

SKRIPSI

PENGARUH VARIASI KUAT ARUS PENGELASAN TIG (*TUNGSTEN INERT GAS*) TERHADAP SIFAT MEKANIS BAHAN AA 5083 H116 DAN CACAT POROSITAS HASIL UJI RADIOGRAFI

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar
Sarjana Teknik



UMY

UNIVERSITAS
MUHAMMADIYAH
YOGYAKARTA

Unggul & Islami

Disusun oleh:

Rakha Syahir Shalihan

20140130256

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA

2019

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

1.1 Tinjauan Pustaka

Pengelasan TIG merupakan (*Tungsten Inert Gas*) salah satu jenis pengelasan dengan bahan yang digunakan adalah tungsten atau *wolfram*, sebuah material dari metal yang mempunyai titik fusi lebih dari 3300°C dimana suhu tersebut dua kali lebih besar dibandingkan titik fusi logam yang biasa digunakan untuk pengelasan (TIG welding – Method and Application, 1998:1). Pada pengelasan ini memiliki dua jenis arus AC dan DC. Jenis arus DC lebih sering digunakan yang terdapat dua jenis polaritas las, yaitu DCEP (*Direct Current Electroda Positive*) dan DCEN (*Direct Current Electroda Negative*).

Dalam proses pengelasan tidak dapat dipungkiri bila cacat las dapat terjadi, sehingga memerlukan pengembangan pada proses pengelasan dan tes hasil akhir. Diperlukan adanya perbandingan antara las baik dan las yang memiliki cacat, sehingga dapat diketahui cacat las masih bisa ditolerir atau tidak. Cacat las dapat diketahui dengan infeksi secara visual, cacat las yang dapat diketahui secara visual seperti *undercut*, *over spatter*, *penetration*, dll. Sedangkan jika bagian cacat berada didalam pengelasan diperlukan pengujian radiografi untuk mengetahui cacat yang berada didalam las yang tidak bisa dilihat secara kasat mata.

Telah dilakukan penelitian terdahulu yang dilakukan untuk mengetahui hasil yang optimal dibidang pengelasan aluminium campuran menggunakan metode pengelasan TIG dapat ditinjau sebagai berikut:

Riswanda dan Ilman (2012) melakukan penelitian tentang komparasi sambungan las dissimilar AA 5083 menggunakan metode las TIG dan las FSW, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaplikasian las TIG yang dapat meminimalisir cacat las yang diakibatkan karena tembusnya las dicelah bagian bawah spesimen. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode pengelasan TIG dan FSW dapat meminimalisir cacat penetrasi dengan menggunakan arus 120 A,

hasil penelitian ini menghasilkan nilai uji tarik untuk pengelasan TIG dengan nilai paling tinggi memiliki nilai 201 MPa.

Aljufri (2014) melakukan penelitian tentang pengujian tarik statik terhadap hasil pengelasan TIG terhadap material 5083 dengan variasi arus 100 A, 125 A, 150A dan variasi sudut kampuh dengan variasi sudut 70°, 80°, 90°. Hasil penelitian ini menunjukkan hasil nilai tegangan terbesar dimiliki oleh spesimen kuat arus 90 A dengan variasi sudut 90° dengan nilai 135,05 Mpa. Hadi, dkk (2017) melakukan penelitian dengan pengaruh arus listrik dengan variasi 110 A, 130 A, 150 A dengan menggunakan sudut kampuh sebesar 60°. Penelitian ini membahas pengaruh arus terhadap kekuatan tarik sambungan las dan struktur mikro.

Hasil penelitian ini didapatkan hasil kekuatan tarik terbesar dimiliki oleh spesimen dengan variasi arus 150 A dengan besar kekuatan tarik 170,98 MPa. Patahan yang terjadi pada proses pengujian tarik berada pada daerah HAZ (*Heat Affected Zone*). Penelitian *torch* untuk las TIG yang berpengaruh terhadap sifat mekanis dengan material AA 5083 H116 dilakukan Sukma (2016) dengan variasi sudut *torch* 60°, 75°, dan 90°. Hasil variasi sudut *torch* dengan 60° memiliki hasil sifat mekanis yang lebih baik dibanding variasi lainnya. *Torch* dengan variasi 90° memiliki hasil sifat fisis yang paling baik dibanding variasi yang lainnya.

Junus (2011) melakukan penelitian dengan variasi besaran gas pelindung terhadap porositas dengan variasi 12 l/min, 19 l/min, dan 36 l/min. Hasil penelitian menunjukkan variasi besaran gas tepelindung terbesar dengan nilai 36 l/min tidak terindikasi adanya cacat porositas. Penelitian lanjutan dilakukan oleh Saputro (2015) dengan melakukan perbandingan antara arus dan besaran gas pelindung argon dengan variasi 10l/mnt, 12l/mnt, 14l/mnt terhadap formasi lapisan intermetalik dan sifat mekanis. Semakin besar laju aliran gas akan meningkatkan ketebalan lapisan intermetalik, dan semakin tinggi arus akan meningkatkan kekerasan. Penelitian lanjutan dilakukan Samuel, dkk (2017) telah melakukan penelitian tentang pengaruh penggunaan gas pelindung variasi Argon grade A (*Ultra High Purity*) dan gas pelindung grade C (*Industrial Purpose*) pada material Al 5083. Hasil penelitian ini menunjukkan kekuatan impak variasi pelindung Argon grade A memiliki hasil kekuatan inpak yang lebih tinggi dibandingkan dengan

Argon *grade* C dengan nilai $0,22 \text{ J/mm}^2$ dan $0,11 \text{ J/mm}^2$. Pengelasan menggunakan TIG dengan variasi gas Argon *grade* A memiliki kekuatan impak sebesar 1458 N/mm^2 dan variasi gas Argon *grade* C memiliki kekuatan impak lebih kecil sebesar 900 N/mm^2 .

Berdasarkan beberapa penelitian diatas, proses pengelasan TIG memiliki potensi yang baik untuk dikembangkan. Pengembangan dapat dilakukan diantaranya dengan melakukan penelitian tentang pengaruh dan perbedaan antara las yang baik dan las cacat dan juga menemukan parameter yang tepat untuk mendapatkan hasil pengelasan yang optimal berdasarkan sifat mekanisnya.

Cacat pada bagian las dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kecepatan las dan arus yang digunakan pada proses las. Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya, parameter yang digunakan dalam proses pengelasan TIG yaitu kecepatan las meliputi pengaruh *heat input* yang dihasilkan oleh las TIG yang berpengaruh terhadap kualitas sifat mekanis dan fisis. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisa pengaruh cacat radiografi las TIG terhadap sifat mekanis yang terjadi.

1.2 Alumunium

Alumunium merupakan logam dengan bijih utamanya adalah bauksit, sumber unsur ini tidak terdapat bebas di sekeliling kita. Pada umumnya penggunaan alumunium dapat kita temui sehari-hari seperti untuk bahan kontuksi transportasi, pembuatan kabel, dan sebagai produk rumah tangga. Alumunium pertama ditemukan oleh Hans Christian O pada tahun 1825 dan diakui oleh F. Wohler pada tahun 1827. (Surdia dan Saito, 1992).

Terdapat sifat menguntungkan yang dimiliki alumunium, sehingga material ini sangat banyak dipakai dalam kehidupan sehari-hari, diantaranya memiliki sifat penghantar listrik yang baik, mudah fabrikasi, ringan, tidak beracun, dan tahan korosi. Ketahanan korosi pada alumunium disebabkan oleh terbentuknya senyawa aluminium oksida (Al_2O_3) atau alumina. Alumina adalah sebuah lapisan yang terbentuk pada permukaan alumunium yang berfungsi sebagai pelindung

permukaan aluminium yang terkena oksigen (O_2) dari korosi. Sehingga aluminium memiliki ketahanan korosi yang baik (Sheasby, 2001).

Alumunium mulai diproduksi dalam skala industri pertama oleh Charles Hall dan Poul Heroult pada tahun 1886. Proses pembuatan alumunium dimulai dari bijih bauksit yang dilarutkan dalam cairan *cryolite* yang telah dicampur dengan garam florida yang berfungsi untuk mengontrol temperatur larutan. Arus listrik dialirkan ke dalam cairan kemudian alumina yang larut akan terelektrolisis dan oksigen yang terbentuk akan bereaksi dengan anoda karbon. Aluminium yang terbentuk akan berkumpul pada katoda selanjutnya akan dialirkan keluar menuju tempat peleburan logam yang kemudian akan dibentuk dalam bentuk ingot.

Batang aluminium kemudian diproses dan dibentuk sesuai dengan kebutuhan seperti plat, lembaran, pipa, dan bentuk-bentuk ekstrusi lainnya untuk selanjutnya diproses lagi menjadi barang siap pakai (Singh, 2016).

1.2.1 Karakteristik Alumunium

Tabel 2.1 Sifat fisis aluminium (Surdia dan Saito, 1992)

Sifat- sifat	Kemurnian Al (%)	
	99,96	>99,0
Massa jenis (g/cm^3) ($20^\circ C$)	2,6989	2,71
Titik cair ($^\circ C$)	660.2	653-657
Panas jenis ($cal/g \cdot ^\circ C$) ($100^\circ C$)	0,2226	0,2297
Hantaran listrik (%)	64,94	59 (dianil)
Koefisien Suhu Tahanan listrik ($^\circ C$)	0,00429	0,0115
Koefisien pemuaian (20- $100^\circ C$)	$23,86 \times 10^{-6}$	$23,5 \times 10^{-6}$
Jenis Kristal, konstanta kisi	Fcc, a = 4,013 kX	Fcc, a=4,04 kX

Aluminium adalah logam *non-feroes* dan logam ringan karena memiliki massa jenis sebesar $\pm 2,7 g/cm^3$ nilai ini jauh lebih kecil dibandingkan dengan masa jenis logam *non feroes* lainnya seperti dibandingkan dengan massa jenis kuningan ($8,53 g/cm^3$), dan tembaga ($8,93 g/cm^3$). Alumunium juga memiliki titik lebur yang kecil ($650^\circ C$) dibading dengan logam ringan lainnya, seperti barium ($727^\circ C$) dan kalsium ($1484^\circ C$).

Alumunium memiliki sifat mampu tempa, dapat dibentuk (*formabilitas*), ketahanan korosi, penghantar panas dan listrik yang baik dan bersifat tidak dapat ditarik magnet (*non-magnetic*), serta tidak beracun (Singh, 2016). Berikut tabel sifat fisis dan mekanis dari alumunium yang akan dipaparkan dalam tabel 2.1 dan tabel 2.2.

Tabel 2.2 Sifat mekanis 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

1.2.2 Alumunium dan Paduan

Alumunium dan paduan dapat dibagi menjadi dua kategori berdasarkan perlakuan panas dan proses fabrikasinya. Proses fabrikasi terbagi menjadi dua, yaitu dengan cara tempa (*wrought*) dan cor (*cast*), alumunium cor merupakan proses pembuatan dengan pengecoran dari bahan bijih alumunium, sedangkan proses tempa adalah proses fabrikasi dengan penempaan bijih alumunium.

Berdasarkan perlakuan panas alumunium dibagi menjadi dua, yaitu alumunium dan paduan yang tidak bisa diberi perlakuan panas (*non-heat treatable alloy*) dan juga alumunium dengan paduan yang bisa diberi perlakuan panas (*heat treatable alloy*). Berikut adalah tabel kelompok dan jenis alumunium dan paduan.

Tabel 2.3 Kelompok Aluminium dan Paduan (Irawan, 2012)

No. Seri	Komposisi Paduan Aluminium	No. Seri	Komposisi Paduan Aluminium
1xx.x	Aluminium 99,9%	1xx.x	Aluminium 99,9%
2xx.x	Al-Cu	2xx.x	Al-Cu
3xx.x	Al-Si dan Mg	3xx.x	Al-Mn
4xx.x	Al-Si	4xx.x	Al-Si
5xx.x	Al-Mg	5xx.x	Al-Mg
7xx.x	Al-Zn	6xx.x	Al-Mg dan Si
8xx.x	Al-Sn	7xx.x	Al-Zn
9xx.x	Aluminium dan unsur paduan lainnya	8xx.x	Aluminium dengan unsur paduan lainnya

Aluminium Non-Heat treatable alloy dilakukan untuk meningkatkan sifat mekanis aluminium paduan yang terdiri dari beberapa Seri 1xxx (Al), seri 3xxx (Al-Mn), seri 4xxx (Al-Si) dan seri 5xxx (Al-Mg). Peningkatan kekuatan tarik pada proses ini dapat dilakukan dengan cara pengerjaan dingin (*cold working*) atau penguatan larutan (*solid solution hardening*).

Aluminium Non-Heat treatable alloy adalah Aluminium yang dapat menerima perlakuan panas dengan nilai kekuatan tarik dan kekerasan pada komposisi proses perlakuan pemanasan hingga melebihi garis solvus, bertujuan untuk menyatukan paduan menjadi satu fasa seragam. Pendinginan cepat (*quenching*) dilakukan untuk menghasilkan jenis larutan padat jenuh. Proses *reheating* dilakukan untuk memperoleh bentuk endapan yang halus. Aluminium yang bisa digunakan dalam proses ini adalah seri, yaitu seri 2xxx campuran dari (Al-Cu), seri 6xxx (Al-Mg-Si), dan seri 7xxx (Al-Zn).

Aluminium paduan memiliki perlakuan yang disimbolkan dengan kode untuk mengetahui perlakuan yang dipakai. Tabel 2.4 menunjukkan jenis perlakuan pada aluminium paduan.

Tabel 2.4 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

1.3 Paduan Aluminium 5083 H116

Aluminium 5xxx merupakan paduan aluminium dengan unsur utama Magnesium (Mg). Paduan dengan unsur utama magnesium, kromium, mangan menjadikan aluminium memiliki sifat yang mudah untuk dibentuk, diekstrusi, rol dan mudah tempa. Aluminium seri 5083 baik digunakan dalam segala kondisi seperti cuaca ekstim karena memiliki sifat anti korosi dan tahan terhadap bahan kimia industri. Aluminium 5083 memiliki kekuatan yang relative tinggi dibandingkan dengan kelompok aluminium dengan seri 5xxx lainnya.

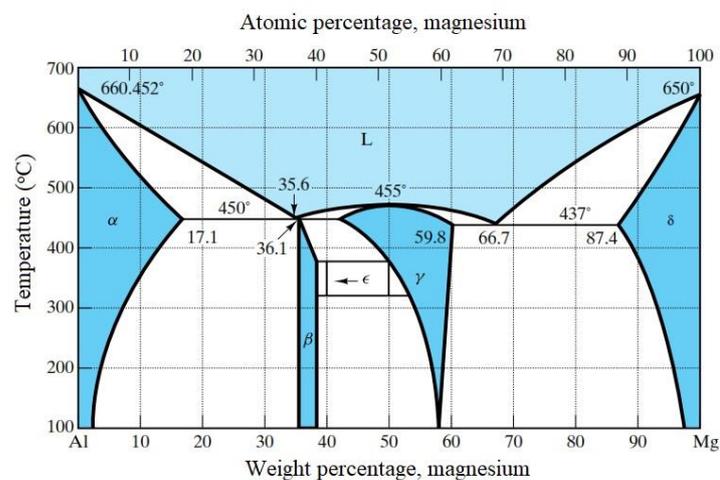
Pengaplikasian aluminium seri 5083 sering digunakan dalam konstruksi kapal untuk tiang konstruksi kapal, dek kapal, pipa dan tangki (Junus, 2011).

Tabel 2.5 Komposisi AA 5083 H116 (Cueca dkk, 2012)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Elemen lain
0,40%	0,40%	0,10%	0,40-1,0%	4,0-4,9%	0,05-0,25%	0,25%	0,15%	0,05-0,15%

AA 5083 adalah satu diantara paduan aluminium yang bersifat *non-heat treatable alloy*. Dalam tabel 2.5 menunjukkan kandungan Mg pada 4,0-4,9%. Paduan magnesium dapat menambah kemampuan logam paduan menjadi lebih baik pada temperatur rendah. Tidak seperti logam lain, paduan magnesium tidak akan mengalami *failure* yang disebabkan oleh getasan pada suhu rendah.

Pada Aluminium seri 5083 H116 memiliki arti berdasarkan kode penamaan yang ada pada aluminium tersebut, yaitu arti AA adalah *Aluminium Association* dengan 4 digit angka adalah paduan aluminium dengan seri angka 5 merupakan unsur paduan utama berupa Magnesium (Mg), angka 0 adalah batas nilai ketidakmurnian nol, dua digit setelahnya yaitu 83 menunjukkan nilai kemurnian aluminium, 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).



Gambar 2.1 Diagram Fase Paduan Al-Mg (ASM Handbook Vol 01,1986)

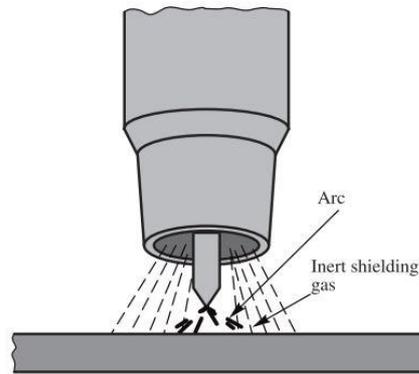
Pada gambar 2.1 menunjukkan diagram fasa antara paduan Al-Mg dalam bentuk satu fasa dalam keadaan *balance*. Larutan padat Al pada diagram fasa Al-Mg adalah larutan padat yang merupakan senyawa logam Al_3Mg_2 . Titik eutektik pada diagram diatas memiliki nilai $450^{\circ}C$ dan Mg dengan jumlah 35,6% menunjukkan batas kelarutan padatnya pada titik eutektik adalah 17,1% Mg.

1.4 Tungsten Inert Gas (TIG)

Tungsten Inert Gas (TIG) adalah nama lain dari *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) merupakan sebutan untuk elektroda tungsten yang digunakan dalam busur listrik dalam proses las. Istilah ini mulai digunakan pada tahun 1940 oleh para insinyur di *Blueprints* dengan sebutan *HeliArc* dikarenakan menggunakan gas pelindung berupa helium, istilah itu diganti karena seiring berkembangnya zaman gas yang digunakan merupakan argon.

Tungsten atau wolfram adalah logam dengan titik fusi lebih dari $3300^{\circ}C$. Titik fusi yang dimiliki tungsten lebih besar dua atau tiga kali lipat dari titik fusi logam yang biasanya dilas. *Gas inert* adalah gas tidak aktif, yang berarti jenis gas yang tidak dapat digabungkan elemen lainnya pada proses pengelasan, sehingga gas inert tidak akan berpengaruh terhadap sifat mekanis suatu material yang di las.

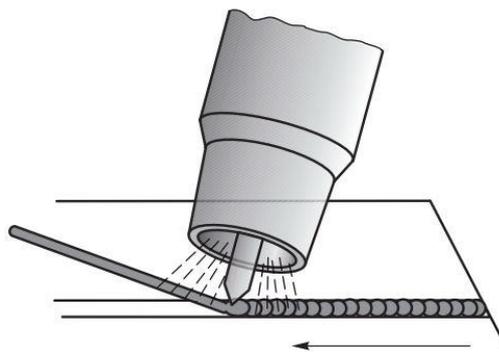
Pengelasan TIG adalah proses pengelasan menggunakan busur listrik dimana energi fusi dihasilkan oleh listrik busur pembakaran antara benda kerja dan elektroda tungsten. Selama proses pengelasan elektroda, busur dan *weld pool* dilindungi dari udara di atmosphere yang dapat merusak atau mempengaruhi hasil las oleh gas pelindung inert. Pada gambar 2.2 memperlihatkan semburan gas inert yang berasal dari *nozzle* gas.



Gambar 2.2 *Nozzle Gas Inert* (Jeyaprakash, 2015)

Proses pengelasan elektroda terlindungi oleh gas inert. Gas inert yang digunakan adalah argon, helium maupun campuran keduanya yang berfungsi untuk mengurangi pengikisan yang terjadi pada elektroda. Elektroda pada *torch* teraliri arus dari *power supply* yang terlindungi oleh sebuah *contact tube*.

Proses pengelasan TIG berbeda dari pengelasan busur lainnya bahwa elektroda tidak dikonsumsi seperti elektroda dalam proses lain seperti *Metal Inert Gas* (MIG) dan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW). Jika perlu menggunakan bahan pengisi, itu ditambahkan secara manual atau otomatis dengan *filler material* yang ditunjukkan pada Gambar 2.2.

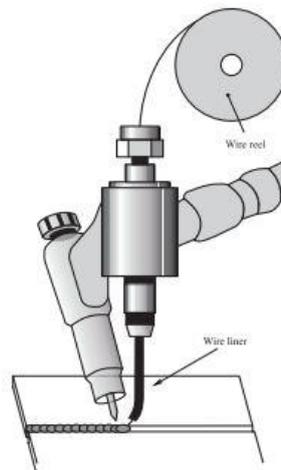


Gambar 2.3 *Manual Filler Material* (Jeyaprakash, 2015)

Pada Gambar 2.3 memperlihatkan proses las TIG menggunakan metode manual pada proses pengisian *filler Material*. Metode manual harus memperhatikan

konsumsi pada *Filler material* terhadap benda kerja harus tetap stabil sehingga kualitas pengelasan seragam dan meminimalisir terjadinya cacat.

Proses las TIG menggunakan cara otomatis disebut *Automatic Feeding of Filler Material*. Gambar 2.4 menunjukkan penggunaan *automatic feeding of filler material*. Pada proses ini *filler material* berbentuk lilitan kawat yang akan mengisi seiring pergerakan *torch* terhadap benda kerja.



Gambar 2.4 *Automatic Feeding of Filler Material* (Jeyaprakash, 2015)

Untuk pengelasan TIG, elektroda yang digunakan terbuat dari tungsten. Tungsten murni adalah bahan yang sangat tahan panas dengan titik fusi sekitar 3.380°C . Dengan mencampur tungsten dengan beberapa persen logam oksida konduktivitas elektroda dapat ditingkatkan dan memiliki keunggulan, dengan demikian dapat menahan beban arus yang lebih tinggi. Oleh karena itu elektroda tungsten paduan memiliki masa pakai lebih lama dan pemanasan lebih baik dibanding dengan elektroda tungsten murni. Oksida logam yang paling sering digunakan paduan tungsten adalah:

- Thorium oksida (ThO_2)
- Zirkonium oksida (ZrO_2)
- Lanthanum oxide (LaO_2)
- Cerium oksida (CeO_2)

1.4.1 Filler Material dan Elektroda

Filler material berbentuk batang dengan panjang 36 inci. Kawat pengisi ini tersedia dalam berbagai jenis ukuran yang biasanya 1mm, 1,6 mm, 2,0 mm, 2,4 mm, 3,2 mm, 4,0 mm, 5,0 mm. Ukuran elektroda tidak ada hubungannya dengan ketebalan logam yang akan di las, akan tetapi berapa banyak logam pengisi yang ingin pada waktu tertentu. Dengan pengelasan TIG elektroda memiliki sistem pengkodean untuk mengidentifikasi. Elektroda yang biasa digunakan untuk AA5083 adalah elektroda ER5183. Elektroda ER5183 digunakan karena cocok untuk meningkatkan kekuatan las dan elongasi. Elektroda ER5183 memiliki komposisi material seperti pada tabel 2.6 sebagai berikut:

Tabel 2.6 Komposisi susunan *filler material* ER5183 (AWS A5.10, 2015)

Unsur	Berat (%)	Unsur	Berat (%)
Si	0,4	Zn	0,25
Fe	0,4	Ti	0,15
Cu	0,1	Be	0,0003
Mn	0,5-1	Cr	0,05-0,25
Mg	4,3-5,2	Lain-lain	0,05-0,15

Elektroda tungsten yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis wolfram-thorium 2% memiliki nilai titik leleh 3.422 °C. Thorium yang digunakan dalam wolfram-thorium 2% adalah elemen radioaktif dan karenanya dapat membahayakan kesehatan dan lingkungan. Ini adalah pemancar alfa, namun ketika berada di dalam batang elektroda tungsten, ia tertutup dalam matriks tungsten dan karenanya ada sedikit radiasi yang dipancarkan secara eksternal. Risiko utama bagi *welder* terjadi pada konsumsi bahan. Hal ini terjadi terutama selama menghirup debu yang disebabkan selama peruncingan ujung elektroda untuk pengelasan, tetapi juga pada tingkat yang lebih rendah selama menghirup uap yang dilepaskan selama pengelasan.

Kelebihan dari elektroda wolfram-thorium 2% adalah emisi elektron yang baik kapasitas arus yang tinggi, cocok untuk pengelasan jenis aliran arus DC untuk material baja karbon, stainless steel, paduan nikel dan paduan titanium. Agar

terciptanya pengelasan yang optimal besaran arus pengelasan dan diameter elektroda dapat dilihat pada tabel 2.7.

Tabel 2.7 Kesesuaian besaran arus pengelasan dengan diameter elektroda
(Wirjosumarto dan Okumura, 2000)

Diameter Elektroda (mm)	Arus Pengelasan (A)	
	Wolfram pure	Wolfram-thorium
1,0	10-60	15-80
1,6	40-110	60-150
2,4	80-160	140-250
3,2	140-210	225-325
4,0	170-275	300-425
5,0	250-350	400-500
6,4	300-450	300-450

1.4.2 Gas Pelindung

Gas pelindung berfungsi untuk melindungi daerah las dan logam las untuk menghindari terjadinya kontaminasi dari udara sekitar, mencegah terjadinya oksidasi dan mempercepat pendinginan *filler material*. Gas pelindung yang digunakan pada proses pengelasan TIG adalah Argon (Ar), Helium (He) atau campuran keduanya.

Gas argon adalah gas yang sukar untuk bereaksi dengan unsur lainnya, sehingga gas argon lebih sering digunakan. Skema antara gas pelindung untuk bahan aluminium dan aluminium paduan dapat dilihat pada tabel 2.8.

Tabel 2.8 Skema elektroda dan gas pelindung untuk aluminium
(Wirjosumarto dan Okumura, 2000)

Bahan	Tebal	Arus	Elektroda	Gas Lindung
Aluminium	Semua	AC	Tungsten/Zicron	Argon/Argon helium
	>1/8"	DCSP	Thoriated	Argon/Argon helium
	<1/8"	DCRP	Thoriated/Zicron	Argon
	Semua	DCSP	Thoriated	Helium

Selain itu, besaran aliran gas pelindung pada proses pengelasan bergantung terhadap beberapa variabel, seperti tebal benda kerja, diameter elektroda yang digunakan, jenis las yang digunakan, dapat dilihat pada tabel 2.9.

Tabel 2.9 Skema antara tebal, diameter elektroda, jenis gas dan aliran gas
(Wirjosumarto dan Okumura, 2000)

Tebal (mm)	Diameter elektroda (wolfram) (mm)	Helium		Argon	
		Arus (A)	Aliran gas (l/min)	Arus (A)	Aliran gas (l/min)
1,6	1,6	50-125	4,7-7,8	60-150	3,8-5,7
3,2	2,6	123-225	6,6-9,5	140-280	4,7-7,8
4,8	3,2	200-300	7,6-10,4	250-375	5,2-8,5
6,4	4,8	250-350	9,5-14,2	300-475	7,6-11,8
12,7	6,8	300-550	11,8-16,5	400-600	9,5-14,2

1.4.3 Mode Operasi Aliran Arus

Proses las TIG memiliki beberapa mode operasi berdasarkan aliran arus listrik yang digunakan, metode arus langsung (DC) dengan elektroda negative (EN) atau positif (EP), atau arus bolak balik (AC). Perbedaan aliran arus listrik yang digunakan akan berpengaruh terhadap karakteristik dari las.

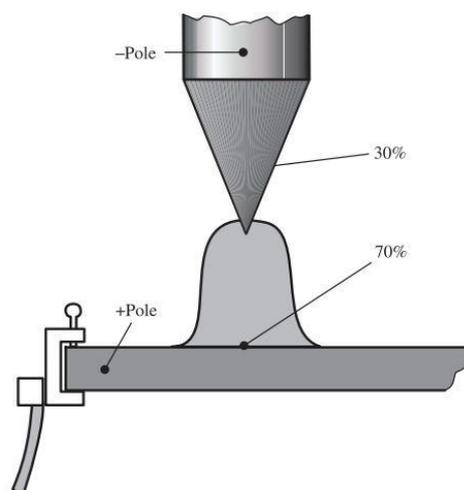
Direct Current Electrode Negative (DCEN) atau *Straight Polarity* (DCSP) merupakan operasi aliran arus DC polaritas lurus. Benda kerja diberi sambungan dengan katup positif (+) dan elektroda disambungkan dengan katup negatif (-). *Direct Current Electrode Positive* (DCEP) atau *Reverse Polarity* (DCRP) merupakan operasi aliran arus DC polaritas balik. Benda kerja akan disambungkan ke katup negative (-) dan elektroda akan tersambung dengan katup positive (+). Ion yang bermuatan negatif dan positif yang dibebankan akan bergerak saat busur dinyalakan. Elektron dari kutub negative ke kutub positif sementara ion akan melakukan pergerakan masuk arah yang berlawanan.

Elektron yang dihasilkan dari elektroda tungsten akan bergerak dengan kecepatan yang sangat tinggi sehingga menghasilkan energi kinetik ketika mengalir

melewati busur listrik. Oleh karena itu pada bagian busur akan ada pertemuan antara elektron dan ion-ion yang akan menghasilkan panas.

Elektron dari titik elektroda berlangsung dengan kecepatan yang sangat tinggi dan ketika menyentuh benda kerja, energi panas dihasilkan. Ketika aliran ion mencapai titik elektroda di sana tidak menghasilkan jumlah yang sama dari energi panas.

Pengelasan menggunakan DCSP atau polaritas lurus akan menghasilkan bentuk las yang memiliki kedalaman, tetapi luasnya akan lebih sempit dan kalor yang masuk akan relatif tinggi. Hal itu diakibatkan karena panas kerja pada elektroda yang masuk ke benda kerja berjumlah $\pm 70\%$. Besaran kalor dapat diatur sesuai dengan kebutuhan yang bergantung pada penggunaan dan tergantung terhadap beberapa variabel, seperti kedalaman las, lebar las, jenis berat logam las yang akan berpengaruh terhadap distorsi. Pada Gambar 2.5 memperlihatkan sebaran energi panas yang terjadi. Total energi panas yang dihasilkan didistribusikan oleh sekitar $\pm 30\%$ ke titik elektroda yaitu terhubung ke kutub negatif dan $\pm 70\%$ a benda kerja yang terhubung ke kutub positif (Jeyaprakash, 2015).

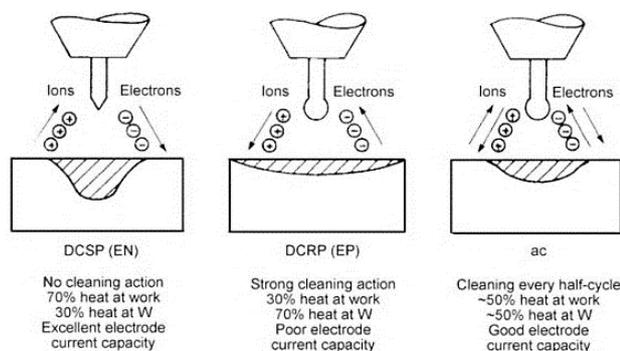


Gambar 2.5 Sebaran Energi Panas Las TIG (Jeyaprakash, 2015)

Pengelasan menggunakan DCRP atau polaritas balik menghasilkan jenis las yang dangkal dengan menjaga kalor yang masuk rendah karena elektron lebih banyak berpengaruh pada tungsten dari pada benda kerja. Pengelasan ini sering

digunakan pada benda kerja yang tipis atau benda kerja yang memiliki titik leleh yang rendah. Ciri-ciri penggunaan DCRP dapat terlihat pada hasil las yang memiliki penggosokan pada permukaannya, hal ini disebabkan karena ion positif yang mengenai permukaan benda kerja yang menyebabkan permukaan kehilangan oksidan dan berfungsi untuk pembersihan permukaan.

Selain itu ada mode yang ada yaitu *alternative current* (AC). Mode AC menghasilkan karakteristik las yang menggabungkan kedua mode DC. Karakteristik dari jenis pengelasan yang digunakan dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Karakteristik mode operasi las TIG (Massler, 2000)

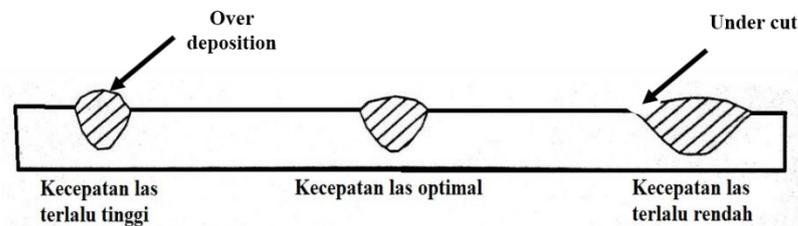
1.5 Parameter Las

1.5.1 Kecepatan Pengelasan

Kecepatan pengelasan bergantung terhadap beberapa parameter, seperti ukuran elektroda, material specimen, jenis sambungan, lebar dan dalam las, dan ketelitian pada sambungan. Semakin cepat kecepatan pengelasan maka akan dibutuhkan arus las yang lebih tinggi, hal ini dikarenakan semakin besar arus yang diterapkan maka semakin cepat elektroda mengisi sambungan dengan jumlah yang banyak.

Apabila arus dan tegangan yang diterapkan terlalu kecil dan kecepatan las yang tinggi maka akan mengakibatkan menurunnya nilai total masukan panas per satuan panjang. Hal ini mengakibatkan penurunan masukan elektroda sehingga proses pendinginan akan cepat dan logam las akan semakin keras pada daerah HAZ (Wiryosumarto dan Okumura, 2000). Kecepatan las yang tinggi juga akan mengakibatkan penetrasi pada bagian las yang akan menyebabkan terjadinya *under*

cut. Sehingga kecepatan las harus disesuaikan sehingga penetrasi pada las terhadap bentuk *weld bead* sesuai. Berikut pengaruh kecepatan terhadap bentuk hasil *weld bead* pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Pengaruh kecepatan las terhadap bentuk *weld bead* (Mandalf, 2017)

Secara teori kecepatan pengelasan yang tinggi sangat disarankan, karena semakin tinggi kecepatan las maka kemungkinan perubahan sifat metalurgi pada specimen akan semakin kecil, akan tetapi selalu memperhatikan kualitas las.

1.5.2 Arus Pengelasan

Arus pengelasan pada pengelasan TIG dipengaruhi oleh besaran arus las yang digunakan tergantung terhadap bahan, ukuran las, geometri sambungan, jenis elektroda yang digunakan dan posisi las. Elektroda yang digunakan pada proses pengelasan harus sesuai dengan arus yang digunakan, jika elektroda memiliki kapasitas kalor yang tinggi, maka arus las harus besar (Okumura, 2000).

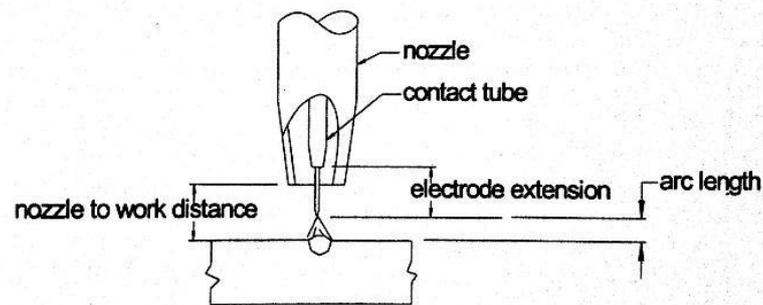
Semakin kecil arus yang digunakan maka HAZ yang terbentuk akan lebih sempit, penetrasi pada logam yang dangkal, dan semakin sedikit campuran logam induk yang mencari, oleh karena itu arus las sangat berpengaruh efisiensi pengelasan dapat dioptimalkan dengan cara penambahan harus, akan tetapi masih dalam arus yang aman digunakan. Arus las yang terlalu besar akan menyebabkan kelebihan termal pada bagian tungsten yang dapat dengan mudah mengubah sifat metalurgi specimen.

1.5.3 Tegangan

Tegangan yang terjadi pada proses pengelasan dipengaruhi oleh jarak antara tungsten dengan specimen dan elektroda yang terjadi pada saat pengelasan. Jika jarak antara elektroda dengan specimen bertambah, maka tegangan las akan naik dan arus akan menurun, begitupun sebaliknya. Adanya pengaruh yang terjadi antara tegangan dan arus las, tegangan yang dihasilkan tidak akan berpengaruh langsung

terhadap penetrasi pada elektroda, akan tetapi berpengaruh terhadap kestabilan aliran arus yang dapat menyebabkan tidak ratanya las.

Penggunaan manual *filler material* pada proses pengelasan jarak antara tungsten dan spesimen harus sangat diperhatikan untuk tercapainya hasil las yang maksimal, karena penggunaan manual *filler material* sukar untuk menjaga kestabilan dan jarak.



Gambar 2.8 Skema jarak antara tungsten dan spesimen (Mandalf, 2005)

1.6 Non-Destructive Test

Non-Destructive test (NDT) adalah inspeksi atau pengujian untuk menganalisis suatu material metal atau non-metal yang dilakukan untuk mengetahui adanya cacat, atau kerusakan pada suatu material tanpa merusak fungsi dari benda uji tersebut. NDT ada beberapa jenis antara lain:

- *Radiography Test.*
- *Magnetic Particle Inspection / Dye Penetrant Test.*
- *Ultrasonic Flaw Detector.*
- *Vacuum Test.*
- *Holiday Detector.*
- Uji optik.

Pada pengujian ini menggunakan pengujian jenis radiografi tes dan uji optik, lebih spesifiknya uji optik makro atau *Macroscopic Examination*.

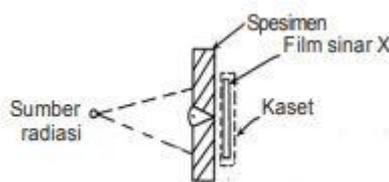
1.6.1 Pengujian Radiografi

Radiografi test menggunakan sinar-X atau sinar gamma. Sinar-X diproduksi dari tabung sinar-X, sedangkan sinar gamma dihasilkan dari isotop radioaktif.

Metode pengujian lasan ini menggunakan sinar-X, yang diproduksi oleh tabung sinar-X, atau sinar gamma, yang diproduksi oleh isotop radioaktif.

Prinsip penggunaan pengujian radiografi pada material las dengan cara radiasi penetrasi ditembakkan menembus benda padat dan akan diserap oleh film fotografi, menghasilkan gambar struktur pada bagian internal objek yang diserap pada film.

Jumlah energi yang diserap pada spesimen bergantung pada ketebalan, jumlah atom dan kepadatannya. Energi yang tidak diserap oleh objek akan menyebabkan paparan film radiografi area-area ini akan menjadi gelap pada film. Area film yang terkena lebih sedikit energi tetap lebih ringan (Larson, 2000). Oleh karena itu, area objek yang ketebalannya telah diubah oleh diskontinuitas, seperti porositas atau retakan, akan tampak sebagai garis gelap pada film. Gambar 2.10 menunjukkan cara kerja radiografi test.



Gambar 2.9 skema pengujian radiografi (Sunaryo, 2008)

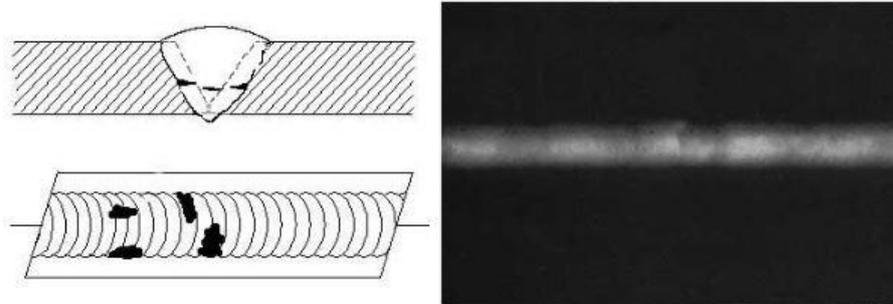
Bagian material dengan kepadatan rendah, seperti terak, dan porositas akan muncul sebagai area gelap pada film sementara material dengan kepadatan tinggi, seperti tungsten, akan muncul sebagai area terang. Semua diskontinuitas dideteksi dengan melihat bentuk dan variasi dalam kepadatan film yang diproses.

Dari hasil radiografi tes kita dapat mengetahui kualitas las, dan dapat mengetahui jenis cacat yang terdapat pada bagian las. Cacat pada bagian las dapat dibedakan dari karakteristik dan jenis cacat pada bagian internal, berikut ini jenis-jenis cacat las.

a. *Cold laps*

Cold lap adalah suatu kondisi logam pengisi lasan tidak melebur dengan baik dengan spesimen atau bahan lasan sebelumnya (*interpass cold lap*). tungsten

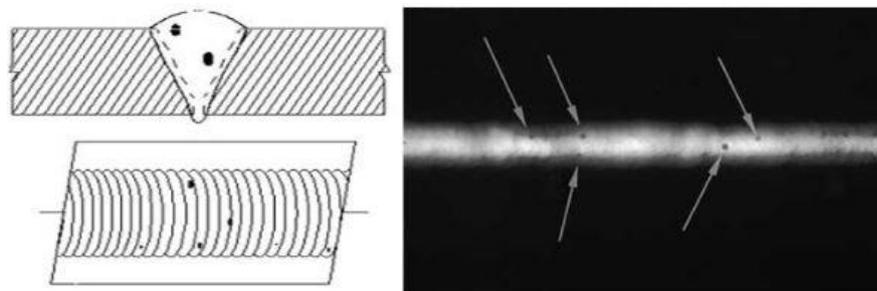
tidak/kurang mampu melelehkan elektroda dengan maksimal dan menyebabkan genangan yang agak cair mengalir ke bahan dasar tanpa ikatan.



Gambar 2.10 Cacat las *cold laps* (*Nondestructive Testing RT, 2001*)

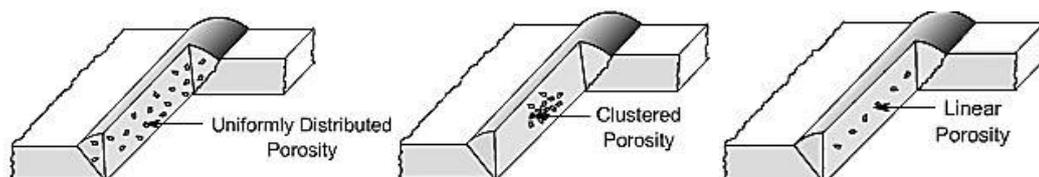
b. Porositas

Porositas adalah hasil dari jebakan gas dalam *weld metal* yang mengeras dan menyebabkan kekosongan dalam material dan akan memiliki kepadatan radiografi yang lebih tinggi dari pada daerah sekitarnya. Porositas memiliki beberapa bentuk pada hasil radiografi tetapi sering muncul sebagai bintik-bintik bulat atau tidak teratur atau bintik hitam muncul secara tunggal, dalam kelompok, atau dalam baris.



Gambar 2.11 Cacat las porositas (*NDT Education Resource Center, 2001*)

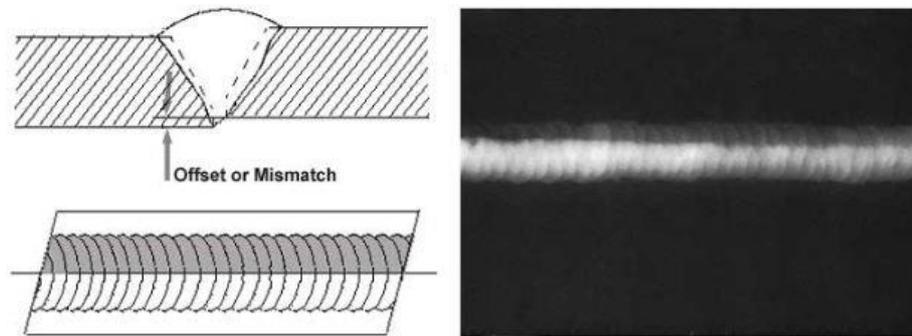
Porositas dibagi menjadi beberapa jenis tergantung sebaran cacat, bentuk cacat dan posisi cacat porositas itu berada. Jenis porositas dapat dilihat pada gambar 2.12.



Gambar 2.12 Jenis Porositas (*NDT Education Resource Center, 2001*)

c. *Offset or mismatch*

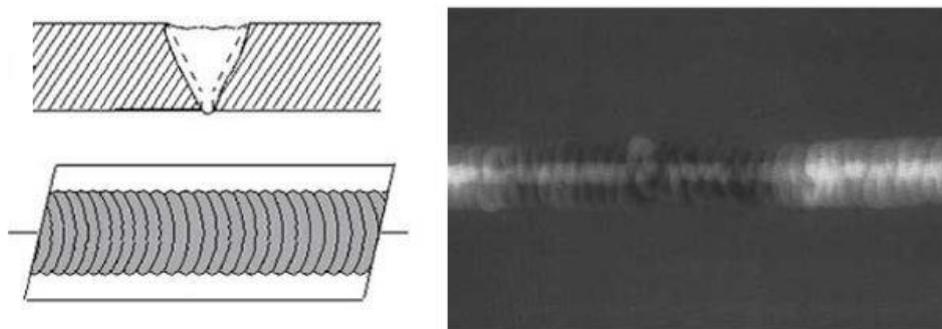
Offset atau ketidakcocokan adalah istilah dimana kondisi dua bagian spesimen las yang tidak selaras dengan benar. Gambar 2.13 menunjukkan hasil radiografi tes perbedaan kepadatan yang berbeda antara kedua bagian. Perbedaan kerapatan disebabkan oleh perbedaan ketebalan spesimen. Garis yang gelap dan lurus disebabkan oleh kegagalan logam las untuk menyatu dengan area las.



Gambar 2.13 Cacat *Offset or mismatch* (NDT Education Resource Center, 2001)

d. *Inadequate weld reinforcement*

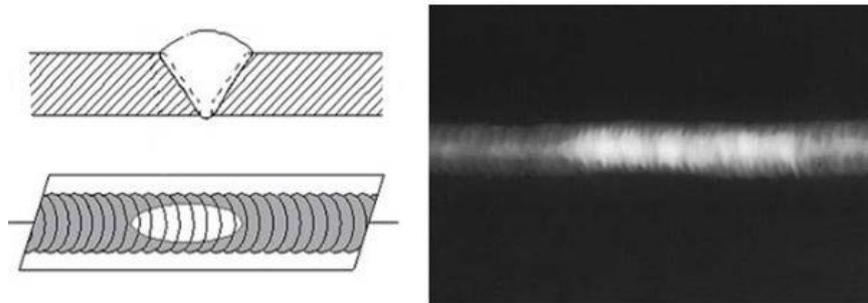
Inadequate weld reinforcement adalah penguatan lasan yang tidak memadai pada area lasan dimana ketebalan logam las yang diendapkan lebih kecil dari ketebalan spesimen. kerapatan gambar di daerah yang memiliki las yang tidak memadai akan lebih gelap dari pada kerapatan gambar dari bahan dasar di sekitarnya.



Gambar 2.14 *Inadequate weld reinforcement* (NDT Education Resource Center, 2001)

e. *Excess weld reinforcement*

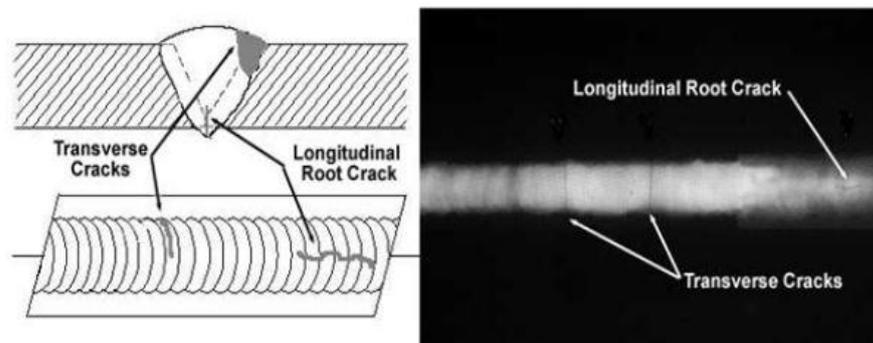
Excess weld reinforcement adalah kondisi dimana tulangan las area lasan yang memiliki logam las yang ditambahkan melebihi dari yang ditentukan. Hasil dari radiografi tes memperlihatkan area yang lebih ringan dan terlokalisasi pada lasan. Inspeksi visual akan dengan mudah menentukan apakah tulangan lasan lebih dari yang ditentukan atau tidak.



Gambar 2.15 Cacat *Excess weld reinforcement* (NDT Education Resource Center, 2001)

f. *Cracks*

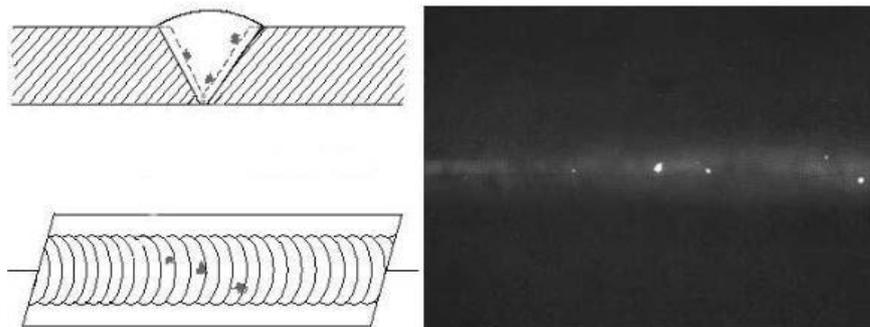
Cracks atau retak dapat dideteksi dalam radiografi tes dengan jelas karena biasanya cacat retak ukurannya lebih panjang sehingga dapat dengan mudah diidentifikasi. Retak terlihat seperti garis bergerigi dan seringkali sangat tidak jelas (tergantung ukuran retakan). Retak kadang-kadang dapat muncul sebagai ekor pada porositas.



Gambar 2.16 Cacat *cracks* (NDT Education Resource Center, 2001)

g. *Tungsten inclusion*

Tungsten inclusion atau Inklusi tungsten adalah masuknya serpihan tungsten yang terjebak dalam lasan. Secara radiografis, tungsten lebih padat dari pada aluminium atau baja, oleh karena itu pada hasil radiografi tes, tungsten terlihat sebagai area yang putih/cerah.



Gambar 2.17 cacat *tungsten inclusion* (NDT Education Resource Center, 2001)

1.6.2 Uji Makro (*Macroscopic Examination*)

Uji makro merupakan salah satu jenis dari uji optik pada suatu material metal atau non-metal. Uji makro adalah sebuah inspeksi atau pengecekan pada suatu material secara langsung atau dengan bantuan alat pembesar optik (biasanya menggunakan jenis *low magnification* atau jenis pembesaran rendah).

Fungsi uji mikro adalah untuk mengetahui permukaan logam yang sifatnya relatif rapuh, bentuk patahan atau spesimen yang telah diberi perlakuan *destructive test* yang akan menghasilkan bentuk seperti patahan, celah, cekungan, takiran dan lain-lain. Pembesaran yang digunakan tergantung kebutuhan, mulai dari perbesaran 0,5-50 kali.

1.7 Destructive Test

Destructive test adalah perlakuan pengujian pada spesimen yang bersifat merusak atau merubah bentuk spesimen. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai sifat mekanis dasar pada suatu spesimen, untuk memprediksi performa material dan untuk memperoleh data sifat mekanis dari spesimen seperti kekuatan (*strength*), elastisitas (*elasticity*), plastisitas (*plasticity*) & ketangguhan (*toughness*) dan kekakuan (*toughness*). Ada beberapa jenis *destructive test* seperti:

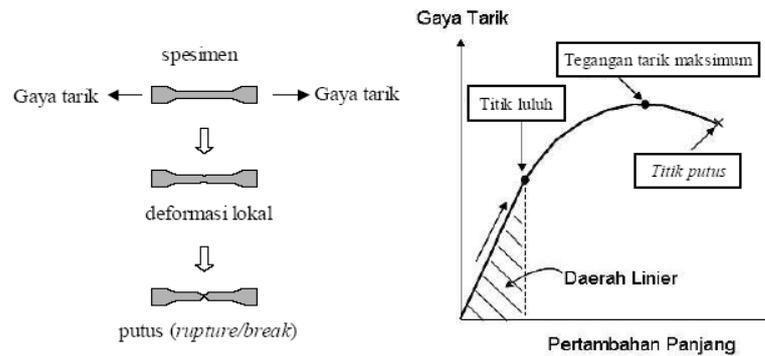
- Tarik (*tension*)
- Tekan (*compression*)
- Geser (*shear*)
- *Bending*
- Puntir (*torsion*)

Pada penelitian ini dilakukan uji tarik dan uji *bending*, uji tarik dilakukan pada spesimen untuk dapat mengetahui kekuatan tarik dan nilai regangan yang dihasilkan dari spesimen. Sedangkan uji *bending* dilakukan untuk memperoleh tegangan *bending* pada spesimen.

1.7.1 Uji Tarik

Uji tarik adalah salah satu metode *destructive test* yang bertujuan untuk mengetahui nilai kekuatan dari material dengan cara memberikan beban gaya yang sesumbu pada spesimen. Metode ini dilakukan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara konstan. Hasil pengujian tarik dapat mengetahui nilai kekuatan tarik, regangan, kekuatan luluh dan karakter patahan. Patahan yang dihasilkan dari uji tarik ada dua, yaitu patah getas atau patah ulet. Variabel yang terdapat dalam pengujian tarik ini yaitu, kekuatan tarik, regangan dan beban.

Pada proses uji tarik, spesimen akan diberi beban yang konstan dan jika spesimen tidak mampu menahan beban tersebut, maka akan terjadi putusan antara spesimen. Pada saat spesimen putus kita akan memperoleh profil tarikan yang berupa kurva yang ditunjukkan pada gambar 2.17.



Gambar 2.18 kurva uji tarik (Sunaryo, 2008)

Pada gambar 2.17 menunjukkan hubungan antara perubahan panjang pada spesimen dan gaya tarik yang terjadi. Kurva yang dihasilkan akan menunjukan nilai *ultimate tensile strength* atau kemampuan spesimen dalam menerima beban maksimal. Perubahan panjang yang dihasilkan akan berbanding lurus dengan beban yang diberikan pada spesimen.

Tegangan adalah gaya yang diterima spesimen dengan persatuan luas penampang, untuk mengetahui tegangan pada spesimen menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

Dimana:

σ = Tegangan (kg/mm²)

P = Beban (kg)

A₀ = Luas penampang mula-mula (mm²)

Pada pelaksanaan uji tarik spesimen akan mengalami regangan atau pertambahan panjang yang diakibatkan oleh beban tarik yang terjadi pada proses pengujian. Regangan dapat diketahui dengan membandingkan pertambahan panjang dengan panjang awal spesimen. Nilai regangan suatu spesimen dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \dots \dots \dots (2.2)$$

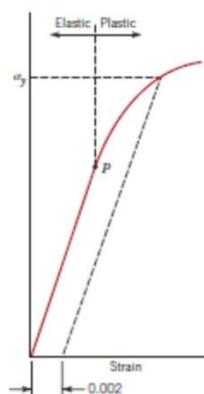
Dimana :

ε = Regangan (%)

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

L_0 = Panjang mula-mula (mm)

Hasil uji tarik akan menghasilkan grafik tegangan dan regangan, nilai titik elastisitas atau titik luluh (*yield strength*) dapat diketahui dengan melihat grafik yang menunjukkan adanya perubahan dari garis lurus menjadi melengkung pada grafik yang dihasilkan. Penentuan titik elastisitas dapat dilihat pada gambar 2.18.



Gambar 2.19 Menentukan nilai *yield strength* (Callister, 2013)

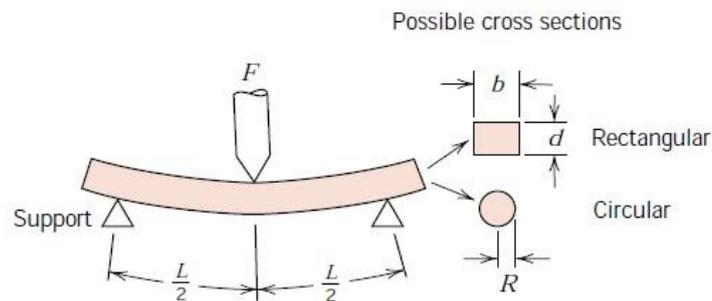
1.7.2 Uji *Bending*

Uji *bending* merupakan salah satu bentuk pengujian yang dapat mengetahui kualitas hasil las. Pengujian bertujuan untuk mengetahui sifat dan nilai seperti kekerasan, ketangguhan, elastisitas dan lain-lain. Kekuatan spesimen las dalam menerima beban *bending* dan untuk mengetahui nilai kekakuan suatu material terhadap beban deformasi elastis. Nilai kekakuan spesimen las pada daerah elastis disebut modulus elastisitas (E).

Modulus elastisitas merupakan perbandingan antara nilai tegangan dan regangan yang berlangsung pada daerah elastis. Prinsip pada pengujian *bending* adalah pembebanan pada spesimen yang berlangsung secara lambat dan konstan pada bagian las yang ujungnya ditumpu. Pengujian akan berhenti saat spesimen uji tekan

mengalami retak atau nilai beban yang ditampilkan tidak lagi bertambah atau mengalami penurunan.

Pengujian *bending* dilakukan menggunakan metode *three point bending* yaitu pengujian *bending* dengan dua buah tumpuan pada bagian ujung spesimen dan satu buah indenter pada bagian las (bagian tengah) seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.19.



Gambar 2.20 Skema uji *three point bending* (Callister, 2013).

Pengujian *bending* dibagi menjadi dua jenis, berdasarkan arah pembebanan pada spesimen, *Face Bend* (*bendingan* pada permukaan las) dan *Root Bend* (*bendingan* pada bagian bawah las). Pada pengujian *bending* ini menggunakan metode *face bend*, dimana permukaan las akan mengalami tegangan tekan dan bagian bawah las akan mengalami tegangan tarik. Persamaan kekuatan *bending* menggunakan persamaan dengan standar ASTM E190 berikut ini:

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

dimana :

σ_b = Tegangan *bending* (MPa)

P = Beban (N)

L = Panjang tumpuan (mm)

b = Lebar (mm)

d = Tebal (mm)

