

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

### 2.1 Tinjauan Pustaka

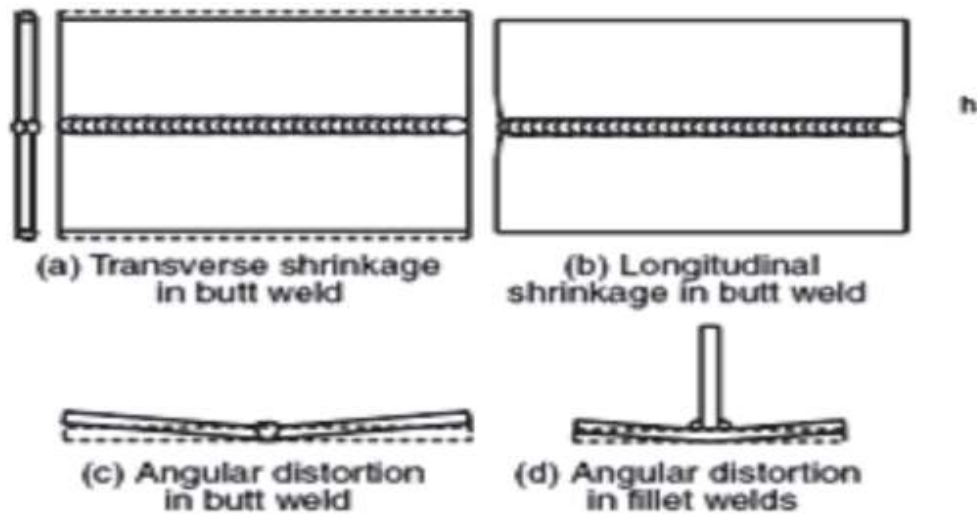
Beberapa hasil penelitian yang telah dilakukan dalam bidang pengelasan terutama pada las *Metal Inert Gas* (MIG) dengan berbagai variasi dapat dirangkum sebagai berikut:

Mudjijana dkk (2017), melakukan penelitian mengenai las MIG (*Metal Inert Gas*) atau GMAW untuk mengetahui karakterisasi pengaruh dari kecepatan las. Penelitian yang dilakukan menggunakan bahan las plat AA 5083 H116 ukuran panjang 300 mm, lebar 150 mm, dan tebal 3 mm dengan elektroda ER5356 dan variasi kecepatan las 8mm/s, 10mm/s, dan 12 mm/s serta tegangan las 19 V dan arus 120 A. Pada penelitian tersebut dilakukan beberapa pengujian, yaitu: uji kekerasan vickers, uji tarik, uji bending dan struktur mikro. Dari proses pengujian menunjukkan bahwa pengelasan dengan kecepatan 10 mm/s merupakan variasi yang lebih baik dibandingkan variasi lainnya karena logam las dengan variasi tersebut menghasilkan nilai kekuatan tarik yang tinggi, kekuatan bending, dan efisiensi pengelasan yang besar meskipun memiliki nilai kekerasan yang kecil. Hasil penelitian ini sangat berguna sebagai referensi serta acuan pada pengelasan MIG khususnya pada plat dengan ketebalan tipis.

Zhang dkk (2011) melakukan penelitian untuk menganalisis struktur mikro dan sifat mekanis material *aluminium alloy 5052* dengan cara pengelasan double side MIG. Pada pengelasan ini menggunakan material dengan tebal 3 mm, sudut *torch* 90° dengan variasi jarak *torch* 8 mm dan 5 mm. *Filler* untuk mengelas menggunakan ER4043 dengan diameter 0,8 mm. Penelitian ini didapatkan hasil kekuatan tarik mencapai 148 Mpa, melebihi 70% kekuatan tarik paduan *aluminium alloy 5052* itu sendiri. Pengujian struktur mikro pada pengelasan ini menggunakan perbesaran 100  $\mu\text{m}$ , hasil memperlihatkan daerah *weld metal*, *base metal*, dan Heat affected zone (HAZ). Batas butir pada daerah HAZ lebih kecil dibandingkan dengan *base metal*, dan pada *weld*

*metal* lebih besar dibandingkan dengan *base metal*. Pada *weld metal* didapatkan cacat las, yaitu porositas. Hasil penelitian ini sangat berguna sebagai referensi serta acuan pada pengelasan MIG khususnya pada pengujian struktur mikro.

Menurut Kou (2005), karena adanya penyusutan pembekuan dan kontraksi termal dari logam las selama proses pengelasan, benda kerja akan mempunyai kecenderungan untuk menyimpang yang menyebabkan terjadinya distorsi. Benda kerja yang dilas dapat menyusut dalam arah melintang (*transvere shrinkage*) dan dapat juga dalam arah memanjang (*longitudinal shrinkage*), yaitu searah dengan proses pengelasan. Perubahan bentuk dalam arah menyudut disebabkan adanya perbedaan temperatur permukaan yang dilas dengan permukaan sebaliknya. Gambar 2.1 menggambarkan beberapa jenis distorsi akibat pengelasan.



Gambar 2.1. Perubahan bentuk pada lasan (Weman,2012)

Selain tegangan dan arus pengelasan yang digunakan khusus untuk proses pengelasan terutama las MIG *double layer*, parameter lain yang harus ditentukan secara tepat adalah variasi kecepatan pengelasan. Kecepatan pengelasan sangat mempengaruhi kualitas hasil lasan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisa pengaruh kecepatan pengelasan MIG *double layer* dengan menggunakan

aluminium 5052 terhadap kualitas hasil lasan berupa sifat mekanis dan sifat fisis spesimen hasil lasan.

## **2.2 Dasar Teori**

Aluminium adalah logam dengan rumus kimia Al, yang mana aluminium termasuk unsur logam terbanyak ketiga dalam kerak bumi setelah oksigen dan silikon (Wirjosumarto, 2000). Aluminium memiliki sifat yang bermacam-macam, diantaranya adalah memiliki ketahanan korosi yang baik, material logam yang mudah ditempa ataupun dibentuk dengan baik, serta memiliki sifat konduktivitas termal dan dapat menghantarkan listrik dengan baik. Aluminium memiliki kekuatan tarik sekitar 90 Mpa dan dapat ditingkatkan kekuatannya dengan proses *heat treatment* dan *association* sehingga dapat meningkatkan kekuatannya sampai sekitar 690 MPa. Sifat yang dimiliki aluminium tersebut membuat logam aluminium sangat kompetitif dan banyak digunakan di bidang manufaktur maupun industri seperti industri kapal, automotif, pesawat terbang, dan sebagainya. Aluminium memiliki bentuk yang bermacam-macam, seperti berbentuk lembaran tipis ataupun tebal (*sheet*), batang (*bar*), pipa (*pipe*), dan bentuk lainnya sesuai kebutuhan konsumen.

### **2.2.1 Karakteristik Sifat Aluminium**

Menurut (Callister, 2013), aluminium termasuk logam ringan karena massa jenisnya hanya  $2,7 \text{ g/cm}^3$  atau dengan nilai densitas aluminium hanya  $1/3$  (satu pertiga) dari baja  $7,9 \text{ g/cm}^3$ . Aluminium juga memiliki beberapa sifat lainnya, antara lain:

1. tingkat ketahanan korosi yang baik;
2. logam yang mudah dibentuk dengan baik;
3. logam konduktor listrik yang baik;
4. logam konduktor panas yang baik;
5. logam tidak beracun *non toxic*;
6. logam *non magnetic*;
7. logam yang nilai kekuatannya dapat diubah menjadi lebih kuat dengan proses *heat treatment* dan *Association*.

Selain sifat-sifat diatas, aluminium juga memiliki sifat mekanis dan sifat fisis, sifat tersebut dapat dilihat pada (Tabel 2.1) dan (Tabel 2.2).

Tabel 2.1. Sifat-Sifat Mekanis Aluminium (Surdia dan Saito, 1992)

Sifat-Sifat	Kemurnian Aluminium (%)			
	99,996		>99	
	Dianil 75%	Dirol dingin	Dianil	H18
Kekerasan Brinell	17	27	23	44
Kekuatan Tarik (kg/mm <sup>2</sup> )	4,9	11,6	9,3	16,9
Kekuatan Mulur (0,2%) (kg/mm <sup>2</sup> )	1,2	11	3,5	14,8
Perpanjangan (%)	48,8	5,5	35	5

Tabel 2.2. Sifat-Sifat Fisis Aluminium (Surdia dan Saito, 1992)

Sifat-Sifat	Kemurnian Aluminium (%)	
	99,996	>99,0
Massa Jenis (20°C)	26,989	2,71
Titik Cair	660,2	653-657
Panas Jenis (cal/g.°C)(100°C)	0,2226	0,2297
Jenis Kristal, Konstanta Kisi	Fcc, a = 4,013 Kx	Fcc, a = 4,04 kX
Koefisiensi Pemuaian (20-100°C)	23,86 x 10 <sup>6</sup>	23,5 X 10 <sup>-6</sup>
Tahan Listrik Koefisiensi Temperature (°C)	0,00429	0,0115
Hantaran Listrik (%)	64,94	59 (dianil)

### 2.2.2 Klasifikasi Paduan Aluminium

Paduan aluminium sering dikenal dengan aluminium *Association* (AA) adalah jenis logam yang sering diaplikasikan sesuai kebutuhannya. Aluminium ada beberapa tipe sesuai paduannya dan dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu paduan tempa (*wrought Association*) dan paduan tuang (*casting Association*).

Paduan aluminium memiliki beberapa klasifikasi berdasarkan standar *Aluminium Association* di Amerika sesuai referensi standar dari *Aluminium Company of America*. Klasifikasi paduan aluminium didasarkan pada empat digit utama, urutan pertama menunjukkan nama kelompok aluminium, digit kedua menunjukkan nilai kemurnian dalam unsur paduannya setelah adanya modifikasi, dan dua digit selanjutnya tentang kemurnian aluminium utamanya. Klasifikasi aluminium serta paduannya dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Klasifikasi Aluminium Serta Paduannya (Surdia dan Saito, 1992)

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

Paduan aluminium dibedakan menjadi beberapa jenis yang terdiri dari paduan aluminium yang bisa diberi perlakuan panas (*heat treatable Association*) dan paduan aluminium yang tidak bisa diberi perlakuan panas (*non heat treatable Association*)

### 1. *Heat Treatable Association*

Aluminium yang diberi perlakuan panas (*heat treatable Association*) dengan kekuatan tarik dan kekerasan tergantung sesuai perlakuan panas dan terhadap komposisi paduan aluminium yang terdiri dari:

- a. Proses pemanasan mencapai di atas garis solvus sehingga unsur-unsur paduan akan larut dalam fasa tunggal. Langkah ini dinamakan perlakuan larutan *solution treatment*.
- b. Proses pendinginan sampai suhu kamar sehingga membentuk larutan padat lewat jenuh (*supersaturated solid solution*).
- c. Proses penuaan (*ageing*) dengan langkah memanaskan kembali pada suhu diantara 130°C sampai dengan 190°C sehingga membentuk endapan yang halus.

Berikut kelompok aluminium dengan perlakuan panas yaitu paduan aluminium tipe 2xxx, 6xxx, 7xxx, dan 8xxx.

### 2. *Non Heat Treatable Association*

Paduan aluminium yang tidak bisa diberi proses perlakuan panas tetapi dengan proses pengerjaan dingin (*coldworking*) atau bisa disebut pengerasan larutan padat (*solid solution hardening*) dan unsur magnesium dapat meningkatkan kekuatan tarik. Aluminium yang termasuk kelompok ini adalah paduan aluminium seri 3xxx, 4xxx, dan 5xxx.

Proses perlakuan pada paduan aluminium yang bermacam-macam membuat setiap paduan aluminium memiliki berbagai kode sesuai perlakuan aluminium yang telah dilakukan. Kode proses perlakuan paduan aluminium terdapat dalam Tabel 2.4 berikut:

Tabel 2.4. Kode Perlakuan Paduan Aluminium (*Surdia dan Saito, 1992*)

Kode	Proses Perlakuan
F	Setelah Pembuatan
H	Pengerasan Regangan
O	Proses <i>Annealing</i> Penuh
T	Proses Perlakuan Panas
W	<i>Solution Heat Treated</i>

### 2.2.3 Paduan Aluminium 5052

Material paduan aluminium dengan seri 5xxx adalah aluminium yang memiliki unsur paduan magnesium sebagai paduan utamanya. Aluminium seri AA 5052 termasuk salah satu logam dengan paduan unsur magnesium, mangan, dan kromium. Sesuai unsur paduan yang terdapat pada aluminium 5052 menjadikan aluminium tersebut memiliki nilai ketahanan korosi yang baik serta memiliki kekuatan tarik yang tinggi. Sifat yang terdapat pada aluminium 5052 membuat aluminium ini banyak diaplikasikan dalam produksi rangka kapal ataupun automotif dan sering ditemui juga dalam konstruksi bangunan.

Aluminium AA 5052 memiliki arti dalam setiap kode. Kode AA merupakan singkatan dari *Aluminium Association*. Seri 5052 adalah paduan aluminium kode 5 dengan magnesium unsur paduan utamanya, kode 0 adalah batas ketidakmurnian nol, dan kode 52 adalah unsur kandungan kemurnian paduan aluminium. Komposisi kimia sesuai seri yang terdapat pada paduan aluminium AA 5052 ditunjukkan pada Tabel 2.5:

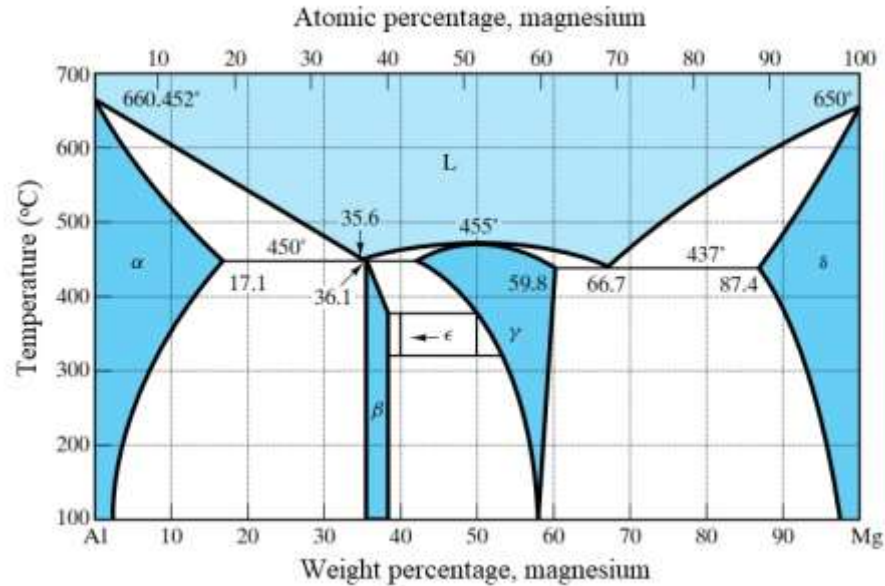
Tabel 2.5. Komposisi Kimia Paduan Aluminium AA 5052 (BS EN 573-3,2009)

<b>Nama Unsur</b>	<b>Berat (%)</b>
Al	94.31
Mg	2.20–2.80
Cr	0.15–0.35
Fe	0.0–0.40
Si	0.0–0.25
Cu	0.0–0.10
Zn	0.0-0.10
Mn	0.0-0.10
Other	0.0-0.15

#### 2.2.4 Diagram Fase Paduan Aluminium-Magnesium

Diagram fase pada aluminium-magnesium (Al-Mg) adalah diagram fasa eutektik yang terdiri dari larutan padat  $\alpha = (Al_3+Mg_2)$ . Tertera pada gambar 2.1 menunjukkan titik eutektiknya adalah 450 °C; 35,6% dan titik batas kelarutan padatnya terdapat pada temperatur eutektik 17,1% Mg, dan menurun di temperatur hingga kira-kira 1,9% Mg (Ardiansyah, 2015). Berikut diagram fase paduan Al-Mg ditunjukkan pada gambar 2.2.





Gambar 2.2. Diagram Fasa Paduan Al-Mg (*ASM Handbook Vol 01, 1986*)

### 2.3 Proses Pengelasan pada Material Aluminium

Aluminium adalah salah satu kebutuhan utama dalam proses produksi dalam dunia industri. Pemakaian aluminium yang semakin meningkat menjadikan pengembangan dan pembaharuan karakteristik sifat aluminium. Kualitas aluminium dapat menyeimbangi kualitas baja karbon tetapi material ini lebih ringan, sehingga membuat material ini sering diaplikasikan dalam dunia industri.

Prinsip proses pengelasan sesuai *American Welding Society* (AWS) adalah penyambungan dua buah logam atau lebih dengan langkah pemanasan yang mencapai titik leleh dengan atau tidak dengan tekan, dan dengan atau tidak dengan *filler* sebagai bahan pengisinya. Pada proses pengelasan harus mengetahui langkah pelaksanaan yang benar dalam proses pengelasan, memperhatikan desain perancangan sesuai yang diharapkan, material yang akan dilas, dan jenis las yang akan digunakan. Pengelasan untuk material aluminium menggunakan standar parameter dan jenis las dengan tujuan supaya mendapatkan hasil yang maksimal sesuai rancangan yang sudah dibuat. Standar parameter pengelasan aluminium berbeda-beda, menyesuaikan seri yang terdapat pada paduan aluminium.

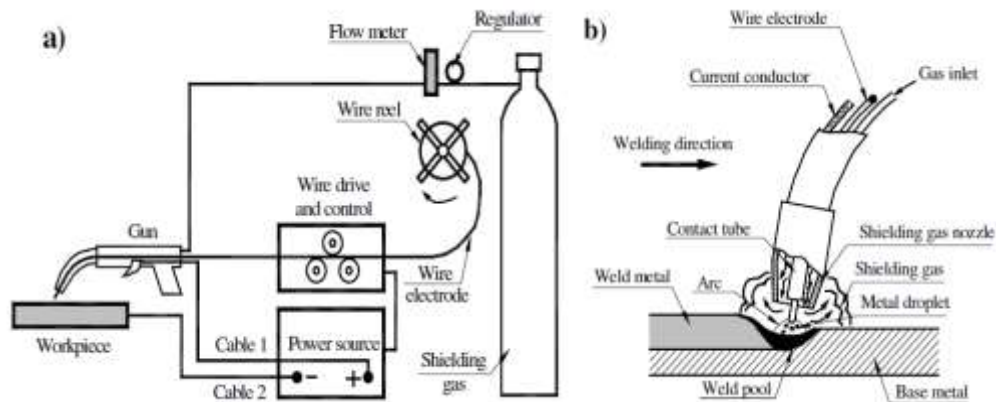
### 2.3.1 Gas Metal Arc Welding (GMAW)

*Gas Metal Arc Welding* (GMAW) adalah proses pengelasan dengan memanfaatkan listrik untuk sumber panas sehingga elektroda (*filler*) yang berupa kawat gulungan akan mencair sehingga akan menyatu dengan logam induk yang akan dilas. Las GMAW juga menggunakan gas pelindung yang bertujuan untuk melindungi busur listrik dari gangguan udara sekitar yang bisa mengakibatkan oksidasi pada material las.

Las GMAW sering disebut juga dengan las *Metal Inert Gas* (MIG) yaitu proses pengelasan yang menggunakan *inert* gas atau gas mulia yang berupa Argon (Ar) atau gas karbondioksida (CO<sub>2</sub>) sebagai gas pelindungnya. Las MIG ini pada umumnya diaplikasikan untuk pengelasan pada material aluminium dan baja tahan karat. Las GMAW juga dapat disebut dengan las *Metal Active Gas* (MAG) yaitu proses pengelasan yang menggunakan gas karbondioksida atau CO<sub>2</sub> sebagai gas pelindungnya. Las MAG diaplikasikan untuk proses pengelasan pada material baja dan baja lunak. Perbedaan las MIG dengan las MAG ditunjukkan pada (Tabel 2.6). Las GMAW salah satu jenis las yang banyak digunakan terutama pada material aluminium dan cocok untuk proses pengelasan pada material yang memiliki ketebalan tipis. Berikut skema proses las GMAW ditunjukkan pada gambar 2.3.

Tabel 2.6. Perbedaan las MIG dengan las MAG

Jenis Las	Gas Pelindung	Campuran Gas	Materials	Proses Pengelasan
MIG	Argon (Ar)	Argon (Ar) + Helium (He)	Non Ferrous	MIG <i>welding</i>
MAG	Carbon dioxide (CO <sub>2</sub> )	1. Argon + CO <sub>2</sub> 2. Argon + O <sub>2</sub> 3. Argon + CO <sub>2</sub> + O <sub>2</sub>	Ferrous	MAG <i>welding</i>



Gambar 2.3. Proses Las GMAW (a) Skema Pengelasan (b) Area Pengelasan (Ambriz dan Mayagoitia, 2011)

### 2.3.2 Elektroda Las Gas Metal Arc Welding (GMAW)

Elektroda yang digunakan pada las GMAW memiliki sifat yang akan habis jika digunakan (*consumable*). Elektroda pada las GMAW berupa gulungan kawat (*filler*) dengan sistem elektroda akan terus berputar (*continue*) yang terus meleleh dan mengisi sambungan las pada saat proses pengelasan berlangsung (Messler, 1999). Elektroda yang digunakan memiliki jenis yang berbeda-beda sesuai jenis material yang akan dilas. Proses pengelasan pada aluminium seri AA 5052 sering menggunakan elektroda seri ER5356. Berikut komposisi kimia yang terdapat pada elektroda ER5356 ditunjukkan pada tabel 2.7.

Tabel 2.7. Komposisi Kimia Elektroda ER5356 ASME, 2001

Unsur Kimia	Berat (%)
Mg	5,5
Si	0,25
Fe	0,4
Mn	0,2
Cr	0,2
Ti	0,2
Cu	0,1
Zn	0,1

## 2.4 Parameter Pengelasan

Proses pengelasan memiliki parameter-parameter yang sesuai agar mendapatkan hasil lasan yang maksimal sesuai yang diharapkan. Berikut beberapa parameter pada proses pengelasan:

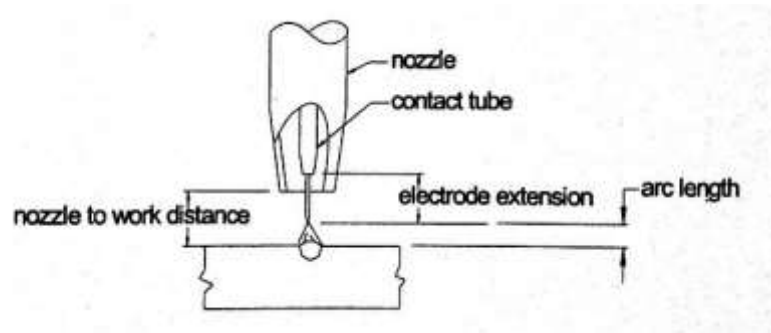
### 2.4.1 Arus Pengelasan (A)

Arus pengelasan memiliki beberapa pengaruh dalam proses pengelasan yaitu pada penetrasi logam las, penggabungan logam induk, bentuk manis las, serta pada ukuran HAZ. Besar kecil arus las dapat mempengaruhi penetrasi logam dan ukuran HAZ, jika arus las semakin besar akan menghasilkan penetrasi logam yang dalam dan memperlebar HAZ, begitu pula dengan sebaliknya. Selain itu arus las dapat menyebabkan banyak atau sedikitnya pencampuran logam. Jika arus semakin kecil maka hasil campuran logam induk akan semakin kecil karena bagian logam induk yang mencair juga sedikit, begitu pula dengan sistem sebaliknya.

### 2.4.2 Tegangan Pengelasan (V)

Parameter tegangan las memiliki berbanding lurus dengan tinggi busur, karena tinggi busur adalah jarak titik ujung elektroda terhadap permukaan material yang akan

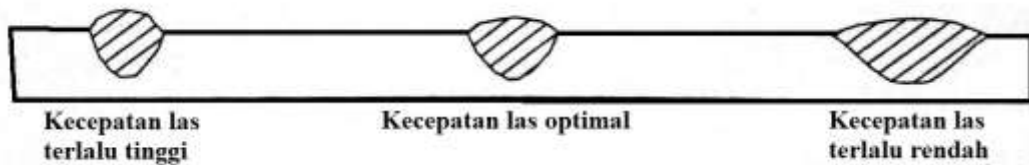
dilas seperti yang terlihat pada (Gambar 2.4). Jika saat proses pengelasan terjadi kenaikan jarak elektroda pada material lasan, maka tegangan las juga akan naik dan arus las berubah menurun. Dalam sistem ini hubungan antara tegangan las dengan arus las tidak merubah penetrasi logam las.



Gambar 2.4. Posisi Jarak Elektroda terhadap Material (Mandal 2005)

### 2.4.3 Kecepatan Proses Pengelasan

Kecepatan pada proses pengelasan GMAW adalah salah satu faktor yang paling mempengaruhi hasil lasan. Pengaruh kecepatan pada pengelasan diantaranya adalah hasil terhadap penetrasi kedalaman lasan, ukuran lebar lasan, serta struktur hasil pengelasan. Cepat atau pelannya kecepatan las dipengaruhi oleh arus pengelasan agar pencairan logam pengisinya sempurna tanpa ada penumpukan cairan logam lasan, sehingga mendapatkan hasil pengelasan yang optimal. Contoh hasil lasan dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. Hasil Las Sesuai Kecepatan Las (Mandal,2005)

Efisiensi sambungan las dihitung dengan persamaan (2.1) sebagai berikut :

$$\eta = \sigma_{\max} / \sigma_j \quad (2.1)$$

Keterangan :

$\eta$  = Efisiensi sambungan.

$\sigma_{\max}$  = Kekuatan tarik sambungan maksimal.

$\sigma_j$  = Kekuatan tarik raw material.

## 2.5 Distorsi Pengelasan

Distorsi adalah proses waktu pemanasan atau pendinginan yang tidak merata pada spesimen kerja selama pengelasan. Oleh karena itu dapat mempengaruhi bentuk material lasan karena terjadi pemuaian saat panas ataupun penyusutan saat adanya pendinginan. Jika ada bagian yang berdekatan tetapi tidak terjadi perubahan fisis yang sama, maka akan terjadi proses deformasi. Adanya deformasi inilah yang dinamakan distorsi.

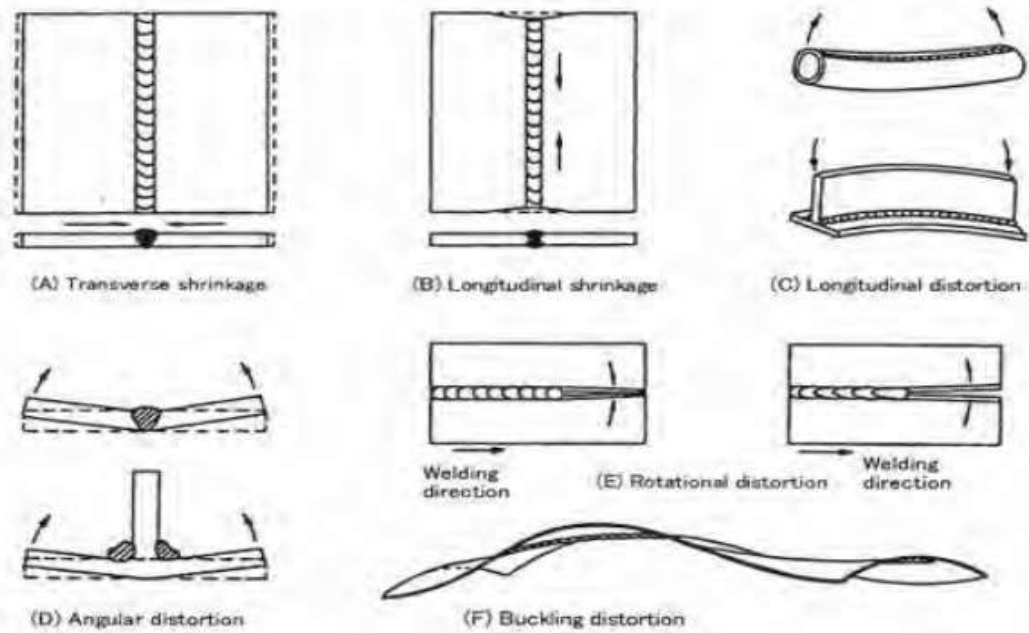
Pengaruh adanya distorsi pada spesimen las:

1. bentuk dan ukuran spesimen hasil akhir yang berbeda;
2. berkurangnya nilai kekuatan benda akibat faktor tegangan sisa..

Jenis distorsi pada pengelasan:

1. *Transverse Distorsion*, adalah distorsi karena penyusutan tegak lurus pada garis las.
2. *Longitudinal Distorsion*, adalah distorsi karena penyusutan searah pada garis las.
3. *Rotational or angular distorsion*, adalah distorsi karena adanya rotasi pada garis las.

Jenis-jenis distorsi ditunjukkan pada gambar 2.6.



Gambar 2.6. Jenis-jenis distorsi dalam pengelasan (Wiryosumarto, 2000)

Masukan panas pada pengelasan dapat dihitung dengan persamaan (2.2) sebagai berikut :

$$H = \frac{E \cdot I}{V} \quad (2.2)$$

Dimana :

$H$  = Masukan panas (joule/mm)

$E$  = Voltase pengelasan (volt)

$I$  = Arus pengelasan (ampere)

$V$  = Kecepatan pengelasan (mm/dtk)

## 2.6 Jenis Pengujian

Proses pengujian bertujuan untuk mengetahui nilai kualitas dan hasil lasan. Terdapat beberapa proses pada pengujian diantaranya adalah untuk mengetahui kekuatan las pada spesimen, nilai ketangguhan lasan, struktur mikro dan makro pada spesimen las, serta untuk mengetahui kekerasan las. Berikut jenis-jenis pengujian untuk mengetahui nilai lasan.





### 3. Regangan

Regangan merupakan spesimen uji yang mengalami penambahan ukuran panjang setelah uji tarik yang dialami. Untuk menghitung nilai regangan dapat menggunakan rumusan dengan persamaan 2.4 berikut:

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \quad (2.4)$$

Keterangan:

$\epsilon$  = Regangan (%)

$\Delta L$  = Selisih panjang ukuran sebelum dan sesudah patah (mm)

$L_0$  = Panjang ukur mula-mula (mm)

#### 2.6.3 Uji Impak

Uji impak merupakan proses penyerapan energi potensial setelah pendulum beban diayunkan dari ketinggian tertentu yang ditumbukkan pada spesimen uji sehingga spesimen uji terjadi deformasi atau patah. Pengujian impak memiliki 2 (dua) metode, yaitu:

##### 1. Metode *Charpy*

Metode *Charpy* adalah pengujian impak dengan meletakkan spesimen uji pada tumpuan dengan posisi mendatar dengan arah pembebanan berlawanan terhadap arah takikan.

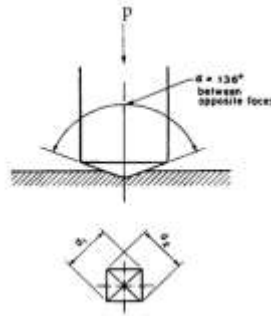
##### 2. Metode *Izod*

Metode *Izod* adalah pengujian impak dengan meletakkan spesimen uji pada tumpuan dengan posisi mendatar dengan arah pembebanan searah terhadap arah takikan.

#### 2.6.4 Uji Kekerasan *Vickers*

Pengujian kekerasan adalah penekan berupa indentor *vickers* yang menekan spesimen uji dengan waktu sesuai yang ditentukan. Hasil penekan tersebut menghasilkan luka yang berbentuk segi empat, setelah itu luka penekan diukur dimensinya. Hasil pengukuran tersebut bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan terhadap spesimen uji.

Jenis pengujian kekerasan *vickers* adalah uji kekerasan terhadap spesimen uji dengan bahan dasar metal. Pengujian *vickers* menggunakan indenter yang berupa intan dengan bentuk segi empat dengan sudut puncak  $136^{\circ}$  dan berdiagonal terhadap spesimen ujinya. Hasil pijakan pengujian tersebut memperoleh nilai *Vickers Hardness Numbers* (VHN). Bentuk pijakan indenter vickers dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7. Hasil Indentor Vickers (ASTM E92-82)

Hasil nilai pengujian kekerasan *vickers* dapat dihitung dengan persamaan 2.5:

$$D = (d_1 + d_2) / 2 \quad (2.5)$$

$$VHN = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{d^2} = \frac{1.854 P}{d^2}$$

Keterangan :

VHN = *Vickers Hardness Numbers* (kg/mm<sup>2</sup>).

P = Beban yang diterapkan (kgf).

d = Panjang diagonal rata-rata (mm).

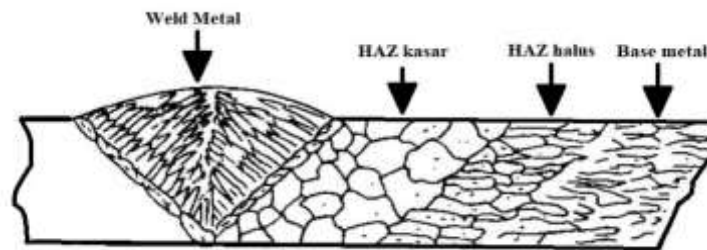
d<sub>1</sub> = Diameter pada pijakan 1.

d<sub>2</sub> = Diameter pada pijakan 2.

$\theta$  = Sudut pada permukaan intan

### 2.6.5 Uji Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro menggunakan mikroskop optik yang memiliki fungsi untuk mengamati struktur mikro pada spesimen uji. Struktur mikro pada daerah yang terkena proses pengelasan GMAW terdapat 2 (dua) zona yaitu bagian lasan (*welding zone*) dan daerah yang terpengaruh panas atau dinamakan *Heat Affected Zone* (HAZ) dan terlihat perbedaan bentuk struktur mikro terhadap titik zona berbeda. Faktor tersebut bisa mempengaruhi sifat mekanis terhadap materialnya, dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8. Bagian Hasil Pengelasan (Wiryosumarto, 2000)

*Base metal* adalah bagian logam dasar dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur maupun sifat pada logam tersebut. *Weld metal* adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku, komposisi logam las terdiri dari komponen logam induk dan bahan tambah dari elektroda. *Heat affected zone* (HAZ) adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat sehingga daerah ini yang paling kritis dari sambungan las. Bagian Haz terdiri dari 2 jenis yaitu Haz kasar dan Haz halus. HAZ kasar adalah bagian yang dekat dengan garis leburan logam las, kristalnya akan mengalami pertumbuhan dengan cepat pada saat proses pengelasan berlangsung sehingga membentuk butir-butir kasar. Besar butir dan struktur berubah sesuai dengan siklus termal yang terjadi saat pengelasan dilakukan. Butir-butir kasar yang terjadi pada daerah HAZ akan menyebabkan material menjadi sangat getas. Haz halus adalah bagian haz yang memiliki butiran halus karena daerah haz halus lebih menjauh dari

logam las sehingga terkena pemasukan panas yang rendah. Butir-butir las yang halus akan dapat meningkatkan ketangguhan spesimen.

Langkah melakukan uji struktur mikro memiliki beberapa proses, diantaranya adalah pemotongan plat spesimen, pengamplasan spesimen, pemolesan spesimen, dan selanjutnya melakukan pengamatan struktur mikro pada spesimen uji. Pengamatan struktur mikro pada spesimen aluminium biasanya menggunakan mikroskop optik dengan skala perbesaran 100-200x.