

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kajian Pustaka

Beberapa hasil penelitian yang telah dilakukan di bidang pengelasan, terutama untuk las MIG (Metal Inert Gas) dan variasinya dapat diringkas sebagai berikut:

Mudjijana dkk (2017) meneliti tentang pengaruh kecepatan las pada pengelasan MIG (*Metal Inert Gas*) bahan AA5083H116 dengan elektroda ER5356 untuk mengetahui karakterisasinya. Spesimen AA5053H116 dengan ukuran 3 mm x 1200 mm x 2400 mm dipotong dengan ukuran 3 mm x 75 mm x 300 mm untuk spesimen uji lasan menggunakan las MIG dengan elektroda ER5356 dengan diameter \emptyset 0.8 mm. Penelitian pada las MIG dengan tegangan 19 V, arus 120 A, kecepatan las 8, 10 dan 12 mm/s. Pengujian pada penelitian ini untuk sifat fisik dan mekanik spesimen yakni: struktur mikro, kekerasan Vickers, kekuatan tarik dan bending. Hasil pengujian pengelasan menunjukkan bahwa dengan kecepatan las 10 mm/s memiliki nilai kekuatan tarik, kekuatan bending dan efisiensi las paling besar, namun memiliki nilai kekerasan paling kecil. Hasil dari penelitian ini sangat berguna untuk digunakan sebagai acuan, khususnya pada pengelasan MIG dengan pelat tipis menggunakan aluminium paduan AA5053H116.

Haelsig dkk (2012) meneliti besarnya pengaruh parameter pengelasan terhadap *effective efficiency* pengelasan. Analisa tentang mengukur *effective efficiency* pada beberapa jenis pengelasan yang menggunakan gas pelindung, antara lain GTAW, GMAW, dan tandem GMAW (T-GMAW). Sistem baru dikembangkan untuk memperlihatkan pengaruh langsung dari parameter pengelasan yang digunakan terhadap efisiensi pengelasan dan mengetahui aliran panas yang terjadi saat proses pengelasan. Penelitian ini menggunakan pelat metal ketebalan bervariasi dari 1 – 15 mm dengan berukuran 1000 x 100 (mm). Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa *effective efficiency* akan berkurang jika kecepatan *wire feed* atau tegangan las dinaikkan

dan proses T-GMAW memiliki *effective efficiency* yang lebih besar dari proses GMAW konvensional. Hasil penelitian ini sangat berguna untuk digunakan sebagai acuan, khususnya pada penggunaan T-GMAW.

Sproesser dkk (2016) telah melakukan penelitian untuk meningkatkan efisiensi energi dan performa las GMAW menggunakan las tandem GMAW (TGMAW). Penelitian ini dianalisa pada las GMAW dan TGMAW dengan nilai *wall plug efficiency* dan *Electrical Deposition Efficiency* (EDE). Analisa *wall plug efficiency* untuk mengetahui total konsumsi energi pengelasan, sedangkan semakin besar nilai EDE maka semakin bagus pula performanya. Percobaan pada masing-masing jenis pengelasan dengan variabel daya dilakukan 2 kali. Spesimen las menggunakan baja struktur dengan tebal 30 mm. Hasil penelitian pengelasan menunjukkan bahwa efisiensi energi dan performa meningkat secara signifikan pada penggunaan TGMAW. Serta konsumsi listrik juga berkurang sekitar 20% pada penggunaan TGMAW. Hasil penelitian ini sangat berguna untuk digunakan sebagai acuan, khususnya pada pengelasan TGMAW.

Xueping dkk (2016) melakukan penelitian tentang perilaku busur listrik pada las GMAW *double wire* (DW-GMAW) menggunakan analisis numerik. Penelitian ini untuk membandingkan perilaku busur listrik las SW-GMAW (single wire) dengan las DW-GMAW. Hasil eksperimen kemudian dibandingkan dengan hasil analisis numerik untuk mengetahui reliabilitas analisis numerik. Analisis numerik dapat menggunakan *software Ansys Fluent* dengan 2 kondisi pengelasan yaitu las SW-GMAW dan las DW-GMAW. Parameter yang digunakan dalam pengelasan sama untuk semua *welding wire* yaitu arus 200 A, *welding wire* H08Mn2SiA dengan diameter 1,2 mm, *shielding gas* 99,9% Ar dengan *flow rate* 15 lt/min. Hasil penelitian analisis numerik menunjukkan bahwa tekanan busur listrik ke spesimen las pada SW-GMAW lebih besar dibandingkan dengan DW-GMAW yang menyebabkan resiko *undercut* dan *humping* pada DW-GMAW lebih kecil dibandingkan SW-GMAW. Hasil eksperimen sama dengan hasil analisis numerik yang menunjukkan bahwa metode analisis numerik yang digunakan valid.

Selain kecepatan dan arus pengelasan yang digunakan khusus untuk proses T-GMAW TW, parameter lain yang harus ditentukan secara tepat adalah jarak antar

elektroda. Jarak antar elektroda pada proses T-GMAW sangat mempengaruhi besarnya masukan panas yang diterima logam las yang pada akhirnya akan mempengaruhi kualitas hasil lasan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisa pengaruh jarak antar elektroda pada proses T-GMAW terhadap kualitas hasil lasan berupa distorsi, sifat fisis dan sifat mekanis dari logam las.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Aluminium

Aluminium merupakan logam dengan rumus kimia Al dan termasuk unsur logam terbanyak ketiga dalam kerak bumi setelah oksigen dan silicon (Wiryosumarto, 2000). Aluminium adalah logam ringan yang memiliki massa jenis $2,7 \text{ g/cm}^3$; ini sekitar $1/3$ massa jenis baja. Aluminium memiliki sifat dapat ditempa dan dibentuk yang baik, ketahanan korosi yang baik, konduktivitas thermal dan hantaran listrik yang baik. Aluminium murni merupakan salah satu material yang memiliki kekuatan tarik sekitar 90 Mpa, dan dapat ditingkatkan melalui proses alloy dan *heat treatment* sehingga menjadi 690 Mpa. Sifat-sifat yang unggul tersebut membuat logam aluminium untuk melakukan inovasi produknya sehingga dari aspek teknis dan ekonomi, aluminium sangat kompetitif dan banyak diaplikasikan di bidang teknik (engineering) seperti struktur gerbong kereta api, pesawat terbang, dan kapal laut.

Dalam produksinya aluminium dibuat dalam berbagai bentuk, seperti lembaran tipis (sheet), pelat (plate), batang (bar), kawat (wire), pipa (pipe) dan bentuk struktur lainnya. Proses manufaktur yang digunakan diantaranya proses pengerolan (rolling), ekstrusi (extrusion) atau kombinasi dari keduanya.

2.2.2. Klasifikasi Aluminium dan paduannya

Berbagai negara di dunia mengklasifikasikan paduan aluminium dalam berbagai standar. Klasifikasi yang saat ini digunakan adalah berdasarkan standar Aluminium Association di Amerika (AA) yang didasarkan pada standar terdahulu dari Alcoa (Aluminium Company of America). Pengelompokan paduan Al

didasarkan pada jenis unsur paduan dengan menggunakan sistem 4 digit dimana angka pertama menunjukkan grup paduan, dan digit kedua menunjukkan modifikasi paduan, sedangkan dua angka terakhir menunjukkan kemurnian aluminium. Klasifikasi aluminium dan paduannya dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Klasifikasi Aluminium dan paduannya (Surdia dan Saito, 1992)

Standar AA	Keterangan
1001	Al murni 99,5% atau di atasnya
1100	Al murni 99,0% atau di atasnya
2010-2029	Cu unsur paduan utama
3003-3009	Mn unsur paduan utama
4030-4039	Si unsur paduan utama
5050-5086	Mg unsur paduan utama
6061-6069	Mg ₂ unsur paduan utama
7070-7079	Zn unsur paduan utama

Paduan aluminium dikelompokkan menjadi paduan yang dapat diberi perlakuan panas (*heat treatable alloy*) dan paduan yang tidak bisa diberi perlakuan panas (*non heat treatable alloy*).

- *Heat Treatable Alloy*

Kekuatan tarik dan kekerasan tergantung pada perlakuan panas dan komposisi terhadap paduan aluminium yang terdiri dari:

1. Pemanasan di atas garis solvus sehingga unsur-unsur paduan akan larut dalam fasa tunggal. Tahap ini dinamakan perlakuan larutan (*solution treatment*).
2. Pendinginan cepat sampai suhu kamar sehingga terbentuk larutan padat lewat jenuh (*supersaturated solid solution*).
3. Proses penuaan (*ageing*) dengan cara memanaskan kembali pada suhu sekitar 130- 190 °C sehingga terbentuk endapan yang sangat halus.

Yang termasuk pada kelompok ini adalah paduan aluminium seri 2xxx, 6xxx, 7xxx, dan 8xxx.

- *Non Heat Treatable Alloy*

Paduan aluminium Al dengan cara pengerjaan dingin (*coldworking*) atau pengerasan larutan padat (*solid solution hardening*) dan unsur seperti Mg dapat meningkatkan kekuatan tarik. Yang termasuk pada kelompok ini adalah paduan aluminium seri 3xxx, 4xxx, dan 5xxx.

Perlakuan terhadap paduan aluminium yang beragam membuat setiap paduan aluminium memiliki tanda pengkodean tertentu sesuai perlakuan yang dialaminya. Kode-kode perlakuan aluminium paduan tersedia dalam Tabel 2.2 berikut.

Tabel 2. 2 Kode-kode perlakuan aluminium paduan

Tanda	Perlakuan
T	Perlakuan panas
O	Annealing penuh
W	Solution heat treated
F	Setelah pembuatan
H	Pengerasan regangan

2.2.3. Sifat Aluminium

Menurut Singh (2016), aluminium secara umum dibagi menjadi beberapa sifat, diantaranya:

1. Memiliki massa jenis $2,7 \text{ gr/cm}^3$, 3 kali lebih ringan dari baja.
2. Memiliki malleabilitas (sifat dapat ditempa) yang baik.
3. Ketahanan korosi sangat baik.
4. Kekuatan tarik dapat ditingkatkan dengan *heat treatment* dan proses alloy.
5. Memiliki formabilitas (sifat dapat dibentuk) yang baik.
6. Titik leleh rendah, sekitar 650°C .
7. Konduktor listrik yang baik.
8. Konduktor panas yang baik.
9. *Non toxic*, aluminium adalah logam yang tidak beracun.
10. *Non Magnetic*, aluminium adalah logam yang tidak dapat ditarik magnet.

Selain sifat-sifat di atas, aluminium juga mempunyai sifat-sifat mekanik dan fisik seperti yang terlampir dalam Tabel 2.3 dan Tabel 2.4 seperti di bawah.

Tabel 2. 3 Sifat-sifat mekanik aluminium (Surdia dan Saito, 1992)

Sifat-sifat	Kemurnian Al (%)			
	99,996		>99	
	Dianil	75% rol dingin	Dianil	H18
Kekuatan tarik (kg/mm ²)	4.9	11.6	9.3	16.9
Kekuatan mulur (0,2%) (kg/mm ²)	1.3	11	3.5	14.8
Perpanjangan (%)	48.8	5.5	35	5
Kekerasan Brinell	17	27	23	44

Tabel 2. 4 Sifat-sifat fisik aluminium (Surdia dan Saito, 1992)

Sifat- sifat	Kemurnian Al (%)	
	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
Hantaran listrik (%)	64,94	59 (dianil)
Tahanan listrik koefisien temperatur (°C)	0,00429	0,0115
Koefisien pemuaian (20-100°C)	23,86 x 10 ⁶	23,5 x 10 ⁻⁶
Jenis Kristal, konstanta kisi	Fcc, a = 4,013 kX	Fcc, a=4,04 kX

2.2.4. Aluminium 5083 H116

Aluminium paduan seri 5xxx merupakan aluminium dengan unsur paduan utamanya yaitu magnesium. Aluminium seri AA 5083 adalah paduan aluminium dengan komposisi tambahan magnesium, kromium, dan mangan. Hal ini membuat aluminium seri 5083 menjadi sangat tahan terhadap bahan kimia industri dan air laut. Paduan aluminium 5083 tahan terhadap korosi dan mempunyai kekuatan tarik yang tinggi. Sifat-sifat yang unggul tersebut, maka bahan paduan aluminium sering digunakan untuk konstruksi bangunan dan untuk bahan pembuatan kapal.

Paduan aluminium AA 5083 H116 mempunyai arti dalam penamaannya. AA merupakan kepanjangan dari *Aluminium Association*, 5083 adalah paduan aluminium seri 5 dengan Magnesium (Mg) sebagai unsur paduan utama, 0 menunjukkan batas ketidakmurnian nol, dan 83 menunjukkan kandungan kemurnian aluminium. H mempunyai arti *cold worked (strain hardening)*, angka 1 pada digit pertama menunjukkan *cold work only*, angka 1 pada digit kedua menunjukkan *partial solution plus natural aging*, angka 6 menunjukkan $\frac{3}{4}$ pengerasan (Udomphol, 2007). Komposisi kimia paduan aluminium AA 5083 H116 ditunjukkan pada Tabel 2.5.

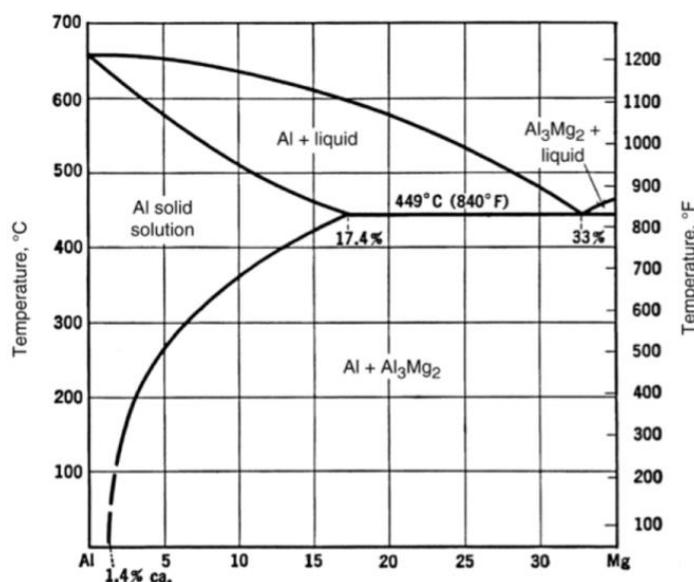
Tabel 2. 5 Komposisi kimia material (sertifikat)

Unsur	Berat (%)
Al	94,31
Mg	4,50
Mn	0,57
Fe	0,29
Si	0,16
Cr	0,088
Ti	0,027
Cu	0,022
Zn	0,021
Ni	0,008

2.2.5. Diagram Fase Al-Mg

Paduan Al-Mg tergolong dalam paduan yang tidak dapat diberi perlakuan panas. Kandungan magnesium yang terdapat pada paduan seri ini sebesar 4,0% - 4,9%. Sebagian dari paduan Al-Mg mengandung unsur mangan sekitar 0,4 – 1,0% dan kromium 0,05- 0,25 % untuk meningkatkan kekuatannya. Adanya magnesium hingga 15,35% menyebabkan titik lebur logam paduan menurun cukup drastis, dari 660 °C menjadi 450 °C. Namun, hal ini tidak membuat aluminium paduan dapat ditempa menggunakan panas dengan mudah karena pada suhu di atas 60 °C akan terjadi korosi. Keberadaan magnesium pada aluminium paduan menjadikan logam paduan tersebut dapat bekerja dengan baik pada temperatur yang sangat rendah, di mana kebanyakan logam akan mengalami *failure* pada temperatur tersebut.

Paduan aluminium-magnesium satu fasa yang ada dalam keseimbangan dengan larutan padat aluminium adalah larutan padat yang merupakan senyawa antar logam yaitu Al_3Mg_2 . Titik eutektiknya adalah 450°C, 35% Mg dan batas kelarutan padatnya pada temperatur eutektik adalah 17,4% Mg, yang menurun pada temperatur biasa sampai kira-kira 1,9% Mg. Diagram fasa Al-Mg dapat dilihat pada Gambar 2.1. Paduan Al-Mg disebut hidronalium karena mempunyai ketahanan korosi yang sangat baik dan dikenal sebagai paduan yang tahan terhadap korosi. Diagram fasa paduan Al-Mg ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Diagram fase paduan Al-Mg (ASM Handbook Vol. 09, 1990)

2.3. Pengelasan pada aluminium

Aluminium merupakan material yang dapat menandingi kualitas baja karbon tetapi 3 kali lebih ringan membuat material ini sangat penting dan digemari dalam perindustrian. Selain itu aluminium juga mudah dibentuk menjadi bentuk sesuai ukuran yang diinginkan dan tidak sulit untuk dilas. Sejak awal penemuannya, dalam proses penyambungan aluminium dan paduannya telah ada banyak perkembangan penting.

Aluminium mempunyai beberapa sifat yang harus diperhatikan untuk mengelas dengan mudah dan menghasilkan kualitas yang baik. Titik leleh aluminium murni memiliki suhu kurang dari 600°C. Aluminium tidak menunjukkan perubahan warna sebelum meleleh, tidak seperti baja yang menunjukkan perubahan warna. Hal ini, membuat aluminium tidak dapat diketahui secara kasat mata saat panas dan kapan akan meleleh. Oksida yang terbentuk pada permukaan aluminium sangat cepat yang memiliki titik leleh hampir tiga kali lebih tinggi dari aluminium murni (1760°C). Lebih menyulitkan lagi, aluminium mendidih pada suhu lebih kurang 1582°C, yang mana lebih rendah dari titik leleh oksida yang terdapat pada permukaannya. Aluminium lebih ringan dari oksida, sehingga ketika oksida meleleh akan cenderung tenggelam ke dalam aluminium yang meleleh dan terjebak di dalamnya. Karena masalah tersebut, disarankan untuk menghilangkan lapisan oksida di permukaan aluminium sebelum melakukan pengelasan (Singh, 2016).

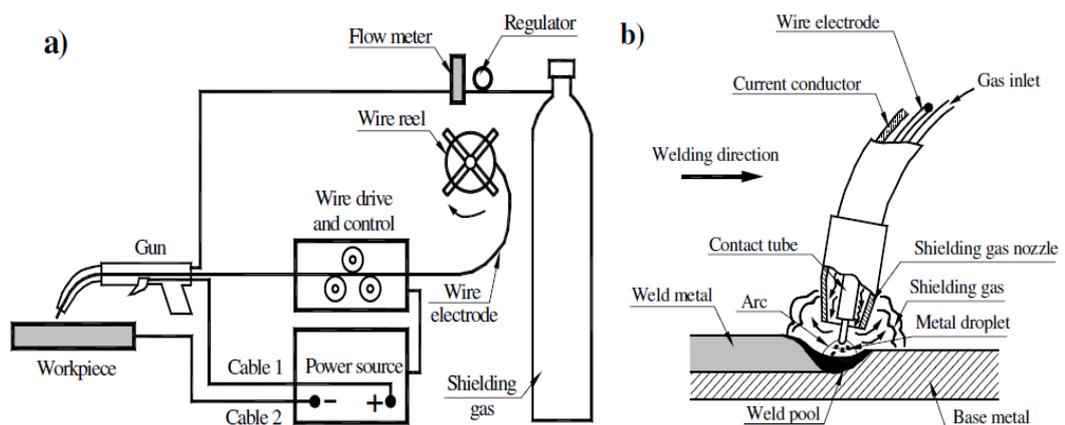
Pengelasan aluminium perlu juga memperhatikan tujuan seperti penggunaan produk las, jenis las yang dipakai, cara pengelasan, dan parameter las untuk mendapatkan hasil lasan yang diinginkan. Karena disebabkan oleh karakteristik paduan aluminium dan penggunaan hasil lasan yang berbeda-beda.

2.4. GMAW (*Gas Metal Arc Welding*)

Las GMAW merupakan jenis las busur listrik yang menggunakan elektroda berupa kawat gulungan yang diumpankan secara kontinu serta menggunakan gas pelindung untuk melindungi busur listrik dan weld pool dari kontaminasi udara sekitar yang dapat menyebabkan oksidasi pada logam lasan. Proses GMAW biasanya menggunakan sumber tenaga listrik dengan arus searah (DC), dimana

benda kerja dihubungkan dengan kutub negatif dan elektroda dihubungkan dengan kutub positif. Sebagian besar panas yang terjadi pada busur listrik berasal dari kutub positif (elektroda). Las GMAW dapat disebut dengan las MIG (metal inert gas) dengan gas pelindungnya adalah *inert gas* atau gas Mulia seperti Argon (Ar), Helium atau Helium yang dicampur dengan Argon, tetapi juga dapat menggunakan gas CO₂ sebagai gas Pelindung, pada umumnya digunakan untuk pengelasan aluminium dan baja tahan karat. Las GMAW dapat juga disebut MAG (metal active gas) apabila gas pelindungnya adalah gas karbon atau CO₂, pada umumnya digunakan untuk pengelasan baja dan baja lunak.

Keuntungan dari las GMAW yaitu dapat digunakan untuk mengelas dengan kecepatan tinggi, pembersihan lapisan oksida yang baik pada saat proses pengelasan, HAZ (*Heat Affected Zone*) yang lebih kecil daripada las GTAW (*Gas Tungsten Inert Welding*), dan dapat digunakan untuk semua posisi pengelasan. Karena hal tersebut, las GMAW merupakan proses las yang paling sering digunakan dalam penyambungan aluminium (Mathers, 2002). Selain itu, kekurangan dari las GMAW yaitu lebih susah digunakan untuk pengelasan di luar ruangan karena gas pelindung yang harus dijaga dari panas dan perlengkapan las yang lebih rumit. Skema las GMAW dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Proses Pengelasan GMAW (Ambriz dan Mayagoitia, 2011).

Las GMAW dapat divariasikan salah satunya adalah las GMAW tandem, yang sering disebut T-GMAW. Proses T-GMAW pada dasarnya memiliki prinsip kerja yang sama seperti yang digunakan pada GMAW konvensional. Perbedaannya

adalah penggunaan elektroda pada saat proses pengelasan. Proses T-GMAW merupakan penggunaan dua buah elektroda yang digunakan secara bersamaan dan diposisikan secara berdekatan. Sumber daya dari kedua elektroda las T-GMAW berbeda dan berasal dari mesin yang berbeda juga. Dengan demikian, las T-GMAW merupakan gabungan dari dua buah las GMAW yang digunakan untuk mengelas pada bagian yang sama dalam waktu yang bersamaan. Supaya menghasilkan hasil lasan yang diinginkan posisi kedua elektroda pada las T-GMAW ini dapat diatur sedemikian rupa.

2.5. Elektroda Las GMAW

Jenis elektroda yang digunakan las GMAW bersifat *consumable* yaitu elektroda yang akan habis jika digunakan. Elektroda las GMAW berupa gulungan kawat yang diisikan terus menerus ke logam las. Saat proses pengelasan, elektroda akan meleleh dan menjadi *filler* pada sambungan las (Messler, 1999). Las GMAW dapat menggunakan jenis elektroda yang berbeda-beda tergantung jenis logam yang akan dilas. Pengelasan aluminum seri AA 5083 sering menggunakan elektroda dengan seri ER5356. Komposisi kimia elektroda ER5356 seperti pada Tabel 2.6 sebagai berikut:

Tabel 2. 6 Komposisi kimia elektroda ER5356 (ASME 2001)

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

2.6. Parameter Las

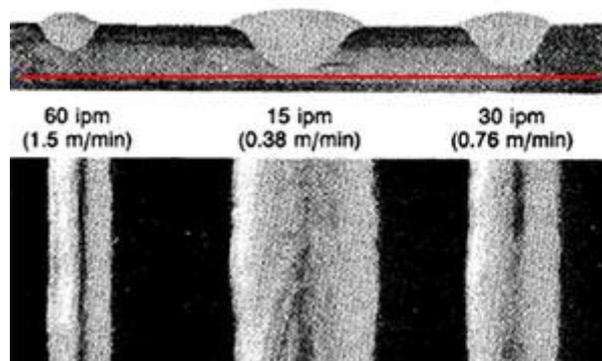
2.6.1. Arus Pengelasan

Arus las yang digunakan berpengaruh langsung pada penetrasi logam las, pencampuran logam induk, bentuk manik las, dan lebar HAZ. Semakin besar arus las akan dapat memperdalam penetrasi logam dan juga memperlebar HAZ, maupun sebaliknya. Arus las juga dapat menyebabkan banyak sedikitnya pencampuran logam induk. Arus yang diberikan semakin kecil, maka semakin sedikit pula bagian logam induk yang mencair.

Diameter elektroda atau *filler* yang digunakan akan menentukan besarnya arus pengelasan. Semakin kecil diameter elektroda atau *filler* maka semakin rendah pula arus pengelasan yang dibutuhkan. Pada dasarnya, untuk mencairkan *filler* las berdiameter kecil akan membutuhkan panas yang kecil pula. Energi panas yang dihasilkan sebanding dengan arus las yang dikeluarkan. Oleh karena itu, pemakaian *filler* las berdiameter kecil membutuhkan arus las yang kecil pula.

2.6.2. Kecepatan Pengelasan

Tingginya arus pengelasan mempengaruhi tingginya kecepatan pengelasan. Energi yang cukup diperlukan untuk mencairkan elektroda atau *filler*, sehingga pengelasan dapat berjalan dengan baik. Apabila energi yang diberikan lebih dari cukup, semisal dengan memberikan arus pengelasan lebih tinggi, maka proses pencairan ujung *filler* akan lebih cepat. Saat pengelasan kecepatan las harus diimbangi dengan kecepatan pencairan *filler* las agar tidak menyebabkan penumpukan cairan logam las sesuai Gambar 2.3.

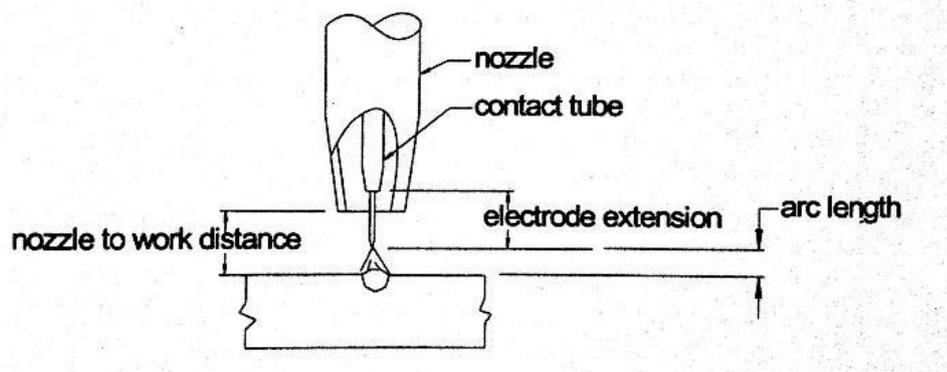


Gambar 2. 3 Bentuk manik las sesuai kecepatan las (<http://www.lincolnelectric.com>)

2.6.3. Tegangan Pengelasan

Tegangan pengelasan berbanding lurus dengan tinggi busur. Tinggi busur merupakan jarak antara ujung elektroda atau *filler* las dengan permukaan logam induk yang dilas seperti pada Gambar 2.4. Saat pengelasan berlangsung terjadi kenaikan tinggi busur, maka tegangan las akan naik dan arus las pun menurun. Dengan demikian, adanya hubungan antara tegangan dan arus pengelasan membuat

tegangan pengelasan ini tidak berpengaruh secara langsung pada penetrasi logam las.



Gambar 2. 4 Jarak busur las terhadap spesimen (Mandal, 2005)

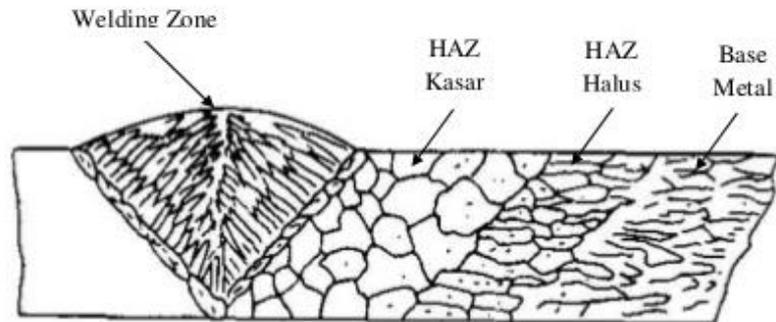
2.7. Jenis Pengujian

2.7.1. Pengukuran Distorsi

Distorsi merupakan pergeseran atau perubahan bentuk (deformasi) dari benda lasan akibat penyusutan yang terjadi setelah proses pengelasan. Pengelasan pada plat aluminium tipis menghasilkan distorsi yang paling besar adalah distorsi longitudinal. Besarnya distorsi diketahui dengan cara pengukuran distorsi. Pengukuran distorsi dapat dilakukan dengan cara sederhana dengan menggunakan dial indikator. Tujuan dari pengukuran ini untuk mengetahui perbedaan ketinggian (distorsi) tiap titik pada permukaan plat hasil lasan dengan menggunakan grafik *surface 3D plot*.

2.7.2. Pengamatan Struktur Mikro

Paduan aluminium saat pengelasan akan menimbulkan panas yang menyebabkan terjadinya rekristalisasi, pencairan sebagian, dan pelarutan padat atau pengendapan tergantung pada tingginya suhu pada daerah las. Oleh sebab itu, pada umumnya perubahan struktur ini akan terjadi penurunan kekuatan, penurunan ketahanan korosi, dan kadang-kadang daerah las menjadi getas. Struktur mikro daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) dari paduan yang mendapatkan perlakuan panas ditunjukkan dalam Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Struktur mikro hasil pengelasan (Wiryosumarto, 2000)

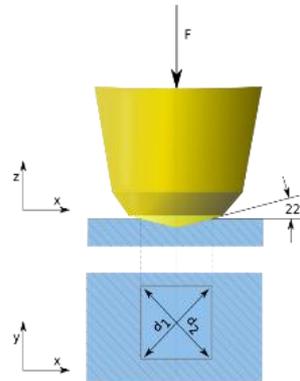
Pada paduan yang dapat dikeraskan-endapkan, akan terjadi butir-butir endapan yang kasar sehingga pada daerah ini terjadi penurunan kekuatan dan ketahanan korosi yang paling besar. Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa makin besar masukan panas makin besar pula penurunan sifat-sifat yang baik (Wiryosumarto, 2000).

Alat bantu untuk mengamati struktur mikro menggunakan mikroskop optik. Dengan demikian, pengamatan ini disebut uji struktur mikro. Dalam uji struktur mikro memiliki beberapa tahapan secara singkat yaitu pemotongan, pengampelasan, pemolesan, etsa dan pengamatan struktur mikro dengan mikroskop optik. Pengamatan struktur mikro pada paduan aluminium lasan umumnya menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 100-200x.

2.7.3. Uji Kekerasan *Vickers*

Kekerasan suatu material merupakan kemampuan material menahan tekanan atau goresan dari benda lain yang mengakibatkan deformasi plastis lokal. Pengujian kekerasan yang biasanya menggunakan teknik menekan indentor (benda penekan berukuran kecil) ke permukaan benda uji dengan waktu dan beban penekanan yang telah diatur. Hasil dari indentor berupa besarnya luka pada permukaan benda uji kemudian diukur dimensinya. Untuk itu, ukuran luka tersebut dapat digunakan untuk mengetahui besarnya nilai kekerasan benda uji (*hardness number*).

Pengujian kekerasan untuk benda uji berbahan dasar metal dengan menggunakan jenis uji kekerasan *Vickers*. Pengujian kekerasan *Vickers* menggunakan indenter berupa intan berbentuk kerucut yang ber alas bujur sangkar dengan sudut puncak 136° . Hasil uji kekerasan *Vickers* berupa bekas indenter pada



Gambar 2. 6 Skema pembebanan *Vickers*.

spesimen uji yang berbentuk bujur sangkar berdiagonal. Mengukur panjang diagonal dengan menggunakan skala pada mikroskop pengukur jejak. Spesimen yang di uji akan diperoleh pijakan indenter *Vickers* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6. Nilai *Vickers Hardness Number* (VHN) diperoleh dengan menggunakan data diameter pijakan.

Perhitungan besarnya nilai kekerasan *Vickers* dapat menggunakan persamaan 2.1 dan 2.2 sebagai berikut:

$$d = (d_1 + d_2) / 2 \quad (2.1)$$

$$VHN = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{d^2} = \frac{1.854 P}{d^2} \quad (2.2)$$

Dimana, VHN = *Vickers Hardness Number* (kg/mm^2)

P = beban yang diterapkan (kg)

d1 = diameter pijakan 1

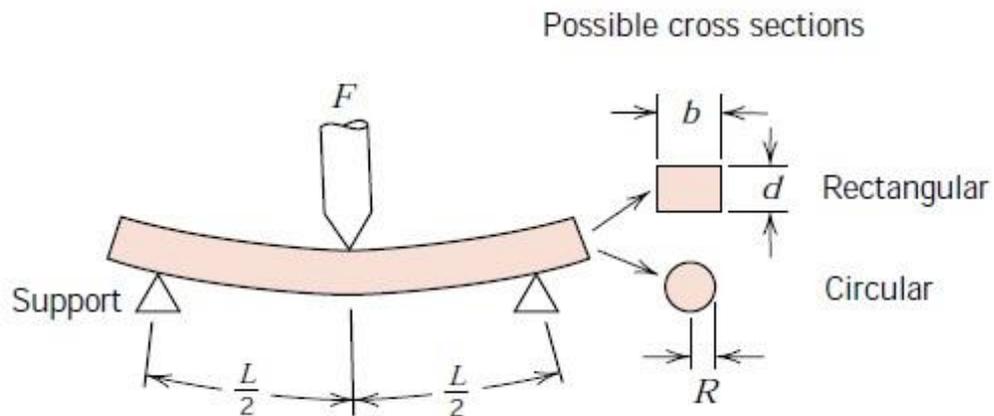
d2 = diameter pijakan 2

d = panjang diagonal rata-rata (mm)

θ = sudut antara permukaan intan yang berlawanan = 136°

2.7.4. Uji *Bending*

Uji *bending* adalah bentuk pengujian dalam menentukan kualitas pengelasan dengan menahan beban lengkung untuk mengetahui kekuatan las. Pengujian *bending* mempunyai prinsip kerja yaitu kedua bagian ujung benda uji ditumpu dan beban diberikan secara konstan ke benda uji di antara kedua tumpuan. Beban yang diberikan terhadap benda uji dengan posisi tegak lurus dan arah tumpuannya berlawanan arah. Benda uji akan diberi beban hingga retak atau patah lalu diamati bentuk patahan dan kekuatan bendungnya. Pengujian *bending* menggunakan metode *three point bending* yaitu pengujian *bending* dengan 1 buah indentor dan 2 buah tumpuan yang berada persis di tengah-tengah kedua tumpuan ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Skema uji *three point bending* (Callister, 2010).

Pengujian *bending* pada umumnya spesimen las akan diberi beban lengkung dibagian *weld zone*. Posisi pada pengujian *bending* yang dilakukan adalah *transversal bending*. Saat pengujian dilakukan spesimen uji dipotong melintang terhadap arah pengelasan. Berdasarkan lokasi pengamatan dan arah pembebanan saat pengujian *transversal bending* ini dibagi menjadi :

a) *Bending* pada akar las (*Root Bend*)

Root Bend merupakan uji *bending* yang dilakukan agar dasar pada las mengalami tegangan tekan dan akar las mengalami tegangan tarik. Setelah itu, dilakukan pengamatan untuk mengetahui bentuk retak atau patah yang terjadi pada bagian permukaan las.

b) *Bending* pada permukaan las (*Face Bend*)

Face Bend merupakan uji *bending* yang dilakukan agar dasar las mengalami tegangan tekan dan permukaan las mengalami tegangan tarik. Setelah itu, dilakukan pengamatan untuk mengetahui bentuk retak atau patah yang terjadi pada bagian permukaan las.

Perhitungan kekuatan *bending* dilakukan menggunakan persamaan 2.3 yang sesuai dengan standar ASTM E190 berikut ini:

$$\sigma_b = \frac{3 PL}{2 bd^2} \quad (2.3)$$

Keterangan:

σ_b = Tegangan *bending* (MPa)

P = Beban (N)

L = Panjang Span (mm)

b = Lebar (mm)

d = Tebal (mm)

2.7.5. Uji Tarik

Pengujian tarik merupakan proses pengujian yang dilakukan untuk mengetahui nilai kekuatan tarik (ultimate strength), kekuatan luluh (yield strength), regangan, dan karakter patahan apakah ulet (ductile) atau getas (brittle) dari suatu bahan terhadap beban tarik. Pengujian tarik memiliki tiga variabel penting, yaitu, kekuatan tarik, regangan, dan beban

a. Kekuatan tarik

Kekuatan tarik merupakan reaksi yang timbul di seluruh bagian spesimen yang di akibatkan karena spesimen menahan beban tarik yang diberikan. Beban yang diterima benda per satuan luas disebut juga kekuatan tarik. Kekuatan tarik pada benda uji dapat diketahui dengan persamaan 2.4 sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (2.4)$$

Dimana:

σ = Kekuatan tarik (kg/mm^2)

P = Beban (kg)

A_0 = Luas penampang mula-mula (mm^2)

b. Regangan

Pada saat pengujian tarik, benda uji akan mengalami pertambahan panjang. Perbandingan pertambahan panjang dari benda yang ditarik dibagi dengan panjang mula-mula disebut dengan regangan. Untuk menghitung besarnya regangan pada suatu benda uji dapat digunakan persamaan 2.5 sebagai berikut :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \quad (2.5)$$

Dimana:

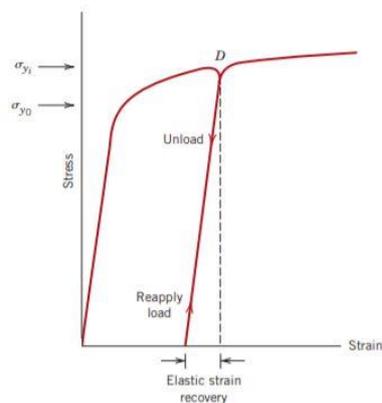
ε = Regangan (%)

ΔL = Selisih panjang ukur sebelum dan sesudah patah (mm)

L_0 = Panjang ukur mula-mula (mm)

d. Kurva Kekuatan Tarik – Regangan

Pengujian tarik menghasilkan sebuah grafik pada kertas atau dapat juga ditampilkan melalui komputer yang berupa kurva beban tarik – perubahan panjang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8. Dalam desain yang memakai bahan uji tersebut sangat memerlukan kurva ini. Fokus perhatian kurva ini adalah kemampuan maksimum bahan tersebut dalam menahan beban, atau biasa disebut *ultimate tensile strength* (UTS) dan batas elastisitas bahan tersebut (*yield strength*).



Gambar 2. 8 Kurva tegangan-regangan (Callister, 2007)

c. Beban

Beban merupakan gaya yang dikenakan terhadap suatu bahan yang sedang diuji. Benda yang akan di uji dipersiapkan sedemikian rupa sehingga beban bisa dipasang sepanjang sumbu memanjangnya. Beban yang diberikan pada benda uji ditambah secara konstan dengan perlahan-lahan sampai benda uji mencapai batas kemampuan menahan beban dan patah.