

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Mardiyono (2011), dalam penelitiannya yang berjudul “Pengujian Sambungan Pada Proses Pengelasan Gesek Beda Logam Antara St 60 dengan AISI 304” menyimpulkan bahwa hasil pengujian tegangan tarik menunjukkan nilai maksimum kemudian turun lagi dimana nilai tegangan maksimum dicapai pada 664 MPa, yaitu 95% dari kekuatan tarik material induk AISI 304 (697 MPa) dan 92% dari kekuatan tarik material induk St 60 (715 MPa). AISI 304 memiliki daerah HAZ lebih kecil dibandingkan St 60 dan nilai kekerasan AISI 304 cenderung dibawah St 60.

Santoso dkk (2012), dalam penelitiannya yang berjudul “Pengaruh Sudut *Chamfer* dan Gaya Tekan Akhir Terhadap Kekuatan Tarik dan Porositas Sambungan Las Gesek Pada Paduan Al-Mg-Si” menyimpulkan bahwa kekuatan tarik pada pengelasan gesek aluminium paduan Al-Mg-Si akan meningkat seiring dengan semakin kecilnya sudut *chamfer* dan semakin besarnya gaya tekan akhir.

Irawan dkk (2016), dalam penelitiannya yang berjudul “Kekuatan Puntir Pada Sambungan Las *Continuous Drive Friction Welding* Aluminium Al6061 Berbentuk Silinder Dengan Sudut *Chamfer* Satu Sisi Pada Area Gesekan” menyimpulkan bahwa kekuatan puntir tertinggi terdapat pada spesimen dengan perbandingan diameter D_1/D_2 0.25. hal ini disebabkan karena memiliki luas Zpl yang besar, ukuran butiran yang kecil, adanya penambahan kandungan Mg_2Si pada area Zpl dan Zpd dan porositas yang kecil pada sambungan las CDFW tersebut.

Irawan dkk (2012), dalam penelitiannya yang berjudul “Kekuatan Tarik Pada Sambungan Las *Spinning Friction Welding* Aluminium Al6061 Dengan Variasi Sudut *Chamfer*” menyimpulkan bahwa sudut *chamfer* akan mempengaruhi kekuatan tarik pada sambungan las. Spesimen dengan sudut *chamfer* 30^0 merupakan spesimen dengan nilai kekuatan tarik tertinggi. Dari hasil macrostructure, didapatkan bahwa spesimen tersebut memiliki kekuatan tarik tertinggi karena memiliki daerah *fully plasticized zone* yang besar, porositas yang kecil dan luas daerah HAZ yang kecil.

2.2 Aluminium

Aluminium merupakan unsur kimia golongan IIIA dalam sistim periodik unsur, dengan nomor atom 13 dan berat atom 26,98 gram per mol (sma). Aluminium merupakan logam yang ringan dengan berat jenis 2.7 gram/cm³ dan titik leburnya sekitar 660°C. Konduktifitas listriknya 60% lebih dari tembaga sehingga juga digunakan untuk peralatan listrik. Penggunaan Aluminium dan paduannya antara lain untuk pembuatan kabel, kerangka kapal terbang, mobil dan berbagai produk peralatan rumah tangga. Senyawanya dapat digunakan sebagai obat, penjernih air, fotografi serta sebagai ramuan cat, bahan pewarna, ampelas dan permata sintesis (Sudira dan Sato.1992). paduan aluminium dapat digolongkan menjadi beberapa kelompok, yaitu:

1. Paduan Aluminium Tempa

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

2. Paduan Aluminium Cor

Paduan ini dikerjakan dengan cara menuang logam cair yang dituang pada cetakan dengan bentuk yang diinginkan dan didinginkan atau dibekukan, sehingga mendapatkan produk yang sesuai dengan yang diinginkan dan kemudian akan dilakukan *finishing*.

3. Paduan Aluminium yang dapat diberi perlakuan panas (*Heat-Treatable Aluminium Alloy*)

Paduan ini biasanya ditambahkan beberapa elemen untuk memperkuat aluminium, elemen yang ditambahkan biasanya *copper* (seri 2xxx), magnesium dan *silicon* (seri 6xxx) dan *zinc* (seri 7xxx) dalam hal ini material dipanaskan antara 900-1050F tergantung dari paduannya, sedangkan kekuatannya tergantung pada pemanasan, *quenching* dan *artificial aging*.

4. Paduan aluminium yang tidak dapat diberi perlakuan panas (*Non-Heat-Treatable Aluminium Alloy*)

Paduan ini ditambahkan beberapa elemen dan ada yang murni aluminium (seri 1xxx), elemen yang ditambahkan adalah mangan (seri 3xxx), *silicon* (seri 4xxx) dan magnesium (seri 5xxx). Untuk meningkatkan kekuatan paduan aluminium ini dilakukan dengan variasi suhu dan *cold working* (pendinginan) atau *strain hardening*.

2.2.1 Sifat-Sifat Aluminium

Aluminium mempunyai ketahanan korosi dan hantaran listrik yang baik serta sifat-sifat lainnya sebagai sifat logam. Untuk menaikkan sifat mekaniknya, maka secara umum

aluminium biasanya dipadu dengan menambahkan Si, Fe, Cu, Mn, Mg, dan Zn. Si dan Mg ditambahkan untuk menambah daya tahan terhadap korosi, Fe untuk mencegah terjadinya penyusutan, Cu untuk menambah kekuatan, dan Mn untuk memperbaiki mampu bentuk. Penggunaan dari aluminium dan paduannya antara lain untuk pesawat terbang, kapal laut, dll

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
 - c. Unsur yang ditambahkan adalah Mg, Cu dan Cr

2.2.2 Sifat Mampu Las Aluminium

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

1. Karena panas jenis dan daya hantar panasnya yang tinggi maka sukar sekali untuk memanaskan dan mencairkan sebagian kecil saja.
2. Paduan aluminium 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. Karena mempunyai koefisien muai yang besar, maka mudah sekali terjadi deformasi sehingga paduan-paduan yang mempunyai sifat getas panas akan cenderung membentuk retak panas.

4. Karena perbedaan yang tinggi antara kelarutan hydrogen dalam logam cair dan logam padat, maka dalam proses pembekuan yang terlalu cepat akan terbentuk rongga halus bekas kantong-kantong hydrogen.
5. Paduan aluminium mempunyai berat jenis rendah, karena itu banyak zat-zat lain yang terbentuk selama pengelasan akan tenggelam. Keadaan ini memudahkan terkandungnya zat-zat yang tidak dikehendaki didalamnya.
6. Karena titik cair dan viskositasnya rendah, maka daerah yang kena pemanasan mudah mencair dan jatuh menetes. (Wirjosumarto, 2000)

Sifat mampu las dari aluminium dan paduannya: berdasarkan sifat mampu lasnya aluminium dan paduannya dapat dibagi menjadi:

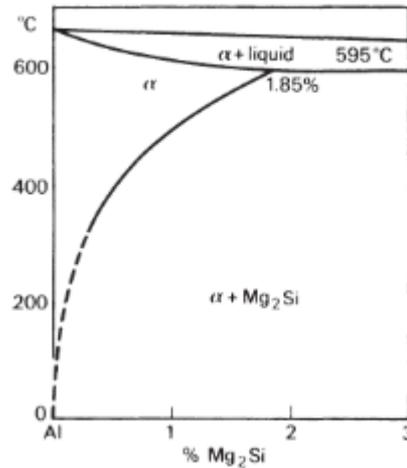
1. Jenis aluminium murni teknik dan jenis paduan Al-Mn
2. Jenis paduan Al-Mg
3. Jenis paduan Al-Zn-Mg
4. Jenis paduan Al-Mg-Si
5. Jenis paduan Al-Cu dan paduan Al-Zn

Logam dalam kelompok pertama dan kedua mempunyai sifat mampu las yang baik. Kelompok ketiga dan keempat dapat dilas dengan baik asal diikuti dengan proses perlakuan panas kembali. Aluminium kelompok ketiga lebih unggul daripada aluminium kelompok keempat karena dapat mencapai kekuatan semula dengan pengerasan alamiah. Sedangkan aluminium kelompok kelima hampir tidak mungkin untuk dilakukan proses pengelasan (wirjosumarto, 2000).

2.2.3 Paduan Al-Mg-Si

Paduan Al-Mg-Si adalah paduan yang mampu diberi perlakuan panas dan mempunyai sifat tahan korosi, mampu potong dan mampu las. Jika aluminium dipadukan dengan magnesium dan silikon maka akan terbentuk aluminium silikat (Mg_2Si). Aluminium sendiri banyak yang sudah mengandung Si maka penambahan Mg diperlukan untuk menghasilkan efek pengerasan dari Mg_2Si . Tetapi paduan ini akan menjadi getas maka untuk mengurangi hal ini dibutuhkan penambahan sekitar 0,03% - 0,1 %.

Beberapa produk yang menggunakan paduan aluminium Al-Mg-Si antara lain ring piston, silinder linier, pipa, tabung, bantalan dan komponen pompa.



Gambar 2.1 Diagram fase *Pseudo-binary* pada paduan Al-Mg-Si
Sumber : Polmear (1995 : 63)

Dari gambar 2.1 dapat dilihat bahwa kelarutan paduan aluminium Mg-Si semakin menurun. Kelarutan Mg_2Si pada fasa α terjadi hingga 1,85% pada temperature $595^{\circ}C$. Titik cair terendah untuk mencairkan Al-Mg-Si yaitu pada temperatur $595^{\circ}C$. Paduan Al-Mg-Si memiliki berat jenis $2,7 \text{ gr/cm}^3$.

Tabel 2.1 Komposisi kimia berdasarkan berat Al6061

No	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)

Tabel 2.2 Komposisi Kimia Paduan pada Al-Mg-Si

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Na
0,529%	0,344%	0,229%	0,125%	0,795%	0,0490%	0,0372%	0,0249%	0,00032%

Ca	Ni	Pb	P	Sn	Sb	Sr	Be
0,00016%	0,0103%	0,0022%	<0,00050%	0,0013%	<0,00040%	<0,00010%	0,00006%

Zr	Bi	Cd	Al
0,00067%	<0,00030%	0,00063%	97,8%

Sumber : PT. SUTINDO

2.3 Baja

Baja merupakan paduan yang sebagian besar terdiri dari unsur besi dan karbon 0,2%-2,1% (Choudhury *et al.*, 2001). Selain itu juga mengandung unsur-unsur lain seperti sulfur (S), fosfor (P), silikon (Si), mangan (Mn), dan sebagainya. Namun unsur-unsur ini hanya dalam presentase kecil. Sifat baja karbon dipengaruhi oleh presentase karbon dan struktur mikro. Sedangkan struktur mikro pada baja karbon dipengaruhi oleh perlakuan panas dan komposisi baja. Karbon dengan campuran unsur lain dalam baja dapat meningkatkan nilai kekerasan, tahan gores dan tahan suhu. Unsur paduan utama baja adalah karbon, dengan ini baja dapat digolongkan menjadi tiga yaitu baja karbon rendah, baja karbon sedang, dan baja karbon tinggi. (Amanto, 1999)

Klasifikasi baja menurut kandungan karbon dibagi menjadi tiga macam, yaitu:

1. Baja karbon rendah

Baja karbon rendah mengandung karbon dalam campuran baja kurang dari 0,3%C. Baja ini tidak dapat dikeraskan karena kandungan karbon yang tidak cukup untuk membentuk structure martensit.

2. Baja Karbon Sedang

Baja karbon sedang mengandung karbon 0,3%C-0,6%C. Dengan kandungan karbon seperti itu baja ini bisa dikeraskan melalui proses perlakuan panas yang sesuai.

3. Baja Karbon Tinggi

Baja Karbon Tinggi memiliki kandungan karbon antara 0,6%C-1,5%C dan memiliki kekerasan yang lebih tinggi tetapi keuletannya lebih rendah, pengerasan dengan perlakuan panas pada baja karbon tinggi tidak memberikan hasil yang optimal karena terlalu banyaknya struktur martensit, sehingga membuat baja menjadi getas (Amanto, 1999)

Sedangkan baja paduan terdiri dari:

1. Baja Paduan Rendah (Low alloy steel)

Baja paduan rendah merupakan baja paduan yang elemen paduannya kurang dari 2,5% wt, misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain

2. Baja Paduan Menengah (Medium Alloy Steel)

Baja paduan menengah merupakan baja paduan yang elemen paduannya 2,5%-10% wt, misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain.

3. Baja Paduan Tinggi (High Alloy Steel)

Baja paduan tinggi merupakan baja paduan yang elemen paduannya lebih dari 10%wt, misalnya unsur Cr,Mn,Ni,S,Si,P dan lain lain (Amanto, 1999)

2.3.1 Sifat-Sifat Baja

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 deoksidator (pengikat O₂) 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).

2.3.2 Baja St 41

Baja St 41 adalah baja yang memiliki gaya tarik maksimal 40 kg/mm², baja St 41 termasuk dalam baja karbon rendah yaitu memiliki kandungan karbon antara 0,025% - 0,25% C. Setiap 1 ton baja karbon rendah memiliki 10–30 kg karbon (Purwanto, 2012). St 41 merupakan baja yang memiliki kekuatan tarik 41 kg/mm². Baja St 41 memiliki nilai kekerasan yang lebih rendah dibandingkan dengan besi cor, karena adanya perlit dan ferit dan perlit yang dikandung lebih banyak daripada ferit. Penggunaan baja St 41 adalah untuk paku, wire mesh, kawat, peralatan automotif dan bahan baku welded fabrication, kawat elektroda berlapis untuk keperluan pengelasan. Komposisi unsur-unsur yang dikandung pada baja akan memberikan reaksi yang berbeda-beda pada saat baja mengalami proses perlakuan panas (heat treatment). Ada beberapa masalah utama dalam pemakaian baja yaitu sifat korosif dan tahan terhadap panas. Dengan menggunakan komposisi kimia dan heat treatment yang tepat dapat mengantiipasi kelemahan dari baja tersebut sesuai dengan kebutuhan.

2.4 Pengelasan

2.4.1 Pengertian Las

Las (*welding*) adalah suatu cara untuk menyambung benda padat dengan jalan mencairkannya melalui pemanasan (sriwidharto, 1996). Sedangkan definisi dari *Deutsche Industri Normen* (DIN) las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logm dengan menggunakan energi panas (Wirjosumarto, 2000).

2.4.2 Klasifikasi Pengelasan

Pengklasifikasian las dibagi menjadi 2 macam yaitu klasifikasi berdasarkan cara kerja dan klasifikasi berdasarkan energi yang digunakan. Klasifikasi yang pertama membagi las dalam kelompok las cair, las tekan, las patri dan lain lain. Sedangkan klasifikasi yang kedua membedakan adanya kelompok-kelompok seperti las listrik, las kimia, las mekanik dan seterusnya. Diantara kedua pengklasifikasian tersebut, klasifikasi las berdasarkan cara kerja lebih banyak digunakan. Klasifikasi las berdasarkan cara kerja dibagi menjadi tiga, yaitu:

1. Pengelasan cair adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan sampai mencair dengan sumber panas dari busur listrik atau semburan api gas yang terbakar.
2. Pengelasan tekan adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu
3. Pematrian adalah cara pengelasan dimana sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah. Dalam carai ini logam induk tidak ikut mencair (Wiriyosumarto, 2000).

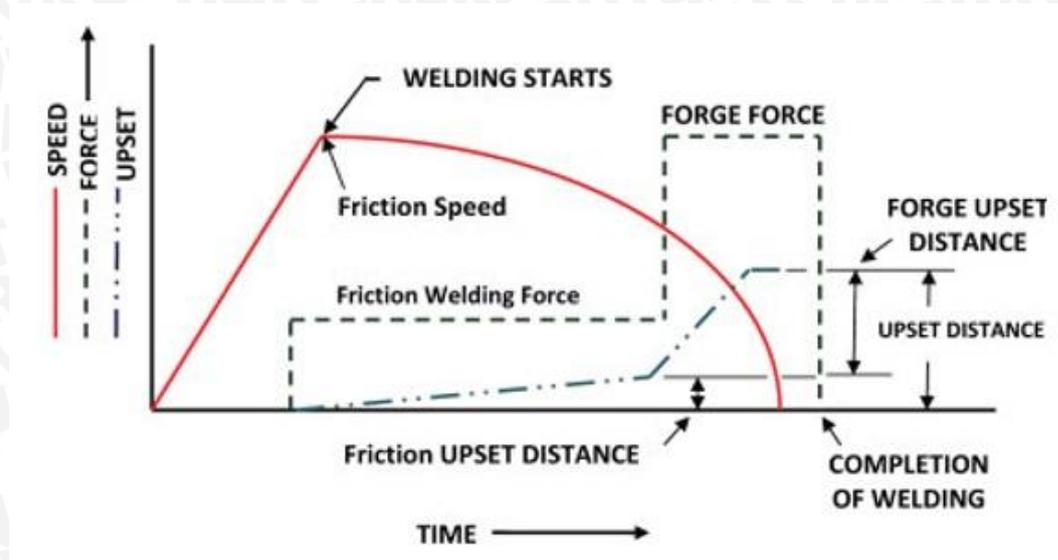
2.5 Friction Welding

Pengelasan gesek (*friction welding*) adalah penyambungan dua buah material logam menjadi satu. Panas yang ada pada pengelasan ini berasal dari energi mekanik yang berubah menjadi energi panas yang terjadi pada permukaan dua material karena adanya gesekan selama gerak putar dibawah tekanan (kalpakjian, 2001). Friction welding dapat diklsifikasikan menjadi tiga, yaitu *linear friction welding*, *continuous drive friction welding* dan *inertia friction welding*. Beberapa keuntungan yang dimiliki *friction welding* adalah menghemat biaya untuk material dan mempersingkat waktu dalam penyambungan dua material yang sama ataupun material yang berbeda (*dissimilar*), daerah HAZ yang dihasilkan dalam pengelasan ini sangat sempit, dapat menyambung dua buah material dengan bentuk buat atau tidak bulat dan kekuatan sambungan las hampir sama dengan kekuatan logam induknya.

2.5.1 Inertia Friction Welding

Inertia friction welding merupakan salah satu metode dalam pengelasan gesek yang banyak digunakan. Dalam prosesnya salah satu spesimen berputar dan gaya tekan diberikan saat spesimen bergesekan. Dalam inertia friction welding, salah satu spesimen berputar dengan menggunakan *flywheel* dan spesimen lainnya ikut terkendali dalam putaran spesimen yang diputar menggunakan *flywheel*. *Flywheel* dipercepat putarannya sampai putaran yang ditentukan untuk mendapatkan energi yang dibutuhkan. Lalu motor penggerak dilepas dan spesimen diberi gaya tekan bersamaan. Hal ini menyebabkan permukaan spesimen akan bergesekan dengan gaya tekan yang diberikan. Energi kinetic yang dihasilkan oleh putaran *flywheel* akan menghasilkan energi panas pada permukaan spesimen yang berputar hingga putaran *flywheel* menurun. Penambahan gaya tekan akhir (*forged force*) akan dilakukan sebelum putaran berhenti. Gaya tekan akhir (*Forged force*)

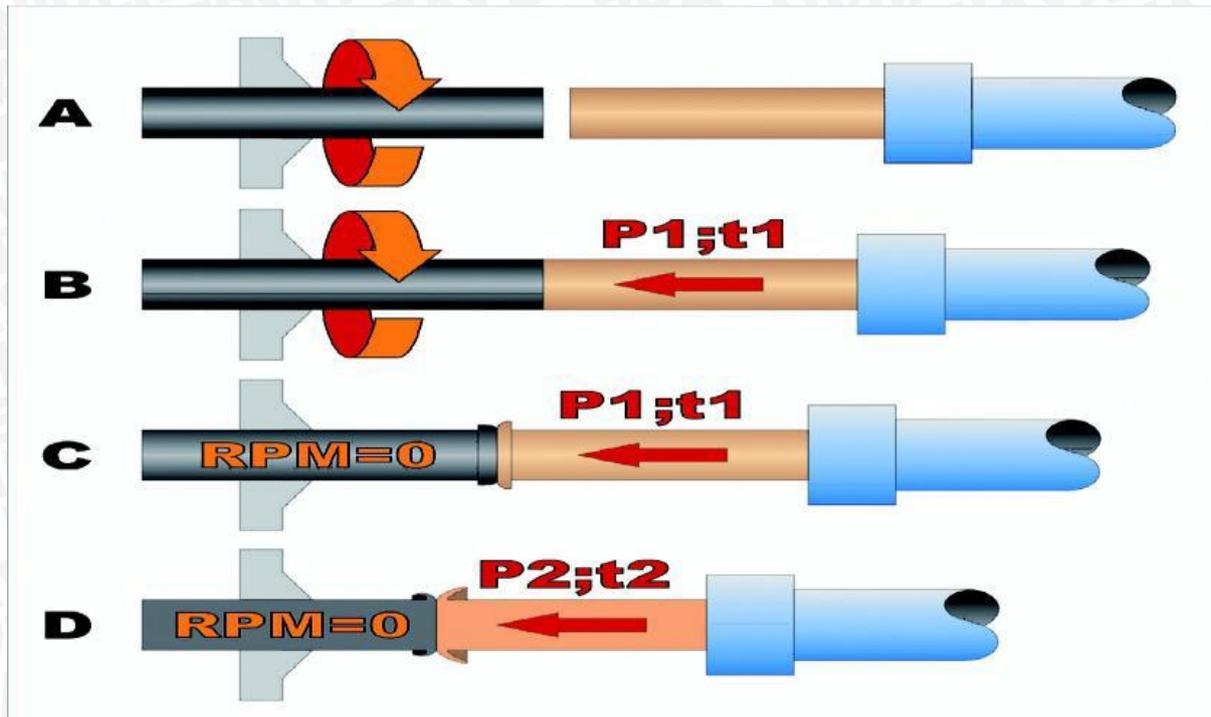
ditahan hingga waktu yang telah ditentukan setelah putaran berhenti. Parameter inertia friction welding dapat dilihat pada gambar berikut.



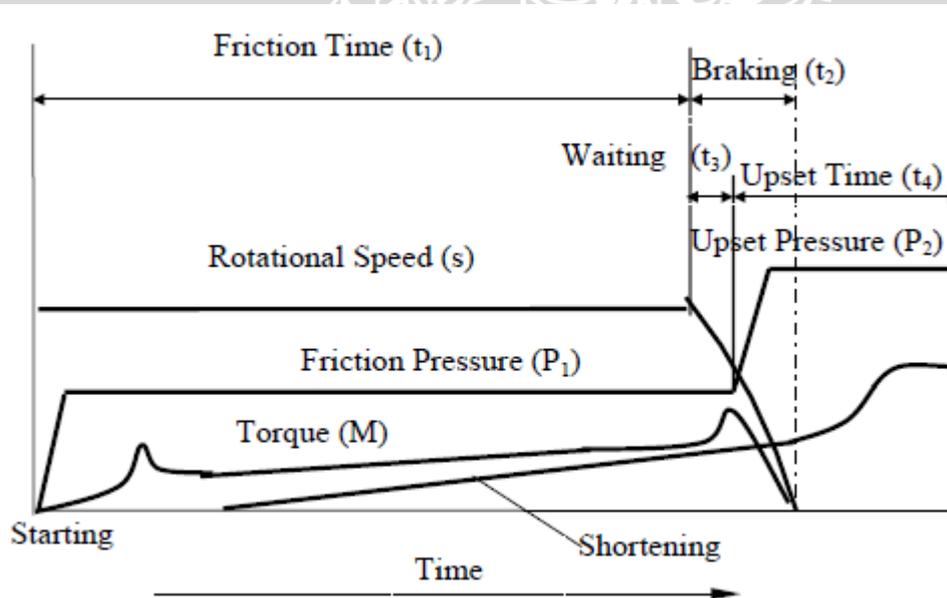
Gambar 2.2 Parameter *Inertia Friction Welding*
Sumber : Uday (2010)

2.5.2 Continuous Drive Friction Welding (CDFW)

Metode *friction welding* yang sering digunakan dalam industry untuk benda pejal adalah continuous drive friction welding. *Continuous drive friction welding* merupakan metode las gesek dimana salah satu material berputar dan material yang lain menekan permukaan material yang berputar untuk menyambungkan dua benda (Tyagita, 2014).



Gambar 2.3 Proses Continuous Drive Friction Welding
Sumber : Shubhvardhan (2012)

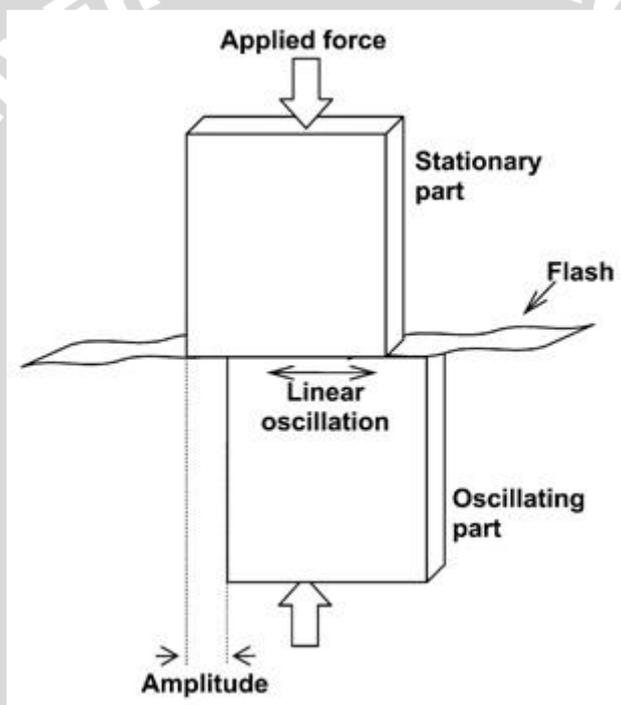


Gambar 2.4 Pemilihan parameter dengan waktu untuk ketiga fase dari las gesek
Sumber : Sahin (2006)

Parameter yang diperhatikan pada *friction welding* adalah waktu gesekan, waktu tempa, tekanan gesekan, tekanan tempa dan kecepatan putar (kalpakjian, 2001).

2.5.3 Linear Friction Welding

Linear Friction Welding adalah proses penyambungan material dimana material yang diam menekan material yang bergerak secara linear untuk menghasilkan panas yang disebabkan oleh gesekan. Panas yang dihasilkan bersamaan dengan gaya yang diberikan secara tegak lurus pada permukaan spesimen akan menyebabkan material terdeformasi. *Flash* yang dihasilkan karena gaya gesekan akan dihilangkan, hal ini disebabkan karena gaya penekanan dan pergerakan pada permukaan yang bergesekan hingga terjadi deformasi. Permukaan yang teroksidasi dan sisa flash akan dihilangkan, hal ini dilakukan agar dapat melihat sambungan antara dua spesimen dan memungkinkan spesimen untuk dibentuk.



Gambar 2.5 Skema Proses *Linear Friction Welding*
Sumber : Bhamji (2011)

2.6 Burn off length

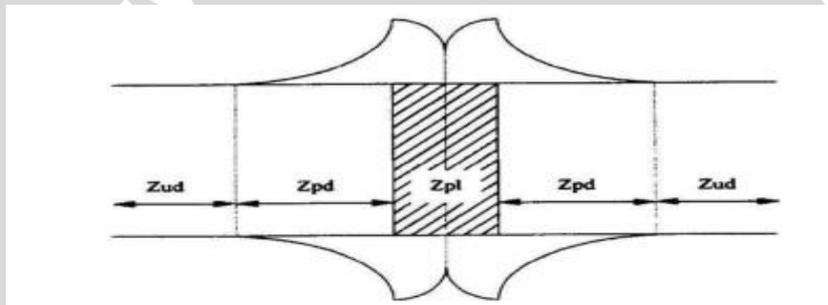
Burn off length merupakan salah satu parameter pada friction welding. Burn off length yaitu panjang spesimen yang berkurang akibat gesekan antara dua spesimen, dimana salah satu spesimen diberi gaya tekan sehingga akan menimbulkan panas pada dua spesimen tersebut dan terjadinya deformasi pada spesimen saat proses pengelasan.

2.7 Daerah *Heat Affcted Zone* (HAZ)

Daerah HAZ adalah daerah yang terpengaruh panas saat proses pengelasan. Struktur mikro dan sifat mekanisnya dapat berubah dari keadaan sebelumnya karena adanya panas.

Daerah HAZ pada pengelasan gesek dibagi menjadi 3 bagian yaitu daerah *fully plasticized region* (*zpl*) yaitu daerah sambungan yang menyatu sempurna, *partly deformed region* (*zpd*) yaitu daerah yang mengalami panas sebagian, *undeformed region* (*zud*) yaitu daerah yang tidak terpengaruh panas.

Semakin besar panas yang ditimbulkan akan menyebabkan daerah HAZ yang terbentuk juga akan semakin besar, hal ini akan mempengaruhi kekuatan dari sambungan las yang terbentuk dari hasil pengelasan.



Gambar 2.6 Daerah *zpl*, *zpd* dan *zud*
Sumber : Lin dkk (1999)

2.8 Pengujian Tarik

Salah satu pengujian yang dapat dilakukan untuk mengetahui kekuatan sambungan las adalah melalui suatu uji tarik. Sebelum dilakukan pengujian tarik terlebih dahulu membentuk spesimen uji tarik yang telah distandarisasi. Pengujian tarik merupakan salah satu cara untuk mengetahui sifat mekanik suatu material ketika mendapatkan tegangan tarik. Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan sambungan logam yang telah dilas, metode ini digunakan karena mudah dilakukan, dan menghasilkan tegangan seragam (uniform) pada penampang serta kebanyakan sambungan logam yang telah dilas mempunyai kelemahan untuk menerima tegangan tarik. Kekuatan tarik sambungan las sangat dipengaruhi oleh sifat logam induk, sifat daerah HAZ, sifat logam las, dan geometri serta distribusi tegangan dalam sambungan (Wirjosumarto, 1996).

Tarikan pada pengujian kekuatan tarik adalah pemberian gaya atau beban pada suatu material dengan gaya atau beban yang sejajar tetapi berbeda arah pembebanannya. Metode dari pengujian ini adalah dengan menjepit sebuah spesimen pada kedua ujungnya

lalu diberikan beban yang semakin lama semakin besar hingga spesimen patah. Kekuatan tarik adalah kemampuan dari suatu bahan untuk menerima beban tarik tanpa mengalami kerusakan dan tegangan maksimal sebelum benda uji patah merupakan data terpenting dalam pengujian tarik. Hal ini karena perhitungan-perhitungan kekuatan dapat dihitung berdasarkan data tersebut. (Dieter, 1990).

Uji tarik yang dilakukan pada suatu material logam juga akan menghasilkan grafik tegangan-regangan yang dapat memberikan data, diantaranya berupa kekuatan luluh dan kekuatan tarik yang merupakan parameter keuletan (ductility) dari spesimen yang diuji tarik (Dieter, 1990).

Metode pengujian tarik ini dilakukan dengan menaikkan beban sedikit demi sedikit sampai benda uji patah, kemudian sifat-sifat dari kekuatan tariknya dapat dihitung dengan persamaan berikut ini:

Tegangan tarik pada suatu material dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{A} \quad (N/m^2) \quad (2 - 1)$$

dengan :

σ_{max} = Tegangan tarik maksimum (N/m^2)

F_{max} = Beban tarik maksimum (N)

A = Luas penampang (m^2)

Regangan (pertambahan panjang) dapat dituliskan perumusan sebagai berikut

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

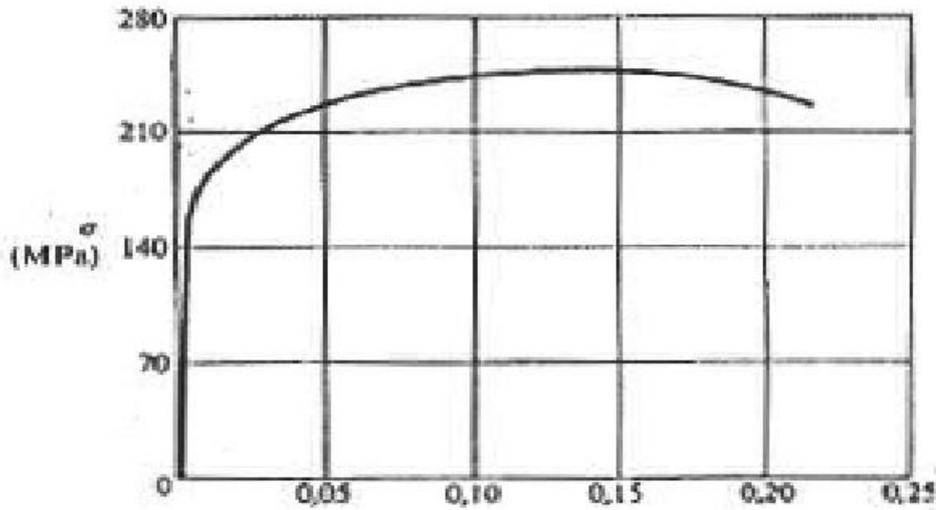
Dengan :

ε = Regangan (%)

L_0 = panjang benda uji mula-mula (m)

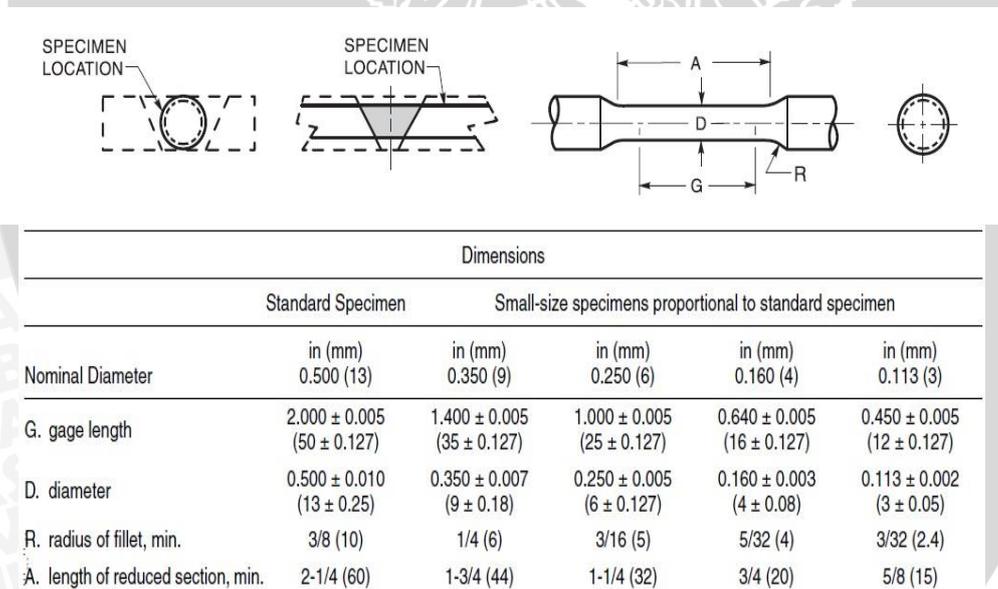
L = Panjang benda uji akhir (m)

Perbedaan kurva tidak terlalu besar terhadap regangan yang kecil, tetapi akan menjadi signifikan pada rentang terjadinya pengerasan regangan (*strain hardening*) yaitu setelah titik luluh terlampaui. Dan perbedaan akan menjadi besar pada daerah necking.



Gambar 2.7 Diagram Tegangan-Regangan
Sumber : Tegangan Regangan Bahan (2014 : 25)

Gambar 2.8 dibawah merupakan contoh bentuk spesimen uji tarik berdasarkan standar AWS.



Gambar 2.8 Spesimen Uji Tarik
Sumber : AWS B4 (2007 : 6)

2.9 Energi Pengelasan Pada Proses *Friction Welding*

Pada saat proses pengelasan gesek atau *friction welding* terdapat energi panas yang dihasilkan akibat adanya gesekan pada dua permukaan logam. Hal ini diasumsikan tekanan gesek yang sama menyebar ke setiap bagian benda yang berputar dan tidak berputar pada

saat proses *friction welding*. Energi panas yang dihasilkan pada proses ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

(Sahin, 2010)

$$d\dot{Q} = \omega \cdot dM_t \quad (2-3)$$

Dengan :

ω = kecepatan sudut

dM_t = perbedaan nilai momen torsi lingkaran yaitu dr.

$$dM = r \cdot d_{friction} \quad (Nm) \quad (2-4)$$

Dengan :

$d_{friction}$ = gaya gesek

dM = torsi

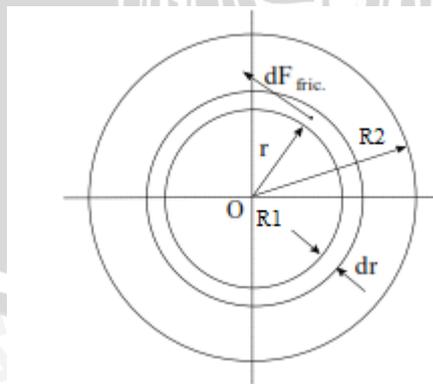
r = jari-jari lingkaran

Kemudian bisa dijelaskan bahwa gaya gesek $d_{friction}$ menjadi koefisien *friction* lalu terdapat gaya aksial, tekanan melaluin lingkaran menjadi :

$$d_{friction} = r \cdot (\mu \cdot P \cdot 2\pi r \cdot dr) \quad (2-5)$$

Dari penurunan rumus (2 - 4) dan (2 - 5) tersebut dapat dijadikan persamaan sebagai berikut ini:

$$d\dot{Q} = 2\pi \cdot \mu \cdot \omega \cdot P \cdot r^2 \cdot dr \quad (W) \quad (2-6)$$



Gambar 2.9 Permukaan gesek
Sumber : Sahin, 2010

Dari rumus (2 – 6) kemudian di integralkan dengan nilai R pada (spesimen pejal) untuk mengetahui jumlah kalor yang terjadi selama proses gesekan.

$$\int_{R1}^{R2} dQ = 2\pi \cdot \mu \cdot \omega \cdot P \cdot r^2 \cdot dr \quad (2-7)$$

$$\dot{Q} = 2\pi \cdot \mu \cdot \omega \cdot P \cdot \frac{r^3}{3} \Big|_{R1}^{R2} \quad (2-8)$$

$$\dot{Q} = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot \mu \cdot \omega \cdot P \cdot (R^3) \quad (W) \quad (2-9)$$

Dimana :

\dot{Q} : Jumlah energi mekanik persatuan waktu pada permukaan las gesek (W)

P : *Friction pressure* (N/m²)

ω : kecepatan sudut (rad/s)

R : Radius benda kerja (m)

M_t : Momen Torsi (N/m)

μ_s : koefisien gesek material

2.10 Hipotesis

Menurut teori dan beberapa penelitian sebelumnya dapat ditarik hipotesa bahwa sudut chamfer satu sisi dan *burn of length* dengan gaya tekan awal 10 N/mm² dan gaya tekan akhir 20 N/mm² dapat mempengaruhi kekuatan tarik pada sambungan las gesek beda material antara aluminium Al6061 dengan Baja St 41. Dengan variasi ini pada las gesek akan mempengaruhi masukan panasnya (*heat input*) dan akan mempengaruhi luas daerah HAZ. Semakin besar sudut chamfer maka luas bidang kontak akan semakin besar dan menyebabkan heat input akan semakin besar yang mengakibatkan daerah HAZ juga semakin besar sehingga kekuatan tarik akan cenderung menurun. Semakin rendah *burn of length* akan menyebabkan heat input yang terjadi semakin rendah dan daerah HAZ juga akan semakin kecil sehingga kekuatan tariknya akan semakin besar.