momen inersia polar yang tergantung geometris (mm<sup>4</sup>)

### 2.7 Burn Off Length

Burn Off Length adalah panjang material yang berkurang akibat proses pengelasan *continuous friction welding*. Dan bisa juga diartikan sebagai panjang material tersebut yang berkurang akibat dimana pada salah satu material di beri tekanan, sehingga akibat adanya gesekan dan tekanan yang menimbulkan panas pada dua material tersebut saat proses pengelasan

### 2.8 Sudut Chamfer

Pemangkasan sudut untuk menghubungkan dua garis dengan garis lurus baru yang mempunyai kemiringan tertentu, dihasilkan dari jarak garis yang di hilangkan .

### 2.9 Energi pada Proses *Friction Welding*

Pada proses *friction welding* terdapat energi panas yang dihasilkan akibat proses gesekan antara dua permukaan logam aluminium. Hal tersebut diasumsikan bahwa tekanan gesek yang sama menyebar pada bagian-bagian benda berputar dan benda yang tidak berputar. Energi panas yang dihasilkan dapat menyatakan dengan rumus :

$$d\dot{Q} = \omega \cdot dM_t \quad (2-5)$$

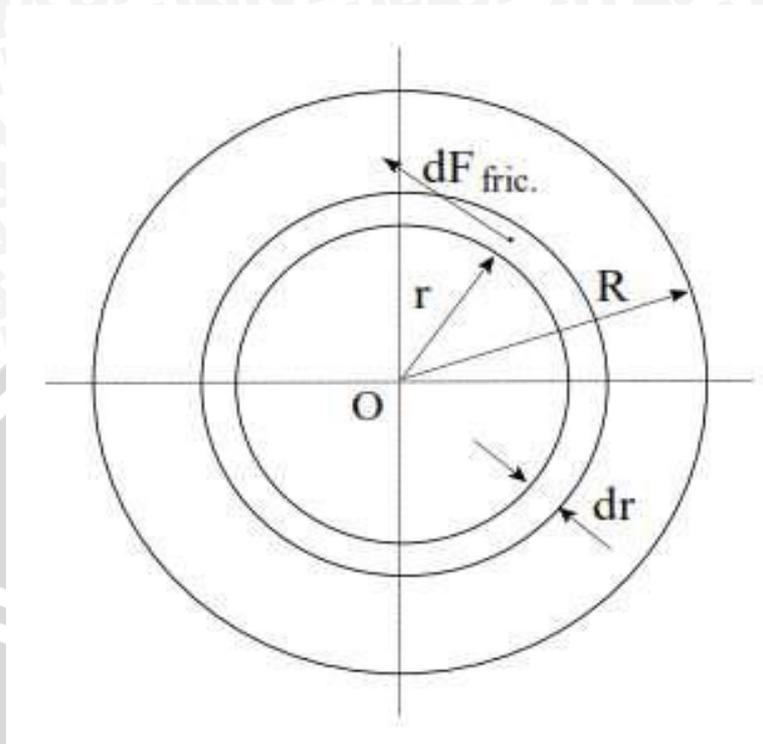
Nilai  $\omega$  ialah kecepatan putaran dan  $dM_t$  ialah perbedaan nilai momen torsi.

Kemudian nilai torsi dapat dihitung dengan rumus :

$$dM_t = r \cdot dF_{friction} \quad (2-6)$$

Nilai  $dF_{friction}$  adalah gaya gesek pada lingkaran dengan lebar  $dr$  dan  $r$  adalah jari-jari lingkaran. Kemudian, hal tersebut dapat dijelaskan bahwa gaya gesek  $dF_{friction}$  setara

dengan koefisien gesek dikalikan dengan gaya aksial pada tekanan  $P$  pada lingkaran dengan jari-jari.



Gambar 2.6 Friction surface

Sumber: *Modelling of friction welding* (2010)

Bisa dijelaskan dari gambar 2.6 bahwa total energi yang terjadi pada permukaan yang bergesekan adalah panas yang terjadi selama bergesekan, dengan jarak  $r$  dan ketebalan  $dr$  dari sumbu yang berotasi.

$$dF_{friction} = (\mu \cdot P \cdot 2\pi r \cdot dr) \quad (2-7)$$

dengan menggabungkan persamaan (2-6) dan persamaan (2-7) pada persamaan (2-5) maka didapatkan :

$$d\dot{Q} = 2\pi \cdot \mu \cdot \omega \cdot P \cdot r^2 \cdot dr \quad (2-8)$$

Rumus (2-8) tersebut kemudian di integralkan dengan nilai  $R$  pada (spesimen pejal) untuk menjelaskan jumlah kalor yang terjadi selama proses gesekan.

$$dQ = \int_0^R 2\pi \cdot \mu \cdot \omega \cdot P \cdot r^2 \cdot dr \quad (2-9)$$

$$\dot{Q} = 2 \cdot \pi \cdot \mu \cdot P \cdot \omega \cdot \frac{r^3}{3} \Big|_0^R \quad (2-10)$$

$$\dot{Q} = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot \mu \cdot P \cdot \omega \cdot R^3 \quad (2-11)$$

dengan :

$\dot{Q}$  : Jumlah energi mekanik per satuan waktu yang terjadi permukaan las gesek (W)

$P$  : Friction pressure ( $N/m^2$ )

$\omega$  : Kecepatan putaran spindle ( $rad/s$ )

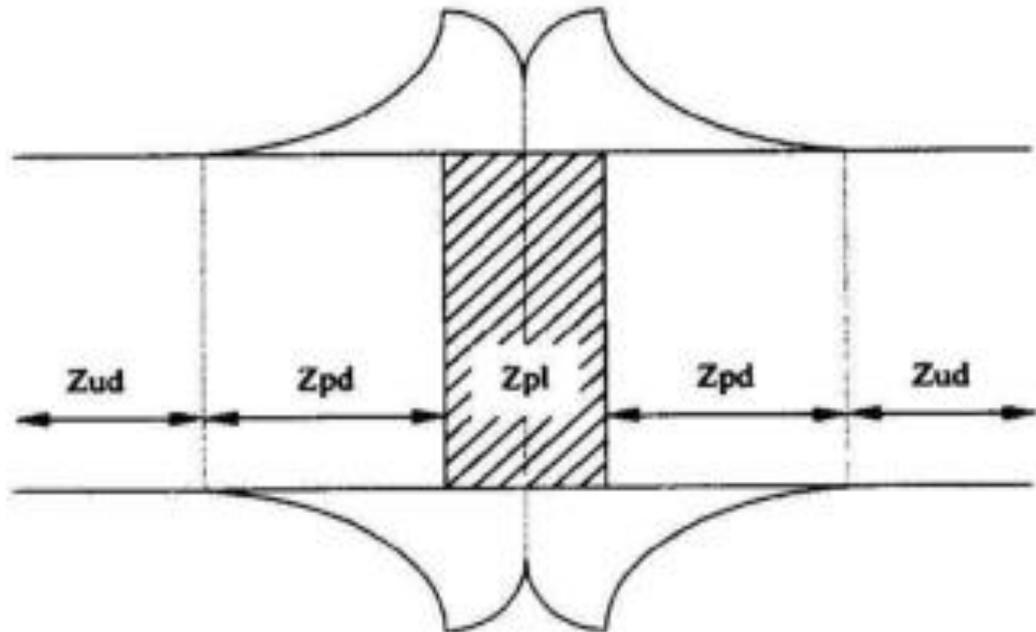
$r$  : Radius benda kerja (m)

$M_t$ : Momen Torsi (kg . m)

$\mu_s$  : Koefisien gesek aluminium

## 2.10 Daerah Heat Affcted Zone (HAZ)

Daerah HAZ adalah daerah yang terpengaruh panas ketika proses pengelasan. Akibat dari adanya panas ini struktur mikro dan sifat-sifat mekanisnya berubah dari keadaan semula. Pada pengelasan gesek ada beberapa bagian yang dan bagian tersebut dibagi menjadi tiga yakni *fully plasticized region (zpl)* atau daerah sambungan yang menyatu dengan sempurna, *partly deformed region (zpd)* ini merupakan daerah *heat affected zone (HAZ)*, karena pada daerah ini mengalami panas sebagian yang diakibatkan proses pengelasan dan *undeformed region (zud)* atau daerah yang tidak terpengaruh panas sama sekali ketika proses pengelasan. Untuk mengetahui daerah-daerah tersebut maka dapat dilihat dari foto makrostruktur.



Gambar 2.7 Daerah sambungan yang menyatu dengan sempurna ( $zpl$ ), daerah yang terdeformasi (HAZ) ( $zpd$ ) dan daerah yang tidak terpengaruh panas sama sekali ketika proses pengelasan ( $zud$ )

Sumber : Lin dkk (1999)

Semakin besar panas yang dihasilkan maka daerah HAZ yang terbentuk juga semakin besar. Ini akan menyebabkan kekuatan dari sambungan las tersebut akan semakin menurun.

### 2.11 Hipotesis

Berdasarkan teori dan beberapa penelitian yang sudah pernah dilakukan dapat ditarik hipotesa bahwa penggunaan sudut *chamfer* dan *burn of length* dengan gaya tekan akhir akan mempengaruhi kekuatan puntir sambungan las gesek pada Al 6061. Dengan adanya variasi ini pada las gesek akan mempengaruhi masukan panas (*Heat Input*), yang akan mempengaruhi lebar daerah HAZ. Semakin besar nilai *burn of length* maka semakin naik nilai kekuatan puntirnya, sedangkan semakin tinggi derajat sudut *chamfer* maka semakin kecil kekuatan puntirnya