

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Kajian Pustaka

Mudjijana dkk (2017) meneliti tentang karakterisasi pengaruh kecepatan las pada pengelasan MIG (*Metal Inert Gas*) bahan pelat AA5083H116 dengan ukuran 3 mm x 300 mm x 75 mm elektroda ER5356 berdiameter 0,8 mm. Pengelasan menggunakan mesin las Tenjima MIG 200s menggunakan arus 120A, tegangan 19V, laju aliran gas argon 17 L/menit, kecepatan las 8, 10, 12 mm/s. Pengujian pada penelitian ini yaitu : uji radiografi, uji distorsi, uji tarik, struktur mikro, uji bending dan kekerasan vickers. Hasil dalam pemeriksaan radiografi menunjukkan untuk kecepatan 8, 10 dan 12 mm/s semua memenuhi persyaratan DEPNAKER RI. Hasil las MIG terbaik berdasarkan hasil radiografi adalah pada kecepatan las 8 mm/s karena memiliki jumlah porositas terendah dibandingkan dengan kecepatan 10 dan 12 mm/s. Berdasarkan uji tarik dengan kecepatan 10 mm/s memiliki nilai kekuatan tarik tertinggi sebesar 268,24 MPa.

Junus (2011) meneliti tentang pengaruh besar aliran gas terhadap cacat porositas dan struktur mikro hasil pengelasan MIG pada paduan aluminium 5083. Variasi yang digunakan pada penelitian ini adalah ketebalan pelat 6 mm, elektroda 5356 diameter 1,2 mm menggunakan gas argon sebagai pelindungnya dengan laju aliran gas 12 L/menit, 19 L/menit dan 36 L/menit. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah : uji radiografi, penetrant test, uji tarik dan struktur mikro. Hasil dalam pengujian radiografi pada laju aliran gas 12 L/menit dan 19 L/menit terindikasi cacat porositas, sedangkan pada laju 38 L/menit tidak terindikasi adanya cacat porositas. Kemudian dari hasil uji tarik di dapatkan nilai terbesar pada laju aliran gas 38 L/menit dengan nilai kekuatan tarik sebesar 182,94 Mpa, ini dikarenakan tidak adanya/kecilnya porositas yang terjadi. Sedangkan nilai terendah terdapat pada laju aliran gas 12 L/menit dengan nilai kekuatan tarik sebesar 51,150 Mpa, ini dikarenakan banyaknya porositas pada hasil pengelasan.

Mutombo dkk (2010), melakukan penelitian tentang sifat mekanik dari aluminium AA 5083 H116 setelah pengelasan manual dan otomatis las GMAW dengan elektroda ER5356. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil perbandingan antara pengelasan manual dengan pengelasan otomatis. Hasil pengujian tarik sambungan las MIG AA 5083 dengan pengelasan manual mempunyai nilai tegangan tarik (*tensile strenght*) sebesar 280 MPa, sedangkan pada pengelasan otomatis mempunyai nilai sebesar 300 MPa. Hasil kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa pengelasan dengan metode otomatis mempunyai nilai lebih baik dibanding dengan pengelasan dengan metode manual ditinjau dari hasil pengujian tarik.

Susetyo dkk (2013) meneliti tentang studi karakteristik hasil pengelasan MIG pada material aluminium 5083. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil pengelasan pengaruh variasi kecepatan terhadap cacat las yang terjadi, pengaruh variasi kecepatan pengelasan terhadap uji tarik, dan mencari kecepatan pengelasan yang paling optimum. Variasi pengelasan pada penelitian ini yaitu : arus 135 A, kecepatan wire feeder 8 m/menit dan kecepatan las 250 mm/menit, 350 mm/ menit, 450 mm/menit, 550 mm/menit, 650 mm/menit. Pengujian pada penelitian ini yaitu : uji dye penetrant dan uji tarik. Hasil dari penelitian ini dengan menggunakan uji dye penetrant menunjukkan cacat cracking dan pin hole. Kecepatan optimum berdasarkan pengujian tarik yaitu pada 550 mm/menit dengan nilai ultimate total load sebesar 7938,41 kgf.

Afwandia dan Irfa'i (2016) meneliti tentang pengaruh kuat arus las MIG (*Metal Inert Gas*) terhadap kekuatan tarik sambungan V baja tahan karat AISI 304. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik pada baja tahan karat AISI 304 dengan variasi pengelasan dengan variasi arus 90 A, 110 A dan 120 A dengan menggunakan las MIG. Hasil dari penelitian ini ialah dari variasi arus 90 A, 110 A dan 120 A dapat disimpulkan bahwa arus yang optimum adalah pada 110 A dengan nilai rata-rata 589,71 Mpa. Dengan semakin bertambahnya kuat arus maka kekuatan sambungan las semakin tinggi namun pada arus 120 A kekuatan sambungan las akan semakin menurun. Hal ini dapat disebabkan karna

masukannya panas pada 120 A yang berlebih sehingga pencairan logam las besar dan menjadi getas.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Aluminium

Aluminium dihasilkan dari tanah liat jenis bauksit yang dipisahkan dahulu dengan menggunakan larutan tawas murni dari unsur-unsur yang lain sampai menghasilkan oksid aluminium (Al_2O_3). Sebelum menjadi cairan aluminium murni sampai memiliki kandungan aluminium sebesar 99,9% maka perlu dilakukannya proses elektrolit oksid aluminium (Al_2O_3) untuk memisahkan unsur-unsur zat asam. Adanya penambahan Cu, Mg, Mn, Zn, Ni dan sebagainya akan meningkatkan kekuatan mekanis aluminium (Tata Surdia, 1999).

Aluminium adalah logam yang ringan dibandingkan dengan magnesium dan berilium dengan berat jenis 2.7 gram/cm³ atau sekitar 1/3 dari berat jenis besi maupun tembaga, konduktivitas listriknya 60% lebih dari tembaga. Aluminium bersifat ulet, ketahanan korosi yang baik, sifat mampu las, kekuatan tarik tinggi, mudah dibentuk dan dimesin. Kekuatan tarik untuk aluminium murni sekitar 4~5 kgf/mm², bila diproses penguatan regangan seperti dirol dingin kekuatannya bisa mencapai ± 15 kgf/mm².

2.2.2. Klasifikasi Aluminium dan Paduannya

Dari berbagai negara di dunia memiliki klasifikasi dan standar paduan aluminium masing-masing. Aluminium Association di Amerika (AA) klasifikasi yang saat ini digunakan yang didasarkan pada standar terdahulu dari Alcoa (Aluminium Company of America). Pengelompokan paduan Al menggunakan sistem 4 digit angka mendasar pada jenis unsur paduan dimana untuk melihat kelompok aluminium paduan dengan unsur yang ditambahkan dapat ditunjukkan dengan digit angka pertama, untuk melihat kemurnian dalam paduan yang dimodifikasi dapat ditunjukkan dengan digit angka kedua dan untuk melihat tanda Alcoa terdahulu kecuali S dapat ditunjukkan dengan dua digit terakhir. Klasifikasi paduan aluminium ditunjukkan pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2

Tabel 2.1. Klasifikasi Paduan Aluminium (Surdia dan Saito, 1992)

Standar AA	Standar Alcoa terdahulu	Keterangan
1001	1S	Al murni 99,5% atau di atasnya
1100	2S	Al murni 99,0% atau di atasnya
2010-2029	10S-29S	Cu adalah unsur paduan utama
3003-3009	3S-9S	Mn adalah unsur paduan utama
4030-4039	30S-39S	Si adalah unsur paduan utama
5050-5086	50S-69S	Mg adalah unsur paduan utama
6061-6069		Mg , Si adalah unsur paduan utama
7070-7079	70S-79S	Zn adalah unsur paduan utama

Paduan aluminium ini dapat dikelompokkan menjadi dua jenis paduan utama yaitu jenis paduan tempa (*wrought alloy*) dan paduan cor (*cast alloy*), kedua paduan ini dibedakan lagi dengan jenis penggunaan panas (*heat treatable alloy*) dan penggunaan tanpa pemanasan (*non heat treatable alloy*) (Caing, 2009).

Tabel 2.2. Klasifikasi paduan aluminium (Aluminium Association, 1)

<i>Designation</i>	<i>Wrought</i>	<i>Cast</i>
<i>Aluminium, 99.00% minimum and greater</i>	1xxx	1xx.x
<i>Aluminium alloy grouped by major alloying elements:</i>		
<i>Copper</i>		
<i>Manganese</i>	2xxx	2xx.x
<i>Silicon, with added copper and/or magnesium</i>	3xxx	-
<i>Silicon</i>	-	3xx.x
<i>Magnesium</i>	4xxx	4xx.x
<i>Magnesium and silicon</i>	5xxx	5xx.x
<i>Zinc</i>	6xx.x	6xx.x
<i>Tin</i>	7xx.x	7xx.x
<i>Other Element</i>	-	8xx.x
<i>Unused Series</i>	8xxx	9xx.x

- a. *Heat treatable alloy* adalah jenis penggunaan pada temperatur sampai dengan 200 C°, dan dengan penambahan elemen-elemen lain yang membentuk senyawa *intermetallic* (Caing, 2009). Perlakuan panas mempengaruhi terhadap kekuatan tarik dan kekerasan dan tergantung pada komposisi paduan aluminium, berikut adalah proses perlakuan panas pada aluminium :
1. Pemanasan di atas garis solvus bertujuan untuk melarutkan unsur-unsur paduan dalam fasa tunggal. Proses ini dinamakan perlakuan larutan (*solution treatment*).
 2. Pendinginan cepat sampai dengan suhu kamar bertujuan untuk membentuk larutan padat lewat jenuh (*supersaturated solid solution*).
 3. Pemanasan kembali pada suhu sekitar 130 C°-190 C° bertujuan untuk membentuk endapan yang halus. Proses ini dinamakan proses penuaan (*ageing*).
 4. Paduan yang termasuk dalam kelompok ini yaitu paduan tempa (*wrought alloy*) dengan seri 2xxx, 6xxx, 7xxx dan 8xxx dan paduan cor (*cast alloy*) dengan seri 2xx.x, 3xx.x, 7xx.x dan 8xx.x.
- b. *Non heat treatable alloy* adalah jenis penggunaannya dengan cara pengerjaan dingin atau dengan cara pengerasan larutan padat (*solid solution hardening*) untuk menambah kekuatannya. Paduan yang termasuk dalam kelompok ini yaitu paduan tempa (*wrought alloy*) dengan seri 1xxx, 3xxx, 4xxx dan 5xxx dan paduan cor (*cast alloy*) dengan seri 1xx.x, 4xx.x dan 5xx.x.

Jenis perlakuan terhadap aluminium sangat bermacam-macam, maka dalam jenis perlakuannya memiliki kode-kode untuk mengetahuinya. Berikut ini adalah klasifikasi jenis perlakuannya yang dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Klasifikasi perlakuan bahan (Surdia dan Saito, 1992)

Tanda	Perlakuan
-F	Setelah pembuatan
-O	Dianil penuh
-H	Pengerasan regangan
-H 1n	Pengerasan regangan
-H 2n	Sebagian dianil setelah pengerasan regangan
-H 3n	Dianil untuk penyetabilan setelah pengerasan regangan n=2 (1/4 keras), 4 (1/2 keras), 6 (3/4 keras), 8 (keras), 9 (sangat keras)
-T	Perlakuan panas
-T2	Penganilan penuh
-T3	Pengerasan regangan setelah perlakuan pelarutan
-T4	Penuaan alamiah penuh setelah perlakuan pelarutan
-T5	Penuaan tiruan tanpa perlakuan pelarutan
-T6	Penuaan tiruan setelah perlakuan pelarutan
-T7	Penyetabilan setelah perlakuan pelarutan
-T8	Perlakuan pelarutan, pengerasan regangan, penuaan tiruan
-T9	Perlakuan pelarutan, penuaan tiruan, pengerasan regangan
-T10	Pengerasan regangan setelah penuaan tiruan

2.2.3. Sifat-sifat dan karakteristik aluminium

Aluminium memiliki kekuatan tarik sebesar 10 kg/mm, berwarna putih kebiru-biruan lebih lunak dari pada seng dan lebih keras dari pada timah putih. Berikut ini adalah karakteristik logam aluminium diantaranya adalah:

1. Permukaan mengkilap (3 kali lebih mengkilap dari pada besi)
2. Tahan korosi
3. Mempunyai kekuatan yang tinggi
4. Melting point rendah
5. Penghantar panas dan arus yang baik

6. Tidak beracun
7. Aluminium semakin tangguh pada suhu rendah
8. Mudah dibentuk
9. Kecepatan rambat panas tinggi

Adapun sifat-sifat fisis dan mekanis dapat dilihat pada Tabel 2.4 dan 2.5

Tabel 2.4. Sifat-sifat fisik 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
Koefisien Pemuaian (20-100°C)	23,86 x 10 ⁶	23,5 X 10 ⁻⁶
Tahanan Listrik Koefisisan Temperatut (°C)	0,00429	0,0115
Hantaran Listrik (%)	64,94	59 (dianil)

Tabel 2.5. Sifat-sifat mekanis Aluminium (Surdia dan Saito 1992)

Sifat – sifat	Kemurnian Aluminium (%)			
	99,996		>99	
	Dianil	75 % rol dingin	Dianil	H18
Kekerasan Brinell	17	27	23	44
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 (%)	49,8	5,5	35	5

2.2.4. Paduan aluminium seri 5083 H116

Aluminium 5083 lebih dikenal dengan aluminium yang memiliki *performance* yang sangat baik pada lingkungan yang sangat ekstrim dengan ketahanan korosi yang sangat baik di lingkungan air laut maupun di lingkungan

bahan-bahan kimia, aluminium jenis ini juga memiliki sifat weldability yang sangat baik dan memiliki kekuatan yang lebih tinggi diantara kelompok paduan aluminium non heat treatable lainnya, namun aluminium jenis ini tidak disarankan untuk digunakan pada temperature diatas 65 C°. (alco metal Ltd). Aluminium dengan seri 5xxx dapat digunakan pada struktur pengelasan, pressure vessels, pipa, dek kapal, tiang kapal dan tangki penampungan (Junus, 2011).

Unsur paduan utama pada aluminium seri 5xxx yaitu magnesium sebagai paduan utamanya. Adapun unsur paduan yang terkandung dalam aluminium seri 5083 yaitu paduan magnesium, kromium dan mangan sebagai komposisinya. Tabel 2.6 dibawah ini menunjukkan komposisi paduan aluminium seri 5083.

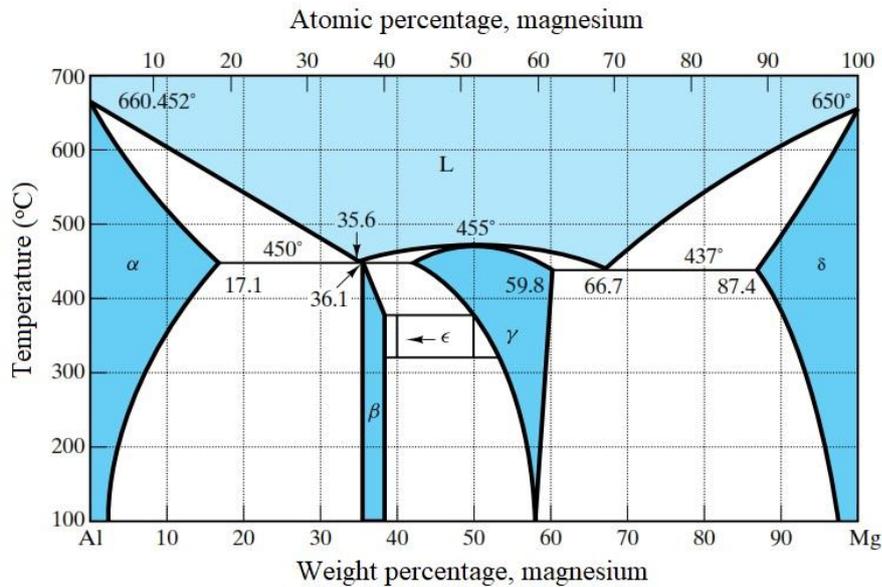
Tabel 2.6. Susunan komposisi Al 5083 H116 (ASM metal handbook dalam Junus, 2011)

%Si	%Fe	%Cu	%Mn	%Mg	%Cr	%Zn	%Ti
0,40	0,40	0,10	0,40-1,0	4,0-4,9	0,05-0,25	0,25	0.15

H adalah pengerjaan dingin (*strain hardening*), angka 1 pertama artinya *cold work only*, angka 1 kedua artinya *partial solution plus aging*, dan angka 6 terakhir menunjukkan proses $\frac{3}{4}$ pengerasan (Undomphol,2017).

2.2.5. Diagram fase paduan Al-Mg

Dalam paduan biner Al-Mg satu fasa yang terdapat dalam keseimbangan dengan larutan padat Al adalah larutan padat Al_3Mg_2 yang merupakan senyawa antar logam. Sel satuannya adalah hexagonal susunan rapat (*cph*) namun ada dilaporkan bahwa sel satuannya merupakan kubus berpusat muka (*fcc*) rumit. Titik eutektiknya adalah 450 °C, 35 % Mg dan batas kelarutan padatnya pada temperatur eutektik 17,4 % Mg, yang menurun pada temperatur biasa sampai dengan 1,9 % Mg, jadi kemampuan dalam penuaan diharapkan (Surdia dan Saito, 1992). Berikut adalah diagram fase paduan Al-Mg :



Gambar 2.1. Diagram fasa paduan Al-Mg (ASM handbook vol 01,1986 dalam Hidayat, 2018)

2.3. Pengelasan paduan aluminium

Material aluminium dan paduan aluminium ini digunakan dalam bidang listrik, kimia, alat-alat penyimpanan, bangunan, dan transportasi karena logam jenis ini termasuk logam ringan yang memiliki kekuatan tinggi, konduktor listrik dan ketahanan korosi yang baik, selain itu aluminium juga mudah dibentuk sesuai ukuran dan bentuk yang diinginkan. Oleh karena itu aluminium ini dapat menandingi kualitas baja karbon dan menjadi pilihan utama dalam bidang perindustrian.

Pengelasan merupakan suatu proses penyambungan antara dua logam menjadi satu melalui proses pemanasan sampai titik leleh tanpa atau dengan pengaruh tekanan dengan kata lain adalah sebagai ikatan metalurgi yang ditimbulkan oleh gaya tarik menarik antara atom. Pengelasan MIG dimana menggunakan gas inert dan resistance spot welding adalah metode yang paling banyak digunakan dalam pengelasan paduan aluminium. (The Japan welding engineering society, 2010) Kemajuan dari teknik las busur listrik dengan gas mulia mengakibatkan proses pengelasan paduan aluminium menjadi sederhana

yang mampu dipercaya. Sehingga penggunaan paduan aluminium banyak berkembang dalam berbagai bidang.

Hal yang perlu diperhatikan dalam proses pengelasan yaitu cara pelaksanaan pengelasan, material yang akan di las, jenis las yang akan dipakai dan cara pemeriksaanya serta memperhitungkan fungsi dari desain kontruksi yang akan dirancang. Dalam setiap jenis material las memiliki parameter dan jenis las tertentu tak terkecuali pada paduan aluminium hal ini bertujuan untuk mencapai hasil yang diinginkan dikarenakan karakteristik pada paduan aluminium yang berbeda-beda mengikuti sesuai seri dan unsur paduannya.

2.3.1. GMAW (*Gas Metal Arc Welding*)

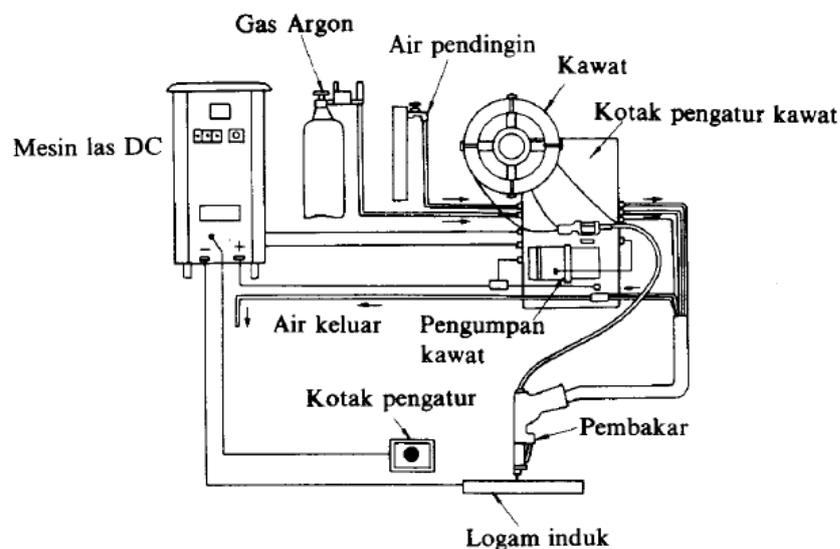
GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) dengan kata lain las busur gas merupakan proses pengelasan dengan cara gas dihembuskan ke daerah las sebagai pelindung logam yang mencair dan busur dari lapisan udara luar. Gas pelindung yang digunakan adalah argon (Ar), helium (he), karbondioksida (CO₂) atau campuran dari masing-masing gas tersebut. (Wiryosumarto, H., dan Okumura, T., 2000: 16). Dalam GMAW kawat elektroda yang digunakan berdiameter kecil (0,8 mm hingga 1,5 mm) secara mekanik diumpkan dan busur yang terbentuk di jaga antara elektroda dan benda kerja. Gas pelindung akan melindungi busur listrik dan kawah las dari udara. (The Japan welding engineering society, 2010). Las GMAW memiliki dua jenis pengelasan yaitu las MIG (*metal inert gas*) dan MAG (*metal active gas*).

2.3.2. MIG (*Metal Inert Gas*)

Dalam pengelasan logam dengan menggunakan gas mulia, kawat las pengisi yang berfungsi sebagai elektroda diumpankan secara terus menerus. Busur listrik terjadi antara kawat pengisi dan logam induk. Gas argon, helium atau campuran gas keduanya adalah gas pelindung yang digunakan dalam las MIG. Untuk menghasilkan busur yang lebih optimal biasanya ditambahkan gas O₂ antara 2%-5% atau CO₂ antara 5 %-20%. Pengelasan MIG dalam banyak hal lebih menguntungkan. Hal ini dikarenakan sifatnya yang baik, misalnya :

1. Mudah dalam proses pengelasan karena konsentrasi busur yang dihasilkan tinggi dan percikannya lebih sedikit.
2. Efisiensi sangat baik karena menggunakan arus yang tinggi dan kecepatan tinggi.
3. Terak yang dihasilkan cukup banyak.
4. Sambungan las yang dihasilkan lebih baik dari pada jenis pengelasan lainnya seperti ketangguhan, kedekatan udara, elastisitas, ketidakefektifan terhadap retak dan sifat-sifat lainnya.

Karena las MIG lebih menguntungkan, sehingga las MIG banyak digunakan dalam praktik terutama dalam pengelasan material baja tahan karat, aluminium dan plat-plat tipis. Berikut ini adalah skema dari las MIG :



Gambar 2.2. Mesin Las MIG Semi-Otomatik (Wiryo Sumarto)

2.3.3. MAG (*Metal Active Gas*)

Las MAG ini termasuk dalam las MIG tetapi gas yang digunakan adalah gas CO₂ atau campuran dari gas-gas dimana CO₂ sebagai unsur utamanya. CO₂ adalah sebagai oksidator, las MAG ini sering digunakan dalam pengelasan konstruksi baja. Biaya operasi dengan gas CO₂ lebih murah dibandingkan dengan

gas Ar sehingga las busur CO₂ lebih banyak digunakan dari pada las-las busur lindung lainnya.

2.3.4. Elektroda Las GMAW

Pada las GMAW jenis elektroda yang digunakan adalah elektroda terumpan yang dibagi lagi menjadi dua jenis berdasarkan kawat elektrodanya, yaitu jenis kawat elektroda pejal dan jenis kawat elektroda dengan inti fluks. Elektroda terumpan ini bersifat *consumable* atau elektroda yang akan habis jika digunakan. Elektroda pada las GMAW berupa gulungan kawat yang terus bergerak mendistribusikan kawat las terhadap logam las pada saat proses pengelasan berlangsung. Saat proses pengelasan elektroda akan mencair dan menyatu pada sambungan las (Messler, 1999). Jenis elektroda yang digunakan pada las GMAW tentu berbeda-beda tergantung pada jenis logam yang akan dilakukan proses pengelasan. Elektroda dengan seri ER5356 sering digunakan pada pengelasan aluminium seri AA 5083. Komposisi kimia elektroda ER5356 dapat dilihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7. 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

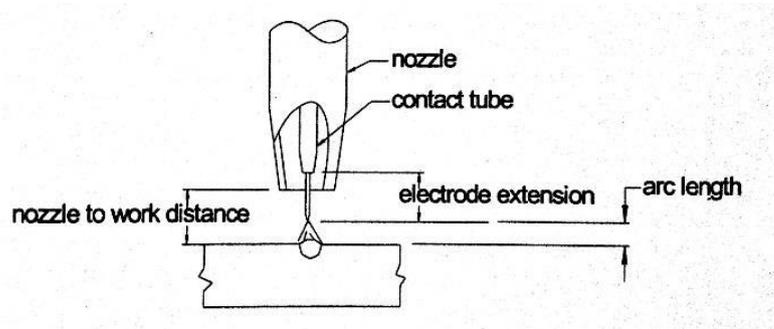
2.4. Parameter Pengelas

2.4.1. Arus Pengelasan

Arus pengelasan ini berpengaruh langsung terhadap penetrasi logam las, bentuk manik las, lebar HAZ dan pencampuran logam induk. Semakin besar arus las maka dapat memperdalam penetrasi logam dan memperluas HAZ, demikian pula sebaliknya. Sedikit banyaknya pencampuran logam induk juga dapat dipengaruhi oleh arus las. Arus yang diberikan semakin besar, maka semakin banyak logam induk yang mencair.

2.4.2. Tegangan Pengelasan

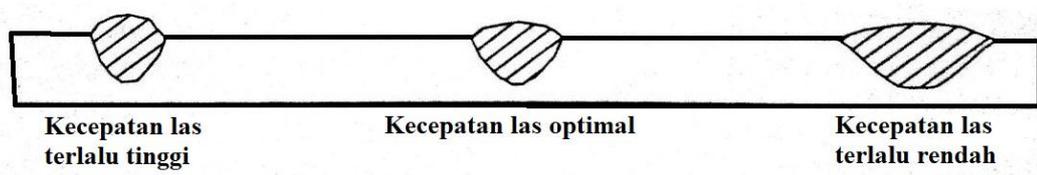
Dari parameter ini, tegangan las berbanding lurus dengan tinggi busur. Tinggi busur ialah jarak antara ujung elektroda atau filler las dengan permukaan logam induk yang dilas seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3. jika saat proses pengelasan terjadi kenaikan jarak tinggi busur, maka tegangan las akan naik dan arus las akan menurun. Dari penjelasan ini, ada keterkaitan hubungan yang terjadi antara tegangan dan arus pengelasan, akan tetapi tegangan las tidak berpengaruh langsung terhadap penetrasi logam las.



Gambar 2.3. Jarak elektroda terhadap spesimen (Mandal, 2005)

2.4.3. Kecepatan Pengelasan

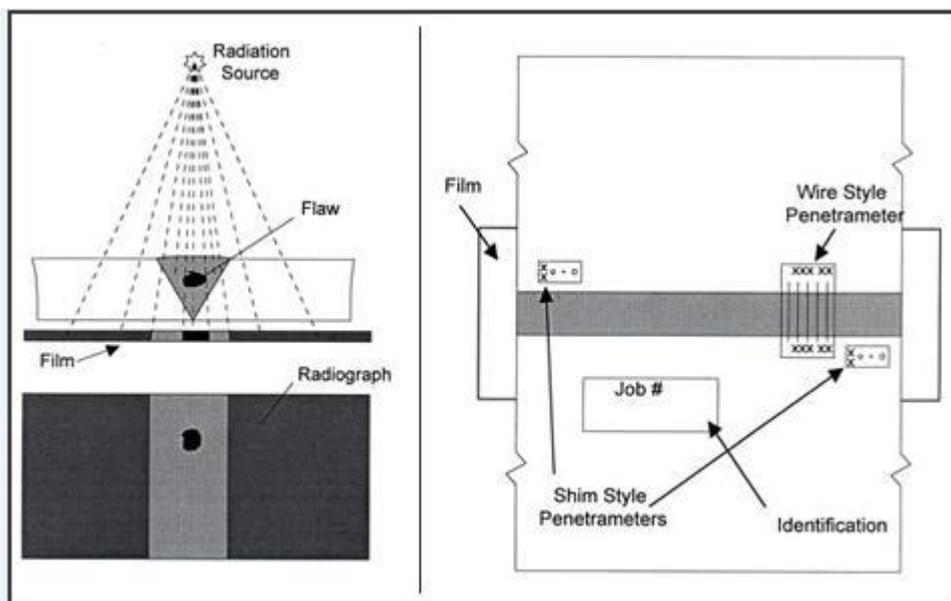
besarnya arus pengelasan tentunya berpengaruh terhadap tingginya kecepatan pengelasan. Pengelasan dapat berjalan dengan baik apabila elektroda atau filler mencair dengan baik, untuk mencairkan elektroda atau filler diperlukan energi yang cukup. Dengan memberikan arus pengelasan yang lebih tinggi maka ujung filler akan lebih cepat mencair. Agar tidak terjadi penumpukan cairan logam las maka harus diimbangi antara kecepatan pengelasan dengan kecepatan pencairan filler las sesuai Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Bentuk hasil manik las sesuai kecepatan las (Mandal,2005)

2.5. Radiografi

Salah satu metode yang sering digunakan dalam pengujian tanpa merusak adalah radiografi. Maksud dari pengujian tanpa merusak adalah pengujian material yang dilakukan tidak merusak material yang diuji, seperti sifat kimia dan sifat fisis dari material tersebut, saat pengujian atau setelah pengujian tidak mengalami perubahan. Uji radiografi bertujuan untuk mengidentifikasi adanya cacat di dalam sambungan las yang tidak dapat dilihat langsung. Prinsip dasar pengujian radiografi adalah penyinaran benda uji dengan sinar bertenaga tinggi seperti X-ray dan *gamma ray*. Metode yang digunakan dalam pengujian radiografi ini yaitu dengan memancarkan sinar-sinar elektromagnetik sinar-X dan sinar- γ yang kemudian ditembuskan kepada bahan material uji lalu direkam dalam film khusus seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5. Dari hasil rekaman film tersebut dapat diamati diskontinuiti pada bahan juga dapat diperoleh hasil rekaman yang permanen seperti yang terlihat pada Gambar 2.6. (Kurniawan, D.R. 2017)



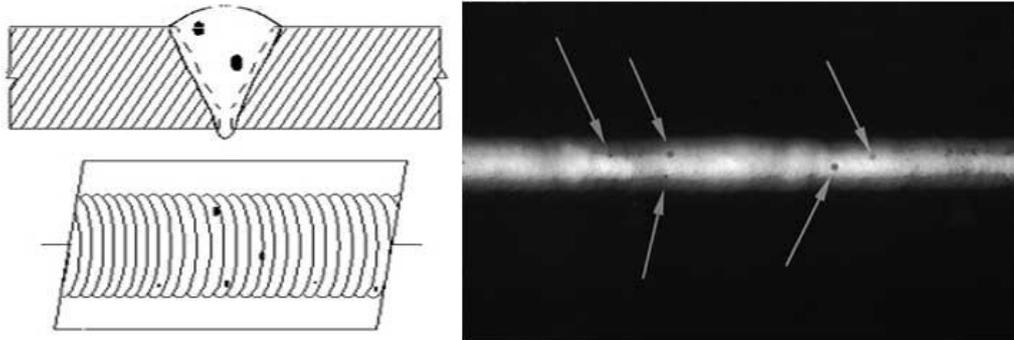
Gambar 2.5. Skema Pengujian Radiografi (Kurniawan, D.R. 2017)



Gambar 2.6. Contoh hasil radiografi (Putra, T.M., 2016)

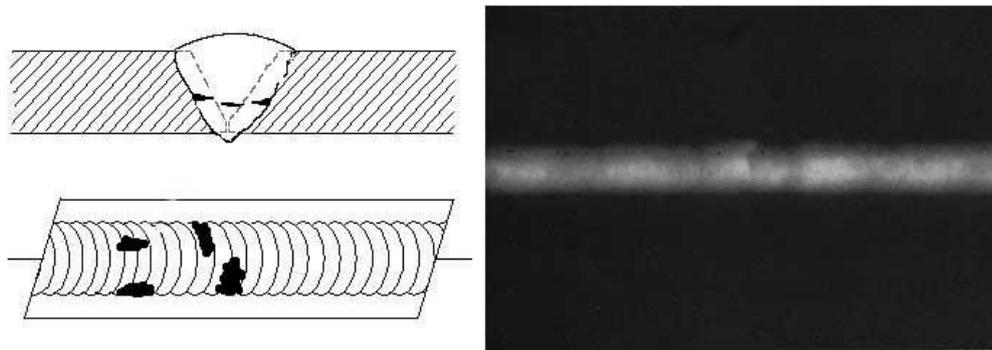
Berikut ini beberapa cacat umum yang biasa terlihat dalam radiografi (NDT, 1996)

- ❖ Porositas merupakan gas yang terjebak dalam logam pematik. Porositas memiliki lokasi dan ukuran yang acak. Cacat ini dapat dilihat berupa bintik-bintik bulat dengan densitas lebih gelap lokasi dan ukurannya acak (tidak bergerombol atau tidak lurus segaris). Dapat dilihat pada Gambar 2.7.



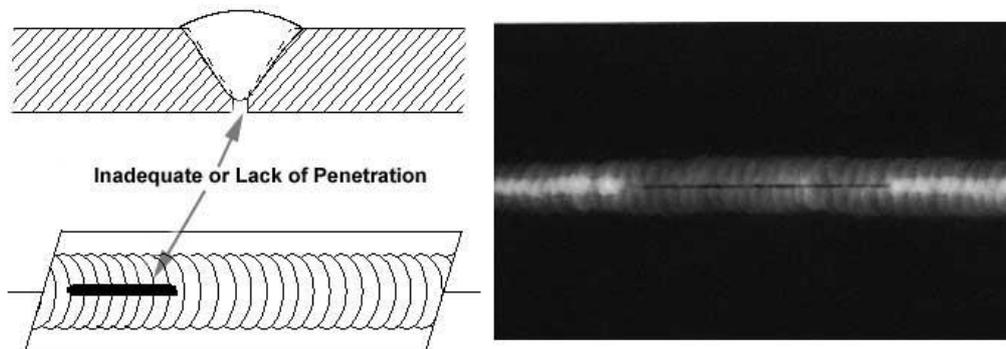
Gambar 2.7. Contoh cacat porositas (Putra, T.M., 2016)

- ❖ *Cold lap* merupakan kondisi dimana logam pengisi las dengan lajur las tidak benar-benar menyatu. Cacat ini dapat terlihat pada film radiografi berupa bintik-bintik kecil dengan densitas lebih gelap, beberapa ada yang memiliki ekor tipis memanjang, orientasinya memanjang pada arah pengelasan, lokasinya tidak pada pusat lebar gambar las seperti yang tertera pada Gambar 2.8.



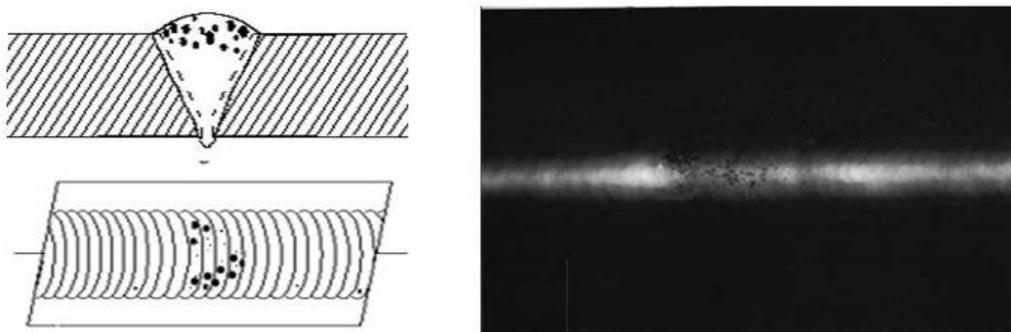
Gambar 2.8. Contoh cacat *cold lap* (Putra, T.M., 2016)

- ❖ *Incomplete of penetration* merupakan kondisi dimana logam las gagal menembus sambungan. Ini adalah salah satu cacat yang paling banyak celaan. *Lack of penetration* memungkinkan tegangan alami meningkat yang akan menghasilkan retak (crack) yang dapat di lihat pada Gambar 2.9. Cacat ini dapat terlihat pada film radiografi berupa area gelap dengan batas tepi yang baik dan lurus mengikuti muka akar di tengah lasan.



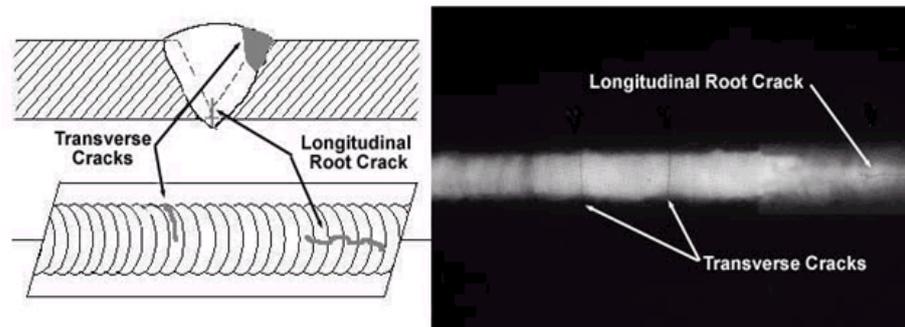
Gambar 2.9. Contoh cacat *incomplete of penetration* (Putra, T.M., 2016)

- ❖ *Cluster Porosity* merupakan gas *pore* yang bergerombol. Cacat ini dapat terlihat pada film radiografi berupa bintik-bintik bulat dengan sedikit memanjang seperti yang terlihat pada Gambar 2.10.



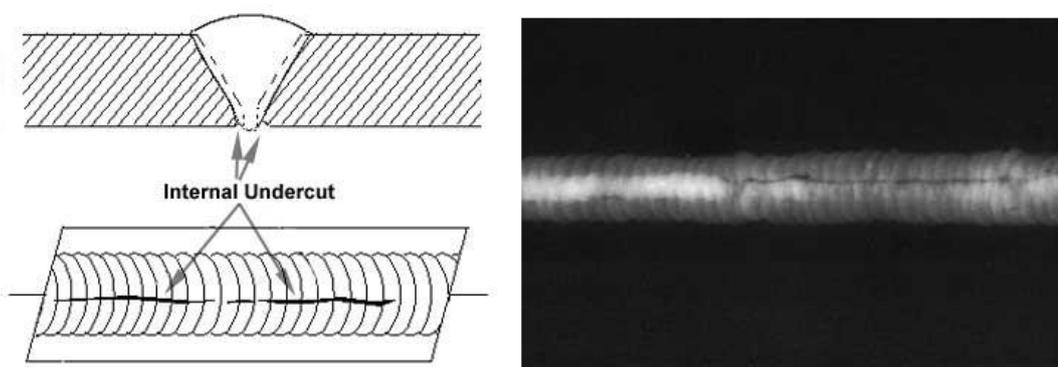
Gambar 2.10. Contoh cacat *cluster porosity* (Putra, T.M., 2016)

- ❖ *Crack* terlihat sebagai garis gelap sangat halus, bergerigi dan umumnya berupa garis tak teratur. Crack juga biasanya tampak seperti ekor pada inklusi atau porosity. Longitudinal crack arahnya sejajar las, sedangkan transversal crack arahnya melintang las seperti yang terlihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Contoh cacat *crack* (Putra, T.M., 2016)

- ❖ *Internal or root undercut* merupakan pengikisan logam dasar disamping akar las seperti yang terlihat pada Gambar 2.10. Pada film radiografi terlihat sebagai garis gelap tak teratur yang bergeser dari tengah-tengah las. Undercutting tidak bertepi lurus seperti LOP karena tidak mengikuti tepi dasar. Dalam ISO 6520 disebut sebagai *shrinkage groove*.



Gambar 2.10. Contoh cacat *internal or root undercut* (Putra, T.M., 2016)

2.6. Jenis Pengujian

2.6.1. Uji Tarik

Pengujian tarik merupakan proses pengujian yang bertujuan untuk mengetahui nilai kekuatan tarik, regangan, kekuatan luluh dan karakter patahan yang diterima dalam pemberian beban tarik terhadap material apakah patahan getas atau patahan ulet. Variabel yang terdapat dalam pengujian tarik ini yaitu, kekuatan tarik, regangan dan beban.

a. Kekuatan tarik

Kekuatan tarik merupakan reaksi yang diterima spesimen saat menerima beban tarik yang diberikan saat pengujian. Beban yang diterima benda per satuan luas juga dapat diartikan sebagai kekuatan tarik. Berikut ini adalah persamaan kekuatan tarik dapat dilihat dari persamaan 2.1 :

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (2.1)$$

Dengan :

σ = Kekuatan tarik (kg/mm^2)

P = Beban (kg)

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

b. Regangan

Regangan ini terjadi saat pengujian tarik, dimana benda uji akan mengalami penambahan panjang yang diakibatkan penerimaan beban tarik yang di alaminya. Perbandingan penambahan panjang ini dapat diketahui dengan benda yang ditarik dibagi dengan panjang mula-mula disebut sebagai regangan. Persamaan yang digunakan untuk menghitung besarnya regangan suatu benda uji dengan persamaan 2.2 sebagai berikut :

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \quad (2.2)$$

Dengan :

ϵ = Regangan (%)

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

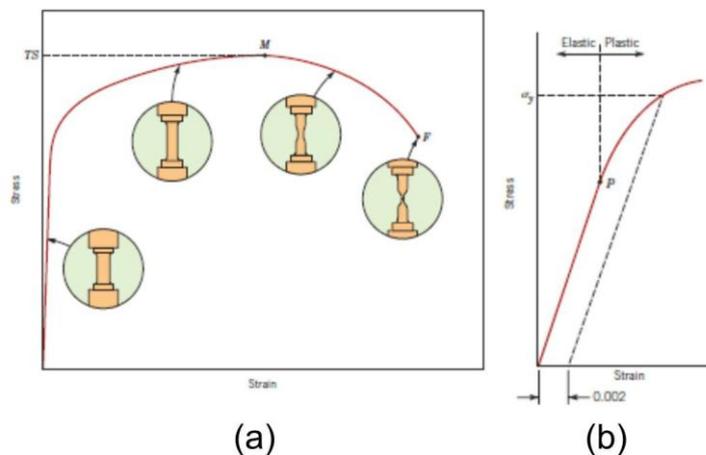
L_0 = Panjang ukur mula-mula (mm)

c. Beban

Beban merupakan sebuah gaya yang diberikan terhadap suatu bahan atau spesimen yang sedang dilakukan pengujian. Dalam pengujiannya beban yang diberikan terhadap benda atau spesimen ditambah secara perlahan dan konstan sampai dengan benda atau spesimen yang di uji mencapai batas kemampuannya untuk menahan beban dan patah.

d. Kurva Kekuatan Tarik - Regangan

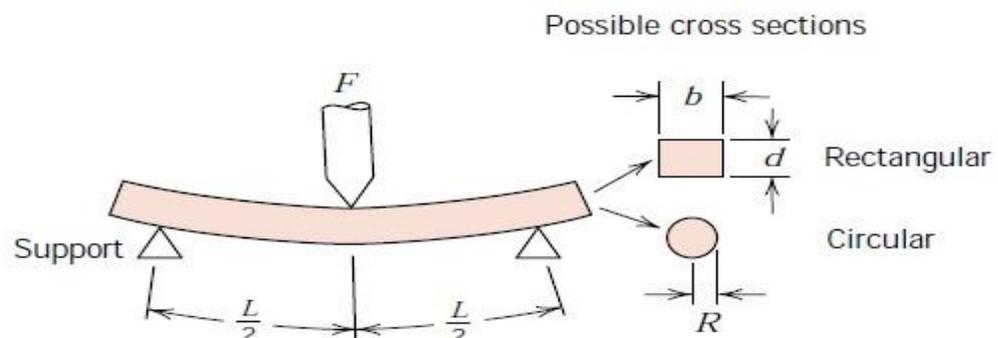
Dalam pengujian tarik terdapat hasil uji tarik berupa grafik pada kertas atau bisa juga pada komputer berbentuk kurva beban tarik hingga perubahan panjang seperti yang terlihat pada (Gambar 2.11). Pada grafik yang terlihat bahwa proses beban sebelum mengalami patah sebelumnya mengalami peregangan (*strain*) hingga benda uji tidak mampu menahan beban dan akhirnya mengalami patah (*fracture*).



Gambar 2.11. Kurva tegangan-regangan (Callister, 2010)

2.6.2. Uji Bending

Uji bending merupakan bentuk pengujian untuk mengetahui kekuatan



las dengan menahan beban lengkung untuk mengetahui kualitas pengelasan. Pada prinsip kerjanya pengujian bending ini yaitu spesimen uji di tumpu di bagian kedua ujung dan diberikan beban secara konstan di antara kedua tumpuan spesimen uji. Posisi beban yang diberikan terhadap spesimen uji yaitu tegak lurus dan arah pada tumpuannya berlawanan arah. Spesimen uji akan diberi beban hingga mengalami retak atau patah lalu dilakukannya pengamatan terhadap bentuk patahan dan kekuatan bendingnya. Dalam pengujian bending menggunakan metode *three point bending* yaitu dengan menggunakan 1 buah indentor pembebanan dan 2 buah tumpuan yang dapat dilihat pada Gambar 2.12.

Gambar 2.12. Skema uji *three point bending* (Callister, 2010).

Pada umumnya *weld zone* dari spesimen las akan diberikan beban lengkung pada saat pengujian bending. Pada proses pengujian yang dilakukan posisi pengujian adalah *transversal bending*. Berdasarkan lokasi pengamatan dan arah pembebanan saat pengujian *transversal bending* ini dibagi menjadi :

a. *Root bend* (Bending pada akar las)

Root bend merupakan pengujian bending yang dilakukan untuk memberikan tegangan tekan terhadap dasar las dan memberikan tegangan tarik terhadap akar las. Kemudian dilakukannya pengamatan untuk mengetahui bentuk retak atau patah yang terjadi pada bagian permukaan las.

b. *Face bend* (Bending pada permukaan las)

Face bend merupakan pengujian bending yang dilakukan untuk memberikan tegangan tekan terhadap dasar las dan tegangan tarik terhadap permukaan las. Kemudian dilakukannya pengamatan untuk mengetahui bentuk retak atau patah yang terjadi pada bagian permukaan las.

Berikut ini adalah perhitungan kekuatan bending yang menggunakan persamaan 2.3 yang sesuai dengan standar ASTM E190 :

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

Dengan :

σ_b = Tegangan *bending* (MPa)

P = Beban (N)

L = Panjang Span (mm)

b = Lebar (mm)

d = Tebal (mm)

2.6.3. Uji Makro

Uji makro adalah sebuah pemeriksaan bahan dengan memakai kaca pembesar dengan pembesaran rendah (*a low magnification*) atau dengan mata kita langsung. Uji makro ini bertujuan untuk memeriksa lubang-lubang pada struktur logam yang sifatnya rapuh, bentuk-bentuk patahan benda uji bekas pengujian mekanis dan permukaan yang terdapat celah-celah. Angka dari pembesaran pengamatan makro yaitu kisaran 0,5 kali sampai 50 kali. Pemeriksaan makro ini biasanya digunakan untuk bahan-bahan yang memiliki struktur kristal yang tergolong besar dan kasar, seperti logam hasil coran atau tuangan, serta bahan-bahan yang termasuk non metal.