

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Referensi Sebelumnya

Pada penelitian yang dilakukan oleh Irawan dkk (2012) yang berjudul “*Tensile Strength of Weld Joint Produced by Spinning Friction Welding of Round Aluminum A6061 with Various Chamfer Angles*” menyimpulkan bahwa spesimen dengan sudut *chamfer* 30 derajat memiliki kekuatan tarik tertinggi.

Lalu pada penelitian yang dilakukan oleh Imawan dkk (2014) yang berjudul “Pengaruh Sudut *Chamfer* dan Kekasaran Permukaan terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Las Gesek Al-Mg-Si” menyimpulkan bahwa seiring dengan semakin kecilnya sudut *chamfer* dan semakin kecilnya nilai kekasaran bidang kontak maka kekuatan tarik pada pengelasan gesek aluminium paduan Al-Mg-Si akan meningkat.

Kemudian pada penelitian yang dilakukan oleh Irawan dkk (2016) yang berjudul “*Effect of Surface Roughness and Chamfer Angle on Tensile Strength of Round Aluminum A6061 Produced by Continuous Drive Friction Welding*” menyimpulkan bahwa rendahnya kekasaran permukaan dan kecilnya sudut *chamfer* dapat menghasilkan tingginya kekuatan tarik yang pada sambungan las gesek.

Dan pada penelitian yang dilakukan oleh Rahman dkk (2017) yang berjudul “Pengaruh *Burn-off Length* dan Tinggi Kerucut Satu Sisi Terhadap Porositas dan Kekerasan Sambungan Las Gesek A6061” menyimpulkan bahwa seiring dengan semakin besarnya *burn-off length* dan tinggi kerucut dapat menyebabkan tingginya nilai porositas dan menurunnya nilai kekerasan.

2.2 Pengertian Aluminium

Aluminium merupakan logam berwarna putih keperakan yang memiliki lambang unsur kimia Al dan nomor atom 13. Aluminium pertama kali ditemukan oleh Sir Humphry Davy pada awal abad ke-18 yaitu tepatnya pada tahun 1808 sebagai suatu unsur kimia, lalu pertama kali disintesis menjadi aluminium murni oleh Hans Christian Ørsted pada tahun 1825 dan juga disintesis oleh Friedrich Wöhler dengan metode yang berbeda pada tahun 1827. Aluminium sempat menjadi logam yang lebih berharga daripada emas karena sulitnya proses untuk mendapatkan aluminium murni pada saat itu, hingga akhirnya pada tahun 1886

Charles Martin Hall dan Paul (Louis-Toussaint) Héroult mampu memperoleh aluminium dari alumina (aluminium oksida) dengan cara elektrolisis. Sampai saat ini proses yang dilakukan oleh Héroult dan Hall masih tetap dipakai untuk pemroduksian aluminium karena keekonomisannya.

Aluminium merupakan logam paling banyak yang terdapat pada kerak bumi dan juga merupakan unsur nomor tiga paling banyak setelah oksigen dan silikon. Dari seluruh massa padat yang terdapat di kerak bumi aluminium memiliki persentase sekitar 8,07 % hingga 8,23 %, secara keseluruhan aluminium memiliki produksi hingga sekitar 30 juta ton pertahunnya dalam bentuk bauksit dan juga bebatuan lainnya, yaitu *corrundum*, *gibbsite*, *boehmite*, *diaspore*, dan lain-lainnya. Negara-negara penghasil aluminium yang paling besar adalah : Rusia, Cina, Amerika Serikat, dan Kanada. Lebih dari 40 negara lain di belahan dunia juga menghasilkan aluminium, di antaranya adalah : Norwegia, Islandia, Swiss, Tajikistan, dan Selandia Baru.

Aluminium bukan merupakan jenis logam berat. Aluminium biasa terdapat pada rangka-rangka kendaraan seperti mobil dan sepeda motor, bingkai jendela dan badan pesawat terbang, kabel-kabel bertegangan tinggi, peralatan makanan, dan juga untuk pembungkus makanan (aluminium foil), dan masih banyak lagi.

2.2.1 Penggolongan Aluminium Paduan

Pemakaian aluminium yang semakin meninggi dalam dunia industri manufaktur mendorong mereka untuk terus mengembangkan dan meningkatkan sifat dan karakteristik aluminium. Aluminium dalam bentuk murninya memiliki kekuatan yang kurang baik dan bila diaplikasikan untuk penggunaan yang membutuhkan ketahanan deformasi dan patahan juga kurang maksimal, oleh karena itu masih perlu ditambahkan unsur-unsur lainnya untuk meningkatkan kekuatan aluminium tersebut. Aluminium dalam bentuk paduan atau yang juga sering dikenal dengan istilah *aluminum alloy* adalah jenis aluminium yang banyak sekali digunakan pada saat ini. Banyaknya jenis-jenis paduan aluminium pada saat ini juga memungkinkan jika nantinya akan ditemukan lagi paduan-paduan aluminium yang baru lainnya, oleh karena itu dibuatlah sistem penamaan yang sesuai dengan komposisi dan karakteristik paduan-paduan aluminium tersebut untuk memudahkan pengelompokannya. Berikut adalah contoh penamaan nomor-nomor seri pada paduan aluminium tempa.

Tabel 2.1

Daftar Seri Paduan Aluminium Tempa

No. Seri	Komposisi Paduan
1xxx	Aluminium murni
2xxx	Paduan aluminium-tembaga
3xxx	Paduan aluminium-mangan
4xxx	Paduan aluminium-silikon
5xxx	Paduan aluminium-magnesium
6xxx	Paduan aluminium-magnesium-silikon
7xxx	Paduan aluminium-seng
8xxx	Paduan aluminium-timah-lithium
9xxx	Disiapkan untuk penggunaan di masa depan

Sumber : Zulaina, 2010 : 6

Pada tabel tersebut, seri 1xxx menunjukkan kelompok dari aluminium murni, lalu digit kedua pada seri tersebut menunjukkan komposisi antara aluminium dengan batas zat pengotor alamiahnya, dan dua digit terakhir menunjukkan persentase minimum dari aluminium tersebut.

Pada aluminium seri 2xxx hingga seri 8xxx, digit pertamanya menunjukkan kelompok paduan aluminium berdasarkan unsur-unsur yang memiliki persentase komposisi terbesar dalam paduan-paduan tersebut, lalu digit keduanya menunjukkan modifikasi dari unsur paduannya, jika digit keduanya bernilai 0 maka paduan tersebut adalah murni terdiri dari aluminium dan unsur paduan, jika bernilai 1 hingga 9 maka paduan tersebut memiliki modifikasi dengan unsur-unsur lainnya, lalu pada dua angka terakhir untuk seri 2xxx hingga seri 8xxx tidak memiliki arti khusus, hanya untuk membedakan paduan aluminium tersebut dengan paduan lainnya dalam setiap kelompoknya.

2.2.2 Aluminium Paduan 6061

Pada penelitian ini, material yang digunakan adalah paduan Al-Mg-Si atau A6061. A6061 memiliki arti bahwa aluminium tersebut mengandung magnesium dan silikon sebagai unsur paduan utamanya. Paduan ini memiliki sifat mekanik yang baik, selain itu juga memiliki sifat mampu pengelasan yang baik, daya tahan terhadap korosi yang baik, dan juga merupakan paduan yang paling banyak kedua untuk diekstrusi setelah paduan A6063. Aluminium A6061 merupakan salah satu paduan aluminium yang paling banyak digunakan untuk penggunaan umum.

Berikut adalah tabel komposisi kimia paduan aluminium A6061.

Tabel 2.2
Komposisi Kimia A6061

Paduan	Kandungan (%)
Aluminium (Al)	96,9
Silikon (Si)	0,369
Besi (Fe)	0,160
Tembaga (Cu)	0,167
Mangan (Mn)	0,020
Magnesium (Mg)	0,0906
Krom (Cr)	1,83
Nikel (Ni)	0,0214
Seng (Zn)	0,342
Timah (Sn)	0,050
Titanium (Ti)	0,0138
Timbal (Pb)	0,030
Berilium (Be)	0,0002
Kalsium (Ca)	0,0033
Stronsium (Sr)	0,0005
Vanadium (V)	0,010
Zirkonium (Zr)	0,003

2.2.3 Sifat Mampu Las Aluminium

Paduan aluminium memiliki sifat mampu las yang kurang baik jika dibandingkan dengan baja. Beberapa sifat yang kurang baik tersebut di antaranya sebagai berikut :

1. Panas jenis dan daya hantar panas yang tinggi, sehingga sulit sekali untuk memanaskan dan mencairkan sebagian kecil saja pada aluminium tersebut.
2. Mudahnya untuk teroksidasi dan membentuk alumina (Al_2O_3) yang mempunyai titik cair tinggi, dikarenakan sifat ini maka peleburan antara logam dasar dan logam las menjadi terhalang.
3. Aluminium paduan memiliki massa jenis yang rendah, karena itu banyak zat-zat lain yang terbentuk selama pengelasan akan tenggelam, keadaan ini akan memudahkan tergantungnya zat-zat yang tidak dikehendaki ke dalamnya.
4. Dikarenakan titik cair dan viskositasnya yang rendah, maka daerah yang terkena pemanasan menjadi mudah untuk mencair dan menetes pada saat meleleh.

2.3 Pengelasan

2.3.1 Definisi Pengelasan

Pengelasan merupakan salah satu cara untuk menyambungkan antara dua logam. Berdasarkan definisi yang disebutkan pada *Deutsche Industrie Normen* (DIN), pengelasan merupakan suatu ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilakukan dalam keadaan cair atau lumer. Dari definisi tersebut maka dapat disimpulkan bahwa dalam pengelasan dibutuhkan energi panas untuk melumerkan atau mencairkan logam yang akan dilas.

2.3.2 Klasifikasi Pengelasan

Pengelasan dapat diklasifikasikan menjadi tiga bila dilihat dari prinsip kerjanya :

1. Pengelasan cair, yaitu pengelasan di mana sambungan yang dilas akan mencair sehingga sambungan tersebut dapat menyatu. Contohnya : las gas, las listrik, las busur plasma.
2. Pengelasan tekan, yaitu pengelasan di mana sambungan dipanaskan lalu ditekan tanpa harus mencair hingga sambungan tersebut menyatu. Contohnya : las gesek, las titik, las ultrasonik.
3. Pematrian, yaitu cara penyambungan di mana sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair lebih rendah dari sambungan tersebut, sehingga logam yang akan disambung tidak ikut mencair.

2.4 Pengelasan Gesek (*Friction Welding*)

2.4.1 Definisi Pengelasan Gesek (*Friction Welding*)

Friction welding (pengelasan gesek) adalah proses penyambungan logam dengan memanfaatkan panas yang dihasilkan dari dua permukaan benda kerja yang akan disambungkan. Metode ini memanfaatkan perubahan langsung dari energi gerak menjadi energi panas untuk penyambungannya, sehingga metode pengelasan ini tidak membutuhkan energi panas dari luar.

2.4.2 Kelebihan Pengelasan Gesek

Friction welding (pengelasan gesek) memiliki beberapa kelebihan jika dibandingkan metode pengelasan yang lainnya, di antaranya adalah :

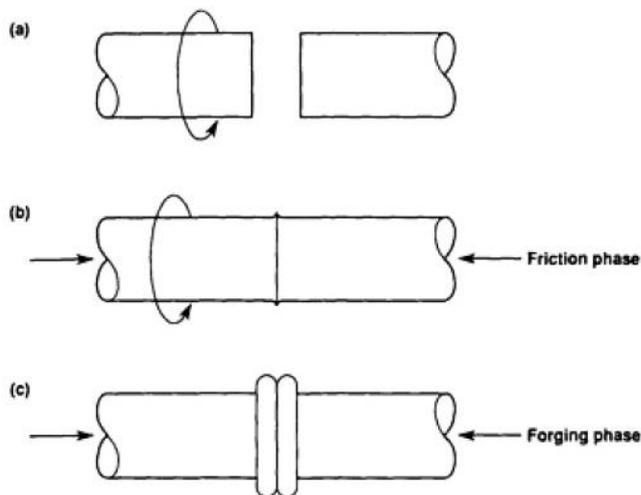
1. Biaya untuk melakukan pengelasan gesek relatif lebih murah.
2. Daerah HAZ yang dihasilkan dalam pengelasan ini sangat sempit.

3. Kekuatan yang dihasilkan pada sambungan las gesek hampir sama dengan kekuatan pada logam induknya.
4. Dapat dilakukan pada logam yang berbeda (*dissimilar*).
5. Proses pengelasan dilakukan pada temperatur yang tidak terlalu tinggi, sehingga dapat mempertahankan mikrostruktur dan sifat material yang disambung tersebut.

2.4.3 Klasifikasi Pengelasan Gesek

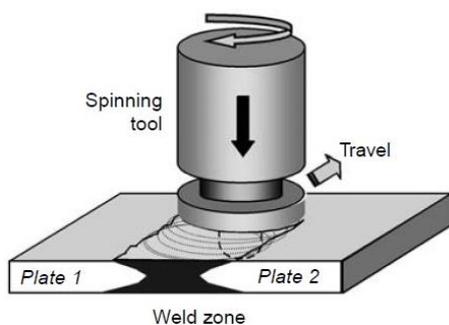
Berdasarkan metode penggesekannya, pengelasan gesek dibagi menjadi dua, yaitu :

- a. *Continuous drive friction welding*, yaitu pengelasan gesek yang memanfaatkan sumber panas dari gesekan pada kedua permukaan spesimen yang akan disambung itu sendiri.



Gambar 2.1 *Continuous Drive Friction Welding*
Sumber : Elmer, ASM Handbook Vol. 06 (1993)

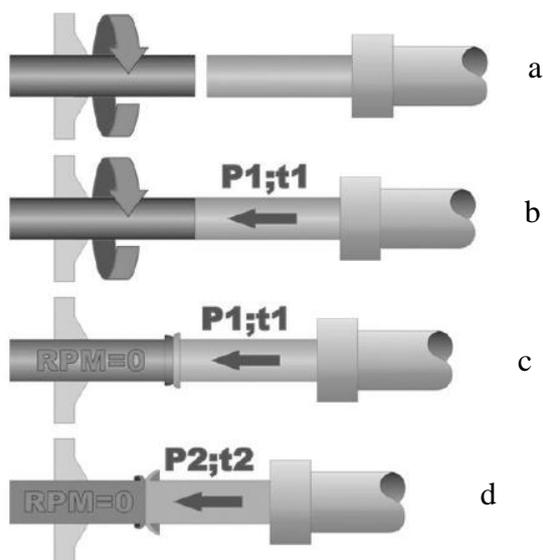
- b. *Friction stir welding*, yaitu las gesek yang memanfaatkan sumber panas dari pahat (*tool*) yang digesekan ke kedua permukaan benda kerja yang akan disambung.



Gambar 2.2 *Friction Stir Welding*
Sumber : Blau (2008:385)

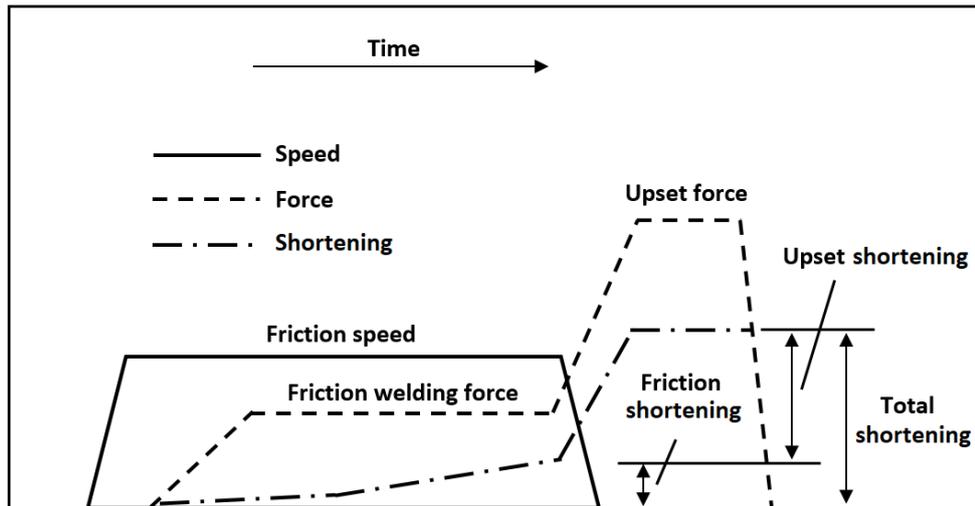
2.4.4 Continuous Drive Friction Welding

Pengelasan gesek yang dipakai dalam penelitian ini adalah dengan metode *continuous drive friction welding*. Mekanisme dari metode ini adalah salah satu benda kerja diputar dengan kecepatan tinggi dan benda kerja yang lain diberikan suatu gaya sehingga menekan benda yang berputar tersebut. Dari penekanan tersebut maka akan timbul panas pada kedua permukaan yang bergesekan sehingga partikel dari kedua logam tersebut dapat saling berikatan satu sama lain, partikel-partikel tersebut saling mendorong dan mengisi celah-celah kosong sekaligus mengeluarkan udara di antara kedua permukaan benda kerja. Pada proses pengelasan ini tidak terjadi pelumeran atau pencairan pada daerah las, proses ini dinamakan *solid state welding*. Skema proses *continuous drive friction welding* dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.3 Mekanisme Kerja *Continuous Drive Friction Welding*
Sumber : Alves dkk (2012)

Pada gambar 2.3 (a) awalnya salah satu spesimen diputar dengan kecepatan tertentu secara *continue* dan spesimen yang lain diberikan tekanan searah dengan sumbu aksial. Pada saat gesekan (b), dilakukan gaya penekanan awal (P_1) selama waktu tertentu (t_1). Kemudian (c) setelah timbul *flash* akibat gesekan dan tekanan dari kedua spesimen, putaran dihentikan. Dan akhirnya (d) diberikan *upset force* (P_2) selama beberapa waktu (t_2) agar sambungan las menyatu dengan sempurna.



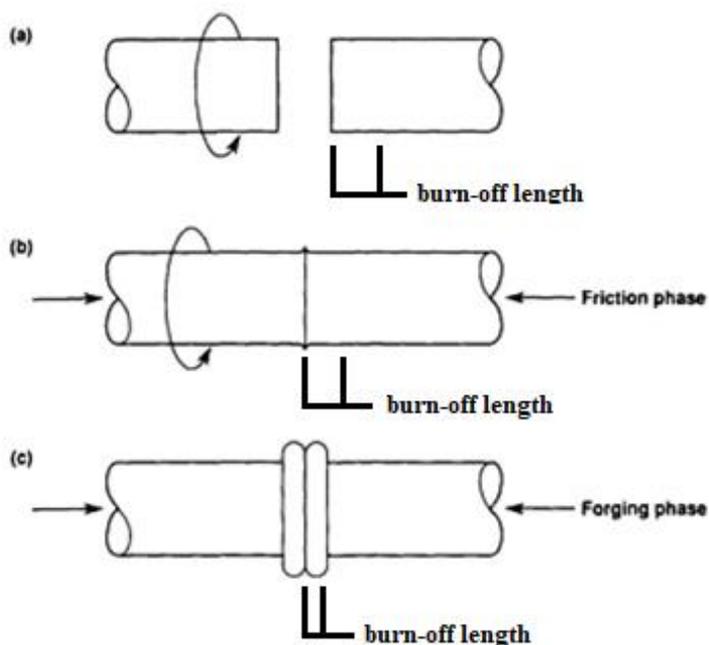
Gambar 2.4 Parameter Pengelasan Gesek
 Sumber : Elmer, ASM Handbook Vol. 06 (1993)

Pada gambar 2.4 menunjukkan parameter-parameter yang mempengaruhi proses pengelasan gesek. Parameter-parameter ini akan mempengaruhi sifat mekanis pada hasil pengelasan gesek. Parameter tersebut di antaranya adalah :

- a. *Friction speed*, yaitu kecepatan putaran *spindle* pada saat terjadinya gesekan, kecepatan ini dibuat stabil saat proses pengelasan gesek selama waktu yang ditentukan, kemudian putaran pada *spindle* dihentikan sehingga kedua spesimen berhenti bergesekan.
- b. *Friction welding force*, yaitu gaya penekanan yang diberikan pada saat terjadinya gesekan atau gaya penekanan awal, pada saat awal terjadinya gesekan gaya penekanan yang diberikan akan mencapai titik tertentu dalam waktu yang ditentukan, kemudian gaya penekanan tersebut dijaga kestabilannya hingga waktu gesekan selesai.
- c. *Upset force*, yaitu gaya penekanan yang diberikan setelah terjadinya gesekan atau gaya penekanan akhir, besar gaya penekanan akhir tersebut dinaikkan dari besar gaya penekanan awal dan ditahan selama waktu yang ditentukan, *upset force* inilah yang memiliki peran penting untuk menyambung dan memperkuat ikatan metalurgi pada sambungan las gesek. (Messler, *Principles of Welding*, 1999).
- d. *Friction shortening*, yaitu pemendekan yang terjadi pada kedua spesimen saat terjadinya gesekan.
- e. *Upset shortening*, yaitu pemendekan yang terjadi pada kedua spesimen saat dilakukannya *upset force*.
- f. *Total shortening*, yaitu total pemendekan keseluruhan pada kedua spesimen setelah proses pengelasan gesek berakhir, total pemendekan ini dapat dilihat dengan semakin membesarnya *flash* yang timbul setelah proses pengelasan.

2.5 Burn-off Length

Burn-off length merupakan salah satu parameter dalam pengelasan gesek. *Burn-off length* adalah panjang spesimen yang berkurang dikarenakan gesekan yang terjadi antara dua spesimen hingga terjadi pemendekan dan munculnya *flash* pada sambungan las gesek. *Burn-off length* tersebut diukur pada salah satu spesimen yaitu pada spesimen yang diam dan diberikan tekanan.



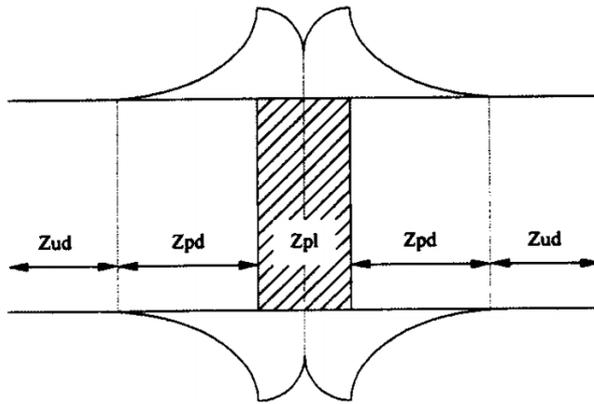
Gambar 2.5 Burn-off Length

2.6 Heat Affected Zone (HAZ)

Heat Affected Zone (HAZ) merupakan daerah yang terpengaruh oleh panas pada saat terjadinya proses pengelasan. Pada daerah tersebut struktur mikro dan sifat-sifat mekanis pada spesimen yang dilas berubah dari kondisi semula. Semakin besar panas yang dihasilkan maka daerah HAZ yang terbentuk juga semakin besar. Hal ini akan menyebabkan kekuatan dari sambungan las tersebut akan semakin menurun.

Dalam pengelasan gesek, bagian penting pada HAZ dibagi menjadi 3 :

1. *Fully plasticized region (Zpl)*, yaitu area sambungan las yang mengalami deformasi plastis secara keseluruhan namun tidak ikut menyatu ketika proses pengelasan.
2. *Partly deformed region (Zpd)*, yaitu area yang mengalami panas serta deformasi sebagian yang diakibatkan dari proses pengelasan.
3. *Undeformed region (Zud)*, yaitu area yang kurang terpengaruh oleh panas ketika proses pengelasan.



Gambar 2.6 Z_{pl} , Z_{pd} , dan Z_{ud}
Sumber : Lin dkk (2007)

2.7 Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui berapa kekuatan tarik maksimum dari suatu material. Kekuatan tarik maksimum adalah kemampuan suatu material untuk menerima beban tarik tanpa mengalami kerusakan yang dinyatakan sebagai tegangan maksimum sebelum material tersebut patah atau putus. Pada pengujian tarik, spesimen diberi beban gaya tarik searah dengan sumbu spesimen. Tegangan tarik didefinisikan sebagai distribusi tegangan tarik per-satuan luas penampang bahan, yang dirumuskan :

$$\sigma = F/A \dots\dots\dots (2-1)$$

dengan :

σ : Tegangan tarik (N/mm²)

F : Beban tarik (N)

A : Luas penampang spesimen (mm²)

Sedangkan regangan dirumuskan dengan :

$$\varepsilon = \Delta L/L_0 \dots\dots\dots (2-2)$$

dengan :

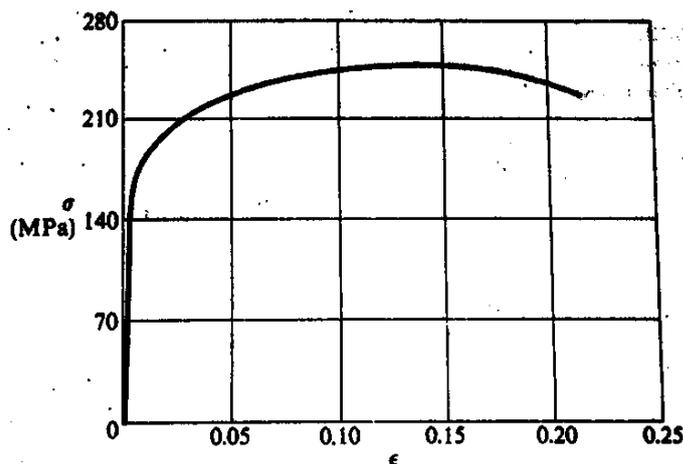
ε : Regangan (%)

ΔL : Pertambahan panjang (mm)

L_0 : Panjang awal (mm)

Dalam pengujian tarik, pada awalnya spesimen hanya sedikit mengalami regangan seiring dengan meningkatnya tegangan, selain itu deformasi yang terjadi pada spesimen masih bersifat elastis. Regangan yang terjadi pada spesimen akan mulai membesar setelah melalui titik luluhnya dan deformasi yang terjadi mulai bersifat plastis. Regangan yang

terjadi pada spesimen akan semakin membesar hingga terjadi *necking* sampai akhirnya spesimen tersebut putus atau patah. Diagram tegangan-regangan akan menunjukkan besarnya regangan dari spesimen saat diberikan tegangan. Semakin besar tegangan dan semakin kecil regangan maka spesimen tersebut memiliki kekuatan tarik yang tinggi karena spesimen tersebut tidak mengalami deformasi plastis akibat adanya beban yang diberikan. Berikut adalah contoh dari diagram tegangan-regangan pada aluminium.



Gambar 2.7 Diagram Tegangan-Regangan
Sumber : Timoshenko & Gere (1991:15)

2.8 Pengujian Porositas

Pengujian porositas dilakukan dengan uji piknometri dan uji komposisi. Untuk mencari persentase dari porositas yang terdapat dalam spesimen maka digunakan perbandingan antara 2 densitas berikut :

1. *True density*, yaitu kepadatan dari suatu benda padat tanpa adanya porositas di dalamnya atau juga dapat diartikan volume teoritisnya, densitas ini digunakan sebagai pembanding dengan volume sebenarnya (gr/cm^3).
2. *Apparent density*, yaitu berat setiap unit volume material termasuk cacat (*vold*) yang terdapat dalam material (gr/cm^3).

Pengukuran densitas menggunakan metode piknometri, yaitu sebuah proses perbandingan densitas relatif pada sebuah padatan dan sebuah cairan, sehingga densitas dari padatan tersebut dapat dihitung.

Pengujian piknometri didasarkan pada perhitungan persentase porositas spesimen, persentase porositas dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut :

$$\% P = (1 - \rho_s / \rho_{th}) \times 100\% \dots\dots\dots (2-3)$$

dengan :

$\% P$: Persentase porositas (%)

ρ_s : *Apparent density* (gr/cm³)

ρ_{th} : *True density* (gr/cm³)

Nilai *true density* dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang terdapat pada standar ASTM E252-84 :

$$p_{th} = \frac{100}{\left\{ \left(\frac{\%Al}{\rho_{Al}} \right) \left(\frac{\%Cu}{\rho_{Cu}} \right) \left(\frac{\%Fe}{\rho_{Fe}} \right) \left(\frac{\%etc}{\rho_{etc}} \right) \right\}} \dots\dots\dots (2-4)$$

dengan :

p_{th} : *True density* (gr/cm²)

$\rho_{Al} \rho_{Cu} \rho_{Fe} dst.$: Densitas unsur (gr/cm³)

$\%_{Al} \%_{Cu} \%_{Fe} dst.$: Persentase berat unsur

Sedangkan untuk nilai *apparent density* dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang terdapat pada standar ASTM B3H-93 :

$$\rho_s = \rho_w \left(\frac{w_s}{w_s - (w_{sb} - w_b)} \right) \dots\dots\dots (2-5)$$

dengan :

ρ_s : *Apparent density* (gr/cm³)

ρ_w : Densitas air (gr/cm³)

w_s : Berat spesimen di udara (gr)

w_{sb} : Berat spesimen dan keranjang di dalam air (gr)

w_b : Berat keranjang (gr)

2.9 Hipotesa

Berdasarkan dasar teori serta penelitian-penelitian yang dilakukan sebelumnya maka hipotesa yang kita peroleh bahwa seiring dengan meningkatnya *upset force* maka material yang mengalami selip akan semakin dalam dan memecah butiran logam lebih banyak, dan mengakibatkan ukuran butiran pada sambungan las semakin kecil serta ikatan butir pada sambungan las akan semakin baik, sehingga kekuatan tariknya akan meningkat dan nilai porositasnya juga akan menurun. Selain itu dengan sudut *chamfer* yang mengerucut pada spesimen akan meningkatkan besar bidang kontak gesekan pada sambungan las yang mengakibatkan semakin lamanya waktu pengelasan dan mengakibatkan suhu pada sambungan las juga akan semakin meningkat, sehingga kekuatan tariknya akan menurun dan nilai porositasnya juga akan meningkat.