



**ANALISIS VARIASI PENGARUH BESAR ALIRAN GAS PELINDUNG
HASIL PENGELASAN MIG TERHADAP CACAT POROSITAS DAN
STRUKTUR MIKRO PADA ALUMINIUM 1100**

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1) dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh :

**Ahmad Aufa Kamal
NIM. 071910101074**

**PROGRAM STRATA 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2014**



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Aluminium merupakan logam ringan yang memiliki kekuatan yang melebihi mild steel (baja lunak). Aluminium memiliki ductility yang bagus pada kondisi dingin dan memiliki daya tahan korosi yang tinggi. Logam ini dipakai secara luas dalam bidang transportasi, kimia, listrik, bangunan dan alat-alat penyimpanan. Aluminium dan paduannya memiliki sifat mampu las yang kurang baik. Hal ini disebabkan oleh sifat aluminium itu sendiri seperti konduktivitas panas yang tinggi, koefisien muai yang besar, reaktif dengan udara membentuk lapisan aluminium oksida serta berat jenis dan titik cairnya yang rendah (Wirjosumarto, 2000).

Salah satu metode pengelasan yang digunakan pada pengelasan aluminium adalah pengelasan GMAW (*Gas metal Arc Welding*) atau MIG (*Metal Inert Gas*). Gas pelindung yang digunakan pada pengelasan GMAW atau MIG adalah argon, helium atau campuran diantara keduanya. Fungsi dasar dari gas pelindung adalah melindungi busur dan logam las cair dari kontaminasi oksigen dan nitrogen yang ada pada atmosfer. Jika gas pelindung tidak tepat melindungi logam las cair maka akan dihasilkan cacat las seperti porositas, slag inclusion. Maka akan menyebabkan perubahan struktur mikro, sehingga terjadi perubahan sifat mekanis hasil lasan (Zainol, 2008).

Umumnya pengelasan aluminium paduan sangat rentan terhadap terbentuknya porositas yang berlangsung selama proses pembekuan logam lasan. Keberadaan porositas akan secara langsung menurunkan sifat kekuatan mekanis hasil lasan. Oleh karena itu, kontrol terhadap terbentuknya porositas dan pengaruh keberadaan porositas terhadap sifat hasil lasan pada material aluminium dan paduannya merupakan suatu hal yang sangat penting untuk diteliti.

Menurut AWS D1.2, porositas didefinisikan sebagai cacat jenis lubang yang terbentuk oleh adanya gas yang terperangkap selama proses pengelasan. Banyak faktor yang diketahui berkontribusi terhadap cacat porositas lasan aluminium. Salah

satu faktor utama penyebab porositas adalah gas pelindung yang terkontaminasi oleh atmosfer udara. Penyebab lainnya adalah preparasi yang kurang baik dan faktor kebersihan dari logam induk dan logam pengisi sebelum dilakukan pengelasan. Semua studi diatas tentang faktor penyebab porositas lasan aluminium sangat bervariasi dan sulit untuk didefinisikan. Meskipun demikian faktor yang paling diterima sebagai penyebab utama porositas adalah larutnya gas hidrogen kedalam kampuh las selama pengelasan berlangsung.

1.2 Rumusan Masalah

Beberapa hal yang dapat dirumuskan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh besar aliran gas hasil pengelasan MIG terhadap sifat mekanik aluminium 1100 ?
2. Bagaimana pengaruh cacat pada hasil pengelasan MIG terhadap struktur mikro aluminium 1100 yang dilas dengan tiga laju aliran gas yang berbeda ?
3. Bagaimana pengaruh laju aliran gas terhadap cacat porositas pada hasil pengelasan MIG terhadap aluminium 1100 ?

1.3 Batasan Masalah

Agar dalam penyusunan Skripsi ini lebih mengarah ke tujuan penelitian dengan membatasi pokok permasalahan, batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Plat yang digunakan adalah material aluminium 1100 dengan ketebalan 6mm.
2. Laju aliran gas pengelasan yang digunakan 13 liter/menit, 15 liter/menit dan 17 liter/menit.
3. Analisa cacat las menggunakan liquid penetrant test, radiografi test.
4. Pengelasan dilakukan pada suhu dan kelembaban ruang pengelasan.
5. Pengelasan menggunakan arus DCEP, 110-130 Ampere, Voltase 18,7-19,5.
6. Tidak membahas tegangan sisa.

7. Elektroda ER 5356 diameter 1,2 mm
8. Gas pelindung busur (*High Purity*): Argon 99%.
9. Dilakukan uji tarik untuk mengetahui sifat mekanik hasil pengelasan.

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini nantinya diharapkan dapat mengetahui beberapa hal sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh besar aliran gas hasil pengelasan MIG terhadap cacat porositas yang timbul.
2. Mengetahui perbedaan struktur mikro aluminium 1100 yang dilas dengan tiga aliran gas yang berbeda.
3. Mengetahui pengaruh cacat porositas pada hasil pengelasan terhadap struktur mikro dan sifat mekanik aluminium 1100.

Manfaat setelah melakukan penelitian tersebut nantinya juga diharapkan didapatkan beberapa hal sebagai berikut :

Secara teoritis dapat dipakai untuk mengetahui seberapa besar pengaruh laju aliran gas terhadap cacat porositas yang terjadi pada pengelasan aluminium 1100, sehingga dapat dipakai sebagai bahan referensi dalam pengelasan aluminium agar terhindar dari penurunan sifat material yang disebabkan adanya cacat pengelasan akibat laju aliran gas yang digunakan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Aluminium dan Paduannya

Material aluminium merupakan logam kedua setelah baja yang digunakan untuk pembuatan lambung kapal, mempunyai sifat yang ringan, ketahanan korosi yang baik serta hantaran listrik dan panas yang baik, mudah dibentuk baik melalui proses pembentukan maupun permesinan, oleh sebab itu logam non ferrous yang dijelaskan pada kesempatan ini adalah logam aluminium.

2.1.1 Pengertian Dasar Aluminium

Aluminium didapat dari tanah liat jenis bauksit yang dipisahkan lebih dahulu dari unsur – unsur yang lain dengan menggunakan larutan tawas murni sampai menghasilkan oksid aluminium (Al_2O_3). Melalui proses elektrolitik oksid aluminium (Al_2O_3) dipisahkan dari unsur – unsur zat asam untuk dijadikan cairan aluminium murni sampai mempunyai kandungan aluminium sebesar 99,9%. Adanya penambahan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni dan sebagainya akan meningkatkan kekuatan mekanik aluminium (Tata Sudirya, 1999).

2.1.2 Sifat – sifat Aluminium (Al)

Aluminium berwarna putih kebiru – biruan, lebih keras dari timah putih, tetapi lebih lunak dari pada seng. Aluminium mempunyai kekuatan tarik sebesar 10 kg/mm, dan untuk memperbaiki sifat mekanis dari bahan logam aluminium, bahan aluminium ditambah unsur paduan.

Logam aluminium mempunyai karakteristik tersendiri dibandingkan dengan logam lain diantaranya adalah :

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

7. Alumunium semakin tangguh pada suhu rendah
8. Tidak beracun
9. Kecepatan rambat panas tinggi

Dalam hal pengelasan paduan aluminium mempunyai sifat yang kurang baik diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Karena panas jenis dan daya hantarnya panasnya tinggi maka sulit untuk memanaskan dan mencairkan sebagian kecil.
2. Aluminium mempunyai titik cair dan viskositas yang rendah, maka daerah yang terkena pemanasan mudah mencair dan menetes.
3. Paduan aluminium mudah sekali teroksidasi dan membentuk oksida aluminium yang mempunyai titik cair tinggi. Karena sifat ini maka peleburan antara logam dasar dengan logam las menjadi terhalang.
4. Karena perbedaan yang tinggi antara kelarutan hidrogen dalam logam cair dan logam padat, maka dalam proses pembekuan yang terlalu cepat akan terbentuk rongga halus bekas kantong-kantong hidrogen.
5. Paduan aluminium mempunyai berat jenis yang rendah karena itu banyak zat zat lain yang terbentuk selama pengelasan akan tenggelam. Keadaan ini memudahkan terkandungnya zat-zat yang tidak dikehendaki kedalamnya.

(Pengelasan Pada Beberapa Jenis Logam)

Dari sifat-sifat yang kurang baik dari aluminium pada proses penyambungannya dapat diatasi dengan alat dan teknik las yang lebih maju yaitu dengan menggunakan gas mulia sebagai pelindung selama proses pengelasan, yaitu dengan proses pengelasan MIG.

2.1.3 Unsur – Unsur Paduan Logam Aluminium

- a. Besi (Fe) : Penambahan unsur besi pada aluminium dapat mengurangi terjadinya keretakan panas.
- b. Manganase (Mn) : Aluminium yang ditambahi unsur mangan dapat memperbaiki ductility pada logam aluminium.

- c. Silicon : Penambahan unsur silicon akan mempengaruhi aluminium tahan terhadap korosi tetapi sulit dimachining.
- d. Copper : Unsur copper dapat mempengaruhi logam aluminium mudah dimachining.
- e. Magnesium : Penambahan unsur magnesium pada logam aluminium akan memperbaiki sifat kekuatan, tetapi sulit pada pekerjaan proses penuangan.
- f. Zincum : Penambahan unsur seng akan memperbaiki sifat logam aluminium tahan terhadap korosi dan mengurangi terjadinya keretakan panas dan pengerutan.

2.1.4 Standarisasi Aluminium

Standarisasi aluminium digunakan untuk menggolongkan logam aluminium paduan berdasarkan komposisi kimia, penetapan standarisasi logam aluminium menurut *American Society for Materials* (ASTM) mempergunakan angka dalam menetapkan penggolongan aluminium paduan.

Adapun cara – cara yang ditentukan ASTM dalam menetapkan penggolongan aluminium. Sifat umum dari beberapa jenis paduan sebagai berikut :

1. Aluminium murni (kandungan aluminium sebesar 99%) 1xxx
 - a. Memiliki kemurnian antara 99.0% dan 99.9%
 - b. Tahan karat
 - c. Konduksi panas dan konduksi listrik
 - d. Memiliki kekuatan yang rendah.
2. Cupper (Al-Cu) 2xxx
 - a. Tahan korosinya rendah
 - b. Sifat mampu lasnya kurang baik, sehingga banyak digunakan pada konstruksi keling, pesawat terbang.
3. Manganase (Al-Mn) 3xxx
 - a. Tidak dapat dilakukan perlakuan panas sehingga penambahan kekuatan hanya dapat diusahakan melalui pengerjaan dingin dalam proses pembuatannya

- b. Tahan korosi
 - c. Sifat potong dan sifat mampu lasnya
 - d. Memiliki kekuatan yang tinggi.
4. Silicon (Al-Si) 4xxx
 - a. Tidak dapat dilakukan perlakuan panas
 - b. Jika dalam keadaan cair mempunyai sifat mampu alir yang baik dan dalam proses pembekuannya tidak terjadi retak.
 5. Magnesium (Al-Mg) 5xxx
 - a. Tidak dapat dilakukan perlakuan panas
 - b. Tahan korosi terutama korosi oleh air laut
 - c. Memiliki sifat mampu las yang baik
 6. Magnesium dan silicon (Al-Mg-Si) 6xxx
 - a. Dapat dilakukan perlakuan panas
 - b. Memiliki sifat mampu potong
 - c. Memiliki sifat mampu las
 - d. Daya tahan korosi yang cukup
 7. Zincum (Al-Zn) 7xxx
 - a. Dapat dilakukan perlakuan panas
 - b. Unsur yang ditambahkan pada paduan ini adalah Mg, Cu dan Cr.
 - c. Tahan korosi
 8. Elemen – elemen yang lain 8xxx (*Sumber pengelasan pada beberapa jenis logam*).

Pada penelitian ini logam aluminium yang digunakan adalah seri aluminium alloy 1100. Aluminium ini dikenal sebagai aluminium yang memiliki ketahanan korosi yang sangat bagus, konduktivitas listrik serta sifat mampu bentuk yang baik. Aluminium alloy 1100 ini biasanya digunakan untuk pembuatan pelat nama, *heat exchanger*, kemasan bahan kimia, dan berbagai jenis makanan, peralatan penyimpan serta perakitan komponen pengelasan lainnya (Wright Metal, 2005).

Adapun komposisi kimia aluminium 1100 sesuai dengan *ASM Metal handbook vol. 6* ditunjukkan pada tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1 Komposisi Aluminium 1100 berdasarkan *ASM Metal handbook vol. 6*.

KOMPOSISI KIMIA ALUMUNIUM 1100					
MATERIAL	AL %	Cu %	(Si+Fe) %	Mg %	Zn %
ALUMINIUM 1100	99	0,05- 0,20	0,95	0,05	0,10

2.2 Pengertian Pengelasan

Pengelasan adalah suatu proses penyambungan logam menjadi satu akibat panas dengan atau tanpa pengaruh tekanan atau dapat juga didefinisikan sebagai ikatan metalurgi yang ditimbulkan oleh gaya tarik menarik antara atom.

Pengelasan busur gas adalah cara pengelasan dimana gas dihembuskan ke daerah las untuk melindungi busur dan logam yang mencair terhadap atmosfer. Gas yang digunakan sebagai pelindung adalah gas helium (He), gas Argon (Ar), gas karbondioksida (CO₂) atau campuran dari gas-gas tersebut.

Las busur gas dibagi dalam dua kelompok besar yaitu kelompok elektroda tak terumpan dan kelompok elektroda terumpan. Kelompok elektroda tak terumpan menggunakan batang wolfram sebagai elektroda yang dapat menghasilkan busur listrik tanpa turut mencair, sedangkan kelompok elektroda terumpan sebagai elektrodanya digunakan kawat las.

Dalam elektroda tak terumpan dibagi lagi dalam dua jenis yaitu menggunakan dengan logam pengisi dan tanpa menggunakan logam pengisi. Dalam penelitian ini pengelasannya menggunakan elektroda terumpan sebagai elektrodanya digunakan kawat las.

2.3 Metal Inert Gas (MIG)

Gas metal Arc Welding (GMAW) atau sering juga disebut *metal Inert Gas* (MIG) merupakan salah satu dari bentuk las busur listrik (*Arc Welding*) yang menggunakan *inert gas* sebagai pelindung.

Las busur dengan pelindung gas adalah pengelasan dengan cara gas dihembuskan ke daerah las untuk melindungi busur dan logam yang mencair terhadap pengaruh atmosfer. Gas yang digunakan sebagai pelindung antara lain :

1. Gas argon (Ar)
2. Gas helium (He)
3. Gas campuran helium dengan argon (75 % He, 25 % Ar)
4. Gas campuran argon/ helium/ hydrogen.

Las busur dengan pelindung gas biasanya dibagi dalam 2 kelompok besar yaitu kelompok elektroda tak terumpan dan elektroda terumpan. Kelompok elektroda tak terumpan menggunakan wolframe sebagai elektroda yang dapat menghasilkan busur listrik sedangkan untuk elektroda terumpan menggunakan kawat las.

Kelompok elektroda tak terumpan masih dibagi lagi menjadi dua jenis yaitu: jenis logam pengisi dan jenis tanpa logam pengisi. Kelompok ini biasanya menggunakan gas mulia sebagai pelindung sehingga secara keseluruhannya nama kelompok ini menjadi Las Wolframe Gas Mulia atau *Tungsten Inert Gas Welding* (TIG).

Kelompok elektroda terumpan juga dibagi lagi dalam 2 jenis berdasarkan kawat elektrodanya, yaitu kawat elektroda pejal dan jenis kawat elektroda dengan inti *flux*. Dalam kelompok ini digunakan 2 macam gas pelindung yaitu gas mulia dan gas karbon dioksida. Kelompok dengan pelindung gas mulia namanya menjadi Las Busur Gas Mulia yang biasa juga disebut dengan *Metal Inert Gas Arc Welding* (MIG).

Pada penelitian ini pengelasan yang dipergunakan untuk praktek adalah jenis las cair dengan menggunakan energi listrik yang dinamakan Las Busur Listrik. Karena parameter dalam penggunaannya jelas serta penggunaan proses las ini lebih efisien dari proses pengelasan yang lain.

2.4 Klasifikasi Pengelasan

Pada saat ini belum ada kesepakatan mengenai cara-cara pengklasifikasian dalam bidang las. Hal ini disebabkan belum adanya kesepakatan dalam hal tersebut. Secara konvensional pengklasifikasian tersebut dapat dibedakan menjadi dua golongan, yaitu klasifikasi berdasar cara kerja dan klasifikasi berdasar energi yang digunakan (Wiryosumarto, 2000). Diantara kedua klasifikasi tersebut, klasifikasi berdasar cara kerja yang paling banyak digunakan.

Berdasarkan pengklasifikasian cara kerja, proses pengelasan dibagi menjadi tiga kelas utama yaitu : (Wiryosumarto, 2000).

1. Pengelasan Cair

Cara pengelasan di mana sambungan dipanaskan sampai mencair dengan sumber panas dari busur listrik atau semburan api gas yang terbakar.

2. Pengelasan Tekan

Cara pengelasan di mana sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu.

3. Pematrian.

Cara pengelasan di mana sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam lain yang memiliki titik cair yang rendah. Dalam proses ini logam induk tidak ikut mencair.

2.5 Metalurgi Pengelasan

Dalam lasan terdiri dari tiga bagian yaitu logam las, daerah pengaruh panas (*Heat Affected Zone*) dan logam induk yang tak terpengaruhi. Logam las adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. Daerah pengaruh panas atau HAZ adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat. Logam induk tidak terpengaruhi adalah bagian logam dasar dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat. (Wiryosumarto, 2000).

Dalam pengelasan cair bermacam-macam cacat terbentuk dalam logam las, misalnya pemisahan atau segregasi, lubang halus dan retak. Banyaknya cacat yang terjadi tergantung pada kecepatan pembekuan. Semua kejadian selama proses pendinginan dalam pengelasan hampir sama dengan pendinginan dalam pengecoran. Perbedaan yang terjadi adalah kecepatan pendinginan dalam las lebih tinggi, Sumber panas dalam las bergerak terus, pencairan dan pembekuan terjadi secara terus menerus, Pembekuan logam las mulai dari dinding logam induk dan logam las harus menjadi satu dengan logam induk.

Pada proses pembekuan logam las terjadi tiga proses reaksi metalurgi, proses tersebut adalah : (*Wiryosumarto, 2000*).

1. Pemisahan

Di dalam logam las terdapat tiga jenis pemisahan, yaitu pemisahan makro, pemisahan gelombang dan pemisahan mikro. Pemisahan makro adalah perubahan komponen secara perlahan-lahan yang terjadi mulai dari sekitar garis lebur menuju ke garis sumbu las, Sedangkan pemisahan gelombang adalah perubahan komponen karena pembekuan terputus yang terjadi pada proses terbentuknya gelombang manik las. Pemisahan mikro adalah perubahan komponen yang terjadi dalam satu pilar atau dalam bagian dari satu pilar.

2. Lubang-lubang Halus

Lubang-lubang halus terjadi karena adanya gas yang tidak larut dalam logam padat. Lubang-lubang tersebut disebabkan karena tiga macam cara pembedakan gas sebagai berikut: Pertama adalah pelepasan gas karena perbedaan batas kelarutan antara logam cair dan logam padat pada suhu pembekuan, kedua adalah terbentuknya gas karena adanya reaksi kimia didalam logam las dan yang ketiga penyusupan gas ke dalam atmosfer busur. Gas yang terbentuk karena perbedaan batas kelarutan dalam material adalah gas hidrogen dan gas nitrogen, sedangkan yang terjadi karena reaksi adalah terbentuknya gas CO dalam logam cair dan yang menyusup adalah gas-gas pelindung atau udara yang terkandung dalam akar kampuh las. (*Wiryosumarto, 2000*).

3. Oksidasi

Aluminium adalah logam yang sangat aktif. Kalau berada di lingkungan yang menghasilkan oksigen, Logam ini bereaksi untuk membentuk sebuah selaput tipis oksida yang transparan di seluruh permukaan yang terbuka. Selaput ini mengendalikan laju korosi dan melindungi logam di bawahnya. Oleh karena itu, Komponen-komponen yang terbuat dari aluminium dan paduannya bisa memiliki umur yang panjang. Jika selaput ini rusak, maka selaput tersebut tidak dapat dipulihkan lagi, korosi logam ini akan berlangsung cepat sekali.

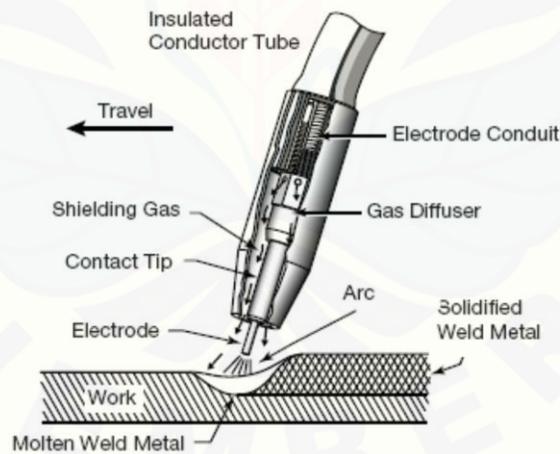
Pembentukan lapisan oksida (Al_2O_3) ditandai dengan perubahan visual dari permukaan aluminium (Al) yang mana warna semula mengkilap (perak) berangsur-angsur berubah lebih buram seiring laju pertumbuhan lapisan oksida yang disebabkan oleh kontak langsung dengan oksigen (O_2). Ketika mill scale dari logam aluminium dibuka dan mengalami kontak langsung dengan udara (atmosfer) pembentukan aluminium oksida berlangsung sangat cepat sampai laju oksidasinya berjalan lambat setelah 10 hari. Laju penebalan ini dapat digambarkan berupa grafik logaritma dimana penebalannya suatu saat akan konstan.

Lapisan aluminium oksida ini sangat berongga (*porous*) dan dapat menyerap embun atau sumber hidrokarbon lainnya dan tumbuh menebal menjadi Hydrated-oksida alumina ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) yang memiliki lapisan kimia bercampur air penyebab *porosity*. Aluminium oksida memiliki titik leleh yang besar yang mencapai 2038°C , yang mana tiga kali titik leleh paduan aluminiumnya. Jika lapisan ini tidak dibersihkan pada saat akan dilakukan pengelasan maka proses pengelasannya sulit dilakukan dan kualitas hasil lasanya menurun. (Anjar leksono, 2005)

2.6 Perangkat Las MIG (*Metal Inert Gas*)

Jenis pengelasan MIG sudah lama dikenal, karena MIG cenderung digunakan pada aplikasi-aplikasi yang mewajibkan kualitas dan ketelitian yang tinggi pada hasil las. Proses pengelasan ini menggunakan elektroda terumpan (*continuous filler metal*), elektroda pada las ini juga sebagai logam pengisi yang diatur secara otomatis pada *torch*.

Arus listrik mengalir pada elektroda akibat adanya penurunan beda potensial atau tegangan antara elektroda dengan logam yang dilas (*base metal*), sehingga menimbulkan tegangan antara elektroda dan logam induk. Panas di transfer ke logam induk oleh busur yang timbul. Elektroda, kawat pengisi kawah las dan lasan yang telah membeku pada kawah las dilindungi dari oksidasi oleh gas pelindung (*shielding gas*), yang umumnya adalah gas argon atau campuran argon helium. Skema proses pengelasan MIG ini dapat dilihat pada Gambar 2.1. (*lincoln electric: 32*)



Gambar 2.1 Skema Proses Pengelasan MIG

2.7 Parameter-parameter yang Berpengaruh Dalam Pengelasan MIG

2.7.1 Pengaruh Arus

Arus sangat mempengaruhi dalam proses pengelasan busur listrik, besar kecil arus yang dipergunakan dalam proses pengelasan tersebut dapat menentukan ukuran dan bentuk hasil penetrasi dan deposit las. Pengaruh dari penggunaan arus dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Dengan adanya peningkatan arus maka akan meningkatkan pengadukan elektromagnetik pada kawah las. Arus yang lebih tinggi cenderung menghasilkan penetrasi yang lebih dalam dan luas daerah lasan sempit.
2. Dengan peningkatan arus akan menyebabkan meningkatnya kecepatan masukan panas maksimum ke daerah lasan di bawah pusat busur dan juga memperluas distribusi masukan panas.
3. Peningkatan arus pada pengelasan juga mengakibatkan masukan panas yang meningkat pada kampuh las. Masukan panas yang meningkat tersebut akan menurunkan kecepatan pendinginan pada logam las yang berpengaruh terhadap struktur dan mekanis yang terbentuk.

Besarnya arus las yang diperlukan tergantung dari bahan dan ukuran dari lasan, geometri sambungan, posisi pengelasan macam elektroda dan diameter inti elektroda. Dalam hal daerah las mempunyai kapasitas panas yang tinggi maka dengan sendirinya diperlukan ampere las yang besar dan mungkin juga diperlukan pemanasan tambahan. Dalam pengelasan logam paduan, untuk menghindari terbakarnya unsur-unsur paduan sebaiknya menggunakan ampere las yang kecil.

2.7.2 Kecepatan Pengelasan

Kecepatan pengelasan tergantung pada jenis elektroda, diameter inti elektroda, bahan yang dilas, geometri sambungan, ketelitian sambungan dari lain-lainnya. Dalam hal hubungannya dengan tegangan dari ampere las, dapat dikatakan bahwa kecepatan las hampir tidak ada hubungannya dengan tegangan las tetapi berbanding lurus dengan amper las. Karena itu pengelasan yang cepat memerlukan ampere las yang tinggi.

Bila tegangan dari ampere dibuat tetap, sedang kecepatan pengelasan dinaikkan maka jumlah deposit per satuan panjang las jadi menurun. Tetapi di samping itu sampai pada suatu kecepatan tertentu, kenaikan kecepatan akan memperbesar penembusan. Bila kecepatan pengelasan dinaikkan terus maka masukan panas per satuan panjang juga akan menjadi kecil, sehingga pendinginan akan berjalan terlalu cepat.

2.7.3 Pengaruh Penggunaan Gas Pelindung

Pada pengelasan GMAW gas yang di pakai adalah gas mulia, karena sifatnya stabil dan tidak mudah bereaksi dengan unsur lainnya. Las GMAW menggunakan Argon, Helium atau campuran dari keduanya untuk pelindungnya. Gas pelindung argon sering digunakan untuk mengelas Aluminium. Beberapa alasan memakai gas argon sebagai gas pelindung adalah :

1. Membuat busur listrik lebih stabil dan halus, mengurangi percikan
2. Argon lebih mudah mengion dari pada helium, karena itu tidak diperlukan tegangan busur yang tinggi.

Gas argon memberikan perlindungan yang lebih baik dari gas helium, tetapi penembusannya dangkal. Untuk memperdalam penembusannya dapat dilakukan dengan peningkatan kecepatan volume alir gas sehingga tekanan yang didapat meningkat. Tingginya penekanan pada manik las dapat memperbaiki penguatan manik, memperkecil terjadinya rongga-rongga halus pada lasan. (*Wiryosumarto;1996*).

Gas pelindung harus mempunyai kemurnian yang sangat tinggi, karena gas ini akan berhubungan langsung dengan logam cair dan sangat berpengaruh terhadap hasil pengelasan yang didapat. Fungsi utama dari gas pelindung adalah melindungi logam cair dari oksigen dan nitrogen yang berada diatmosfir. Jika gas pelindung tidak tepat melindungi logam cair dari oksigen dan nitrogen maka akan dihasilkan lasan yang cacat seperti porosity, slag inclusion (*Zainol, 2008*).

2.7.4 Penggunaan Elektroda

Pada pengelasan MIG elektroda yang digunakan adalah elektroda terumpan (*continuous filler metal*) yang berfungsi sebagai pencipta busur nyala yang juga berfungsi sebagai logam pengisi (*filler metal*). Ada beberapa jenis elektroda yang bisa dipakai di dalam pengelasan sebagaimana yang tersaji dalam Tabel 2.2 dan tabel 2.3 di bawah ini.

Tabel 2.2 Klasifikasi elektroda berdasar jenis logam induk (Gene Mather, *The Welding of Aluminium and Its Alloy* : 48)

Base metal	Highest strength	Best ductility	Salt water corrosion resistance	Least cracking tendency	Best for anodizing
1100	4043	1050	1050	4043	1100
2219	2319	2319	2319	2319	2319
3103	4043	1050	1050	4043	1050
5052	5356	5356	5554	5356	5356
5083	5183	5356	5183	5356	5356
5086	5356	5356	5183	5356	5356
5454	5356	5554	5554	5356	5554
5456	5556	5356	5556	5356	5556
6061	5356	5356	4043	4043	5654
6063	5356	5356	4043	4043	6356
6082	4043	4043	4043	4043	4043
7005	5556	5356	5356	5356	5356
7039	5556	5356	5356	5356	5356

Tabel 2.3 Skema bahan, Elektroda dan Gas Lindung (*Welding Inspection*)

BAHAN	TEBAL	ARUS	ELEKTRODA	GAS LINDUNG
Aluminium	Semua	AC	TUNGSTEN/ ZIRCON	ARGON/ ARGON-
	> 1/8"	DCSP	THORIATED	HELIUM
	> 1/8"	DCRP	THORIATED/ ZIRCON	ARGON

2.7.5 Polaritas Listrik

Sumber listrik yang digunakan berupa listrik AC (*Alternating Current*) atau listrik DC (*Direct Current*). Dalam hal listrik DC rangkaian listriknya dapat dengan polaritas lurus dimana kutub positif dihubungkan dengan logam induk dan kutub negatif dihubungkan dengan batang elektroda. Untuk rangkaian listrik dengan

polaritas balik adalah sebaliknya. Rangkaian polaritas lurus elektron bergerak dari kutub negatif yaitu elektroda menuju logam induk dan terjadi tumbukan di logam induk dengan kecepatan yang cukup tinggi. Pada elektrodanya sendiri tidak terjadi tumbukan elektron sehingga secara relatif temperatur elektroda tidak terlalu tinggi. Rangkaian listrik polaritas lurus cocok untuk arus listrik yang besar. Pengaruh dari rangkaian ini adalah penetrasi yang dalam dan sempit. Sebaliknya pada rangkaian polaritas balik elektron bergerak dari logam induk menumbuk elektroda, sehingga elektroda menjadi panas. Penetrasi yang terjadi dangkal dan lebar. (*I N Budiarsa, 2008*)

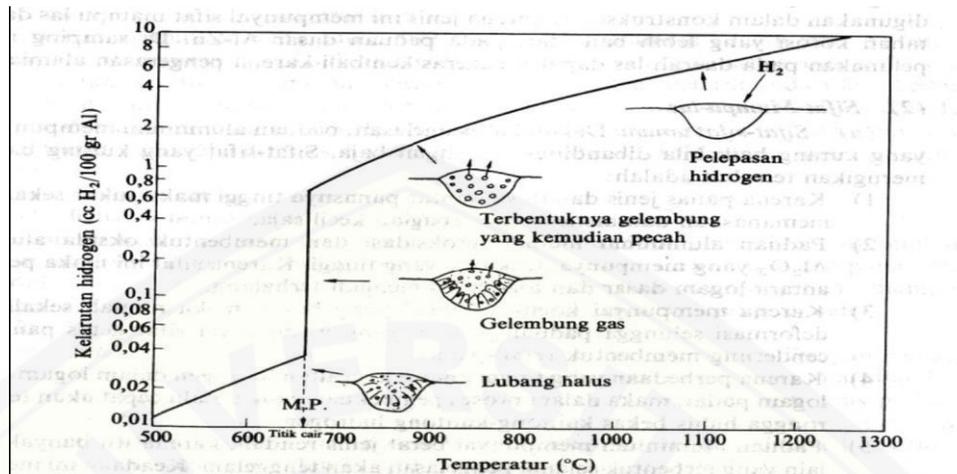
2.8 Pengertian dan Penyebab Terjadinya Cacat Porositas

2.8.1 Pengertian Porositas

Pengertian porositas adalah lubang halus atau ruang kosong yang berada dalam material yang terjadi karena terperangkapnya gas pada logam cair waktu pengelasan sehingga ini yang menyebabkan terjadinya cacat porositas.

2.8.2 Penyebab Terjadinya Porositas

Pada umumnya lubang halus (*porositas*) yang terjadi pada proses pengelasan aluminium disebabkan oleh gas hidrogen yang larut ke dalam aluminium cair. Karena batas kelarutan turun pada waktu pendinginan maka gas hidrogen keluar dari larutan dan karena proses pembekuan yang cepat menyebabkan gas ini terperangkap dan membentuk gelembung halus, Gambar 2.2. Usaha yang paling baik untuk menghindarinya adalah menghilangkan sumber hidrogen baik yang terbentuk zat organik seperti minyak maupun yang berbentuk uap air.



Gambar 2.2 Proses terjadinya lubang halus (Wiryosumarto, 2000)

Adapun penyebab lain terjadinya porositas adalah:

- Kecepatan pengelasan terlalu tinggi sehingga gas pelindung tidak maksimal untuk melindungi hasil pengelasan dan akibatnya udara luar dapat mengkontaminasi hasil lasan.
- Aliran gas pelindung terlalu rendah sehingga gas pelindung tidak maksimal untuk melindungi area pengelasan.
- Gas pelindung harus sesuai dengan logam yang akan dilas.

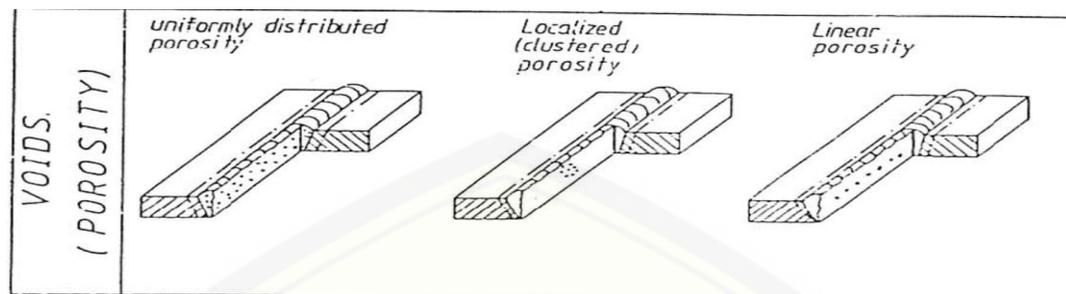
(McGraw-hill, Inc. Chapter22)

Cacat-cacat tersebut kebanyakan berbentuk bola, lubang cacing atau jurang kecil yang tersebar akan sangat berpengaruh dan merugikan pada hasil lasan.

Jenis porositas dapat dibedakan menurut pori-pori yang terjadi yaitu:

- Porositas terdistribusi merata
- Porositas terlokalisasi
- Porositas linier (Asyari Daryus – Proses Produksi)

Seperti terdapat pada Gambar 2.3. Bagaimanapun, jika cacat-cacat tersebut berukuran besar atau ada dalam jumlah besar, pengurangan muatan akan timbul, menyebabkan berkurangnya kekuatan pada sambungan las.



Gambar 2.3 Cacat porositas (*Asyari Daryus – Proses Produksi*)

2.9 PEMERIKSAAN DAN PENGUJIAN HASIL LAS

2.9.1 Pengujian dan Pemeriksaan Daerah Las

Hasil pengelasan pada umumnya sangat bergantung pada keterampilan juru las. Kerusakan hasil las baik di permukaan maupun di bagian dalam sulit dideteksi dengan metode pengujian sederhana. Selain itu karena struktur yang dilas merupakan bagian integral dari seluruh badan material las maka retakan yang timbul akan menyebar luas dengan cepat bahkan mungkin bisa menyebabkan kecelakaan yang serius. Untuk mencegah kecelakaan tersebut pengujian dan pemeriksaan daerah-daerah las sangatlah penting.

Tujuan dilakukannya pengujian adalah untuk menentukan kualitas produk-produk atau spesimen-spesimen tertentu, sedangkan tujuan pemeriksaan adalah untuk menentukan apakah hasil pengujian itu relatif dapat diterima menurut standar-standar kualitas tertentu atau tidak dengan kata lain tujuan pengujian dan pemeriksaan adalah untuk menjamin kualitas dan memberikan kepercayaan terhadap konstruksi yang dilas.

Untuk program pengendalian prosedur pengelasan, pengujian dan pemeriksaan dapat diklasifikasikan menjadi tiga kelompok sesuai dengan pengujian dan pemeriksaan dilakukan yaitu sebelum, selama atau setelah pengelasan. Pengujian/pemeriksaan yang dilakukan sebelum pengelasan meliputi: pemeriksaan peralatan las, material pengelasan yang akan digunakan; pengujian verifikasi

prosedur pengelasan yang harus sesuai dengan prosedur pengelasan yang memadai; dan pengujian kualifikasi juru las sesuai dengan ketrampilan juru las. Pemeriksaan untuk verifikasi pemenuhan standar pengelasan meliputi pemeriksaan kemiringan bahan yang dilas, dan pemeriksaan galur-galur las pada setiap sambungan.

Pengujian atau pemeriksaan yang dilakukan setelah proses pengelasan meliputi: pemeriksaan temperatur pemanasan dan tingkat pendinginan sesudah proses pemanasan, pemeriksaan visual pada ketelitian ukuran, dan pemeriksaan pada bagian dalam dan permukaan hasil las yang rusak.

2.9.2 Klasifikasi Metode Pengujian Daerah Las

Metode pengujian daerah las secara kasar dapat diklasifikasikan menjadi pengujian merusak/destruktif (DT) dan pengujian tidak merusak/non-destruktif (NDT). Dalam pengujian destruktif, sebuah spesimen atau batang uji dipotongkan dari daerah las atau sebuah model berukuran penuh dari daerah las yang diuji dilakukan perubahan bentuk dengan dirusak untuk menguji sifat-sifat mekanik dan penampilan daerah las tersebut. Dalam pengujian non-destruktif, hasil pengelasan diuji tanpa perusakan untuk mendeteksi kerusakan hasil las dan cacat dalam. Tabel 2.4 merangkum manfaat-manfaat pengujian destruktif dan non-destruktif.

Tabel 2.4 Manfaat pengujian *destruktif* (DT) dan pengujian *non-destruktif* (NDT)

Metode pengujian	Destruktif	Non – Destruktif
Manfaat	1. Kerusakan dibaian dalam dapat dideteksi dengan mudah	1. Pemeriksaan 100% bisa dilakukan
	2. Sifat-sifat mekanis dapat ditentukan secara akurat	2. Sampel pengujian dapat dipakai sebagai hasil pengelasan

2.10 Pengujian Dengan Cara Tak Merusak (*non-destruktif test*)

Uji Non-Destruktif secara kasar dapat dibagi menjadi dua jenis sesuai dengan tempat terjadinya kerusakan, yaitu pengujian kerusakan pada bagian permukaan (uji kerusakan luar) dan pengujian kerusakan pada bagian dalam (uji kerusakan dalam).

2.10.1 Uji Kerusakan Permukaan (*Surface defect*)

a. Uji Visual (VT)

Uji visual merupakan salah satu metode pemeriksaan terpenting yang paling banyak digunakan. Uji visual tidak memerlukan peralatan tertentu dan oleh karenanya relatif murah selain juga cepat dan mudah dilaksanakan. Sasaran pengujian yang dilaksanakan meliputi :

- a) Sebelum dan selama dilakukannya pengelasan adalah jenis dan bentuk material, bentuk sambungan, dan pemanasan sebelum pengelasan, pemanasan setelah pengelasan serta temperatur antar-lapisan.
- b) Setelah pengelasan adalah ketepatan ukuran hasil pengelasan, selain itu juga penguatan, panjang kaki, tampilan rigi-rigi, penembusan, perlakuan terhadap lubang-lubang dan kerusakan pada bagian luar, misalnya retakan pada permukaan dan potongan-bawah, dari logam las.

b. Uji Zat Penetran (PT)

Untuk menguji zat penetran, digunakan cairan berdaya penetrasi tinggi terhadap spesimen. Cairan tersebut menembus celah-celah kecil atau daerah-daerah kerusakan serupa yang terbuka terhadap permukaan spesimen, karena adanya daya kapiler. Daerah yang terkena zat penetran itu kemudian diproses untuk mengungkapkan kerusakan secara visual. Berbeda dengan uji partikel magnet, uji zat penetran dapat digunakan untuk hampir semua material, dan pengujian ini akan efektif jika spesimennya memiliki kerusakan pada rongga yang dapat dimasuki oleh zat penetran.

Pada umumnya, uji zat penetran ini dilakukan secara manual, sehingga dapat tidaknya kerusakan itu berhasil dideteksi sangat bergantung pada ketrampilan penguji. Jika dilaksanakan oleh seorang penguji yang kurang berpengalaman, maka keberhasilan uji zat penetran ini bisa bervariasi. Biasanya pengujian ini menggunakan

bahan celup kering sebagai zat penetran, walaupun zat penetran floresen bisa digunakan sebagai gantinya. Zat penetran floresen mengandung unsur floresen, yang memancarkan cahaya floresen berwarna hijau muda apabila disinari dengan sinar ultraviolet.

Uji cairan penetrant adalah uji yang relatif murah, namun uji ini memiliki kelebihan dan kekurangan diantaranya : (Hendroprasetyo, 2006).

Keuntungan uji cairan penetrant :

1. Sederhana dan relatif murah.
2. Dapat dipakai pada semua jenis material asal permukaan tidak berpori pori dan tidak menyerap cairan.
3. Untuk komponen semua bentuk dan ukuran.
4. Dipakai untuk quality control dan rutin line inspection.

Kekurangan uji cairan penetrant :

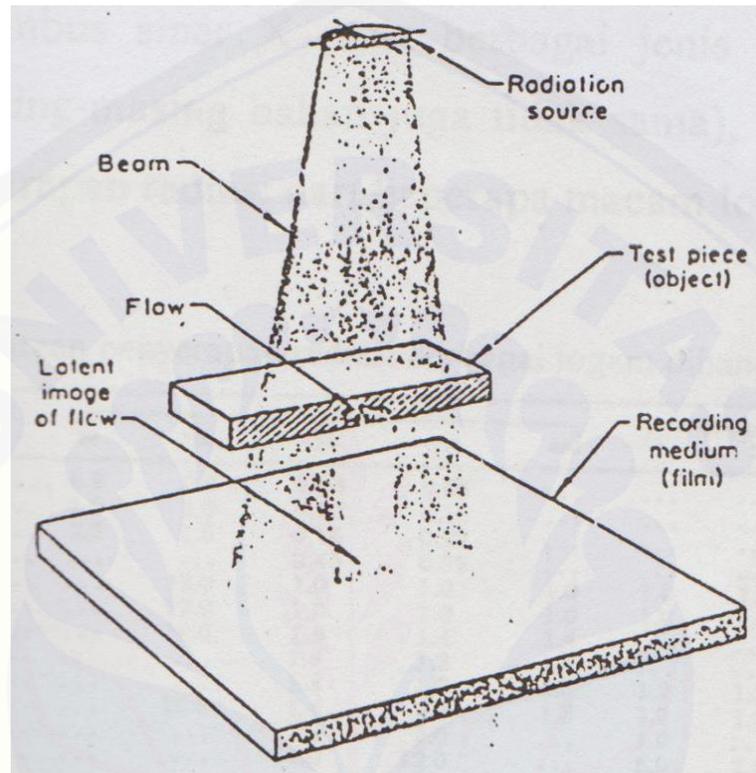
1. Hanya mendeteksi cacat permukaan.
2. Diperlukan akses untuk pembersihan permukaan.
3. Sulit membedakan indikasi palsu.
4. Tidak menunjukkan kedalaman cacat.

2.10.2 Pengujian Kerusakan Dalam (*Inside defect*)

Uji Radiografi (RT)

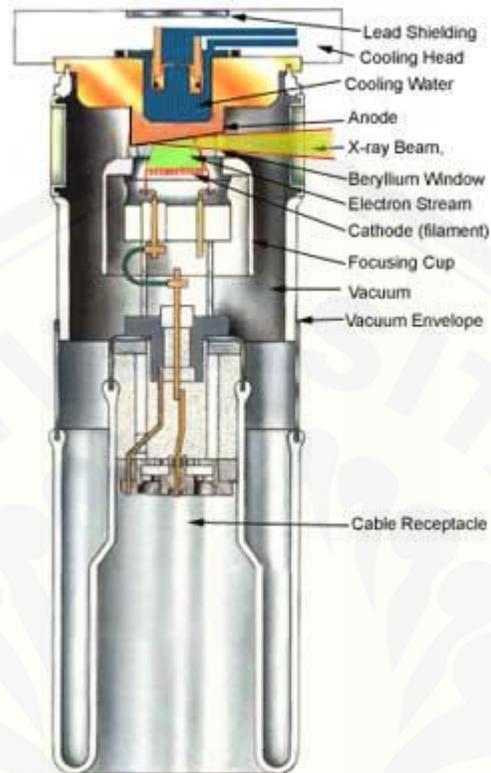
Pengujian ini adalah cara pemeriksaan tak merusak dengan menggunakan sinar radiasi, pada pemeriksaan ini sinar radiasi dipancarkan ke benda uji yang diperiksa, sinar akan menembus benda uji tersebut, sebagian sinar diserap oleh bahan, sebagian dapat menembus benda uji, dibelakang benda uji sinar itu ditangkap. Bila pada benda uji terdapat diskontinuiti atau tebal yang tidak sama maka sinar radiasi yang dapat ditembus benda uji akan berbeda, sehingga akan membentuk bayangan. Bayangan inilah yang ditangkap/direkam. Rekaman ini dianalisa untuk menentukan ada tidaknya diskontinuiti.

Pada pemeriksaan radiografi ini harus ada sumber sinar radiasi dan media perekam bayangan sinar radiasi (film). Gambar 2.4 dibawah memperlihatkan proses terbentuknya bayangan dari diskontinuiti dalam benda uji.



Gambar 2.4 Pembentukan bayangan diskontinuiti pada film (*Ilmu Logam II, Ir. Wahid Suherman*)

Sumber radiasi yang bisa digunakan untuk memeriksa untuk pemeriksaan ini adalah sinar gamma (γ -ray) yang berasal dari peluruhan suatu bahan isotop radiaktif, dan sinar X (X-ray). Sinar X mempunyai sifat yang sama dengan sinar gamma, hanya saja sinar X dibangkitkan dalam tabung sinar X, berupa tabung hampa dimana elektron dipancarkan dari katode ke anode (gambar dibawah), dan kecepatan tinggi menabrak anode yang terbuat dari logam, sehingga akan terpancar sinar dengan frekuensi ultra, yang tidak terlihat (sinar X).



Gambar 2.5 Skematik rangkaian komponen utama tabung sinar X (www.xraylamp.webd.pl)

Kekuatan penembusan sinar X ditentukan oleh panjang gelombang sinar X, dan ini berkaitan dengan beda potensial anode-katode pada tabung sinar X tersebut. Mesin sinar X ada yang berkekuatan 150 – 1000 kV, makin tinggi tegangan tabung makin tinggi daya penembusannya. Daya tembusan yang lebih besar dapat diperoleh dari sinar gamma.

Daya tembus sinar X berbagai jenis bahan tidak sama (karena penyerapan masing-masing bahan tidak sama), tabel 2.5 dibawah memperlihatkan kesetaraan penyerapan radiasi dari beberapa macam logam.

Tabel 2.5 kesetaraan penyerapan radiasi berbagai logam dibandingkan dengan baja

Material	X-rays, kv				X-rays, Mev				Gamma rays			Ra
	50	100	150	220	400	1	2	4 to 25	Ir-192	Co-60	Cs-137	
Magnesium	0.6	0.6	0.05	0.08	...	...	...	...	...	...	...	...
Aluminum	1.0	1.0	0.12	0.18	...	...	...	...	0.35	0.35	0.35	0.40
Aluminum alloy 2024	2.2	1.6	0.16	0.22	...	...	...	...	0.35	0.35	0.35	...
Titanium	...	...	0.45	0.35	...	...	...	...	...	...	...	...
Steel	...	12.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
18-8 stainless steel	...	12.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Copper	...	18.0	1.6	1.4	1.4	...	...	1.3	1.1	1.1	1.1	1.1
Zinc	...	...	1.4	1.3	1.3	...	...	1.2	1.1	1.0	1.1	1.1
Brass (a)	...	...	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.3	1.3
Inconel alloys	...	16.0	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
Zirconium	...	...	2.3	2.0	...	1.0	...	...	...	...	...	2.0
Lead	...	...	14.0	12.0	...	6.0	2.5	3.0	4.0	3.2	...	3.4
Uranium	...	...	...	25.0	...	...	...	3.9	12.6	6.6	...	...

(a) Containing no tin or lead; absorption equivalence is greater than these values when either element is present.

Karena adanya perbedaan penyerapan ini dapat terbentuk bayangan dari diskontinuiti yang ada dalam benda uji. Dalam menganalisa bayangan ini ada beberapa hal yang harus diingat, sehubungan dengan bentuk/ukuran sumber radiasi, bentuk/ukuran diskontinuiti dan posisi diskontinuiti terhadap sumber radiasi dan film yang menangkap bayangan tersebut.

Kepekaan masih dipengaruhi oleh karakteristik dan proses developmen film. Karena untuk melihat kepekaan maka pada benda uji selalu digunakan penetrometer (*penny*) atau disebut juga *Image Quality Indicator (IQI)*. Penetrometer ditempelkan pada permukaan benda uji sedemikian rupa sehingga bayangannya dapat ditangkap oleh film.

Pada umumnya penetrometer yang digunakan untuk pengujian ini menggunakan penetrometer wire type. Penetrometer ini harus terbuat dari bahan yang sama dengan bahan yang diperiksa. Pada penetrometer wire type, tiap penetrometer terdiri dari 7 kawat dari berbagai ukuran yang dikemas dalam plastik transparan, kawat no. 1 sampai dengan no. 7 (dimeter ukuran kawat 3,20 – 0,80 mm), no. 6 sampai dengan no. 12 (diameter ukuran kawat 1,0 – 0,25 mm), dan no. 10 sampai dengan nomer 16 (diameter 0,40 – 0,10 mm). Kualitas bayangan ditentukan oleh besarnya kawat yang tampak pada film. Kepekaannya dapat dicari dari tabel di bawah ini:

Tabel 2.6 Spesifikasi kualitas bayangan minimum dan range kepekaan ekuivalen untuk tebal benda uji

Test-piece thickness, mm	High-sensitivity level (category 1)		Normal-sensitivity level (category 2)	
	Wire No., BZ	Equivalent sensitivity, %	Wire No., BZ	Equivalent sensitivity, %
>0, ≤6	16	1.7 min	14	2.7 min
>6, ≤8	15	2.0-1.6	13	3.3-2.5
>8, ≤10 . . .	14	2.0-1.6	12	3.1-2.5
>10, ≤16 . .	13	2.0-1.3	11	3.2-2.0
>16, ≤25 . .	12	1.6-1.0	10	2.5-1.6
>25, ≤32 . .	11	1.3-1.0	9	2.0-1.6
>32, ≤40 . .	10	1.3-1.0	8	2.0-1.6
>40, ≤50 . .	9	1.3-1.0	7	2.0-1.6
>50, ≤80 . .	8	1.3-0.8	6	2.0-1.3
>80, ≤200 .	7	1.0-0.4	..	..
>80, ≤150 .	..	..	5	1.6-0.8
>150, ≤170 .	..	..	4	1.1-0.9
>170, ≤180 .	..	..	3	1.2-1.1
>180, ≤190 .	..	..	2	1.4-1.3
>190, ≤200 .	..	..	1	1.7-1.6

(a) Minimum image quality is expressed as wire number (BZ) of thinnest wire distinguishable in radiograph.

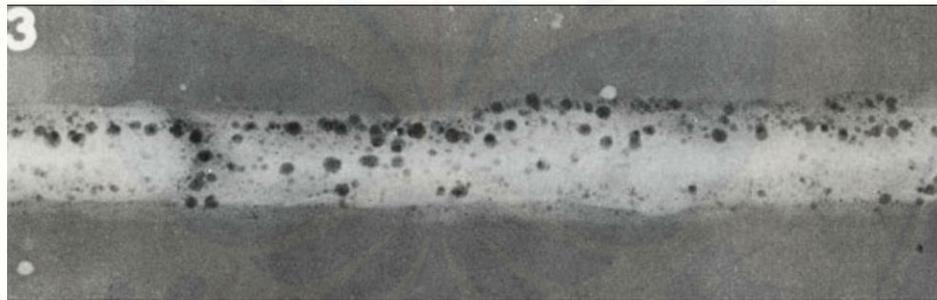
Keuntungan dan kerugian pada pengujian radiografi dan ultrasonik (Wiryosumarto, 2000):

1. Dalam hal penentuan jenis cacat las, cara radiografi lebih mudah dari pada cara ultrasonik. Hal ini disebabkan karena keterangan yang didapat dari cara ultrasonik masih sukar dihubungkan dengan jenis cacat.
2. Penentuan panjang cacat juga lebih mudah dengan cara radiografi dari pada cara ultrasonik, walaupun dengan cara uji radiografi masih memberikan kesalahan terutama adanya bayangan pada sekeliling cacat.
3. Dalam menentukan tinggi cacat dengan cara radiografi diperlukan penyinaran dari dua arah.
4. Penggunaan cara radiografi mempunyai batas ketebalan maksimum yang dapat ditembus, yaitu 450 mm untuk baja. 350 mm untuk tembaga dan 1200

untuk aluminium. Untuk pengujian ultrasonik secara praktis tidak mempunyai batas ketebalan maksimum, tetapi untuk pengujian pelat dengan tebal kurang dari 5 mm memerlukan pengalaman dan pengetahuan tambahan.

5. Peralatan bahan habis pada pengujian radiografi lebih mahal dan lebih berat 20 kg dari pada peralatan dan bahan habis pada ultrasonik 4 kg. Disamping itu penggunaan ultrasonik memberikan hasil yang lebih cepat dibanding cara radiografi karena pada pengujian ultrasonik tidak ada proses pencucian film.
6. Cara radiografi bila tidak berhati-hati menggunakannya dapat memberikan bahaya radiasi, sedangkan ultrasonik tidak memberikan bahaya radiasi kecuali adanya tegangan tinggi sekitar 500 V pada alat transmisinya.
7. Cara radiografi sudah mantap dan bisa dikatakan hampir tidak ada perkembangannya lagi. Sedangkan cara ultrasonik adalah cara yang masih baru dan perkembangannya masih berjalan terus.

Contoh hasil cacat las yang terlihat pada uji radiografi.



Gambar 2.6 Kerusakan difoto radiografi untuk divisualisasikan
(Mathers - *Welding of Aluminum and its Alloys*)

2.11 Perhitungan Porositas

Pengertian porositas adalah ruang kosong yang berada dalam material yang terjadi karena banyaknya faktor. Untuk mengetahui persentase porositas harus dihitung terlebih dahulu luasan porositas yang terjadi pada daerah *weld metal*.

Setelah diketahui luasan daerah porositas, dapat mencari hasil persentase porositas, dalam perhitungan persentase porositas ini dirumuskan sebagai berikut:

$$P = \frac{\text{luas porositas}}{\text{luas weld metal}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.3)$$

2.12 Kekuatan dan Pengujian Tarik

Kekuatan tarik adalah kemampuan suatu bahan untuk menahan beban tarikan yang diberikan pada bahan tersebut. Kekuatan tarik diukur dengan menarik bahan uji. Pengujian tarik biasanya dilakukan terhadap bahan uji yang standar. Dari hasil pengujian itu didapatkan data dari mesin uji tarik berupa grafik beban (P) terhadap pertambahan panjang (Δl). Grafik yang didapatkan dari mesin uji tarik belum bisa memberikan informasi sifat bahan secara umum, karena hanya menggambarkan kemampuan batang uji untuk menerima beban, oleh karena itu grafik P - Δl harus dijadikan grafik lain, yaitu grafik tegangan (σ) dan regangan (ϵ).

Pada saat bahan uji menerima beban sebesar P (N) maka batang uji mengalami perpanjangan sebesar ΔL dan bekerja tegangan sebesar σ sesuai dengan persamaan

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

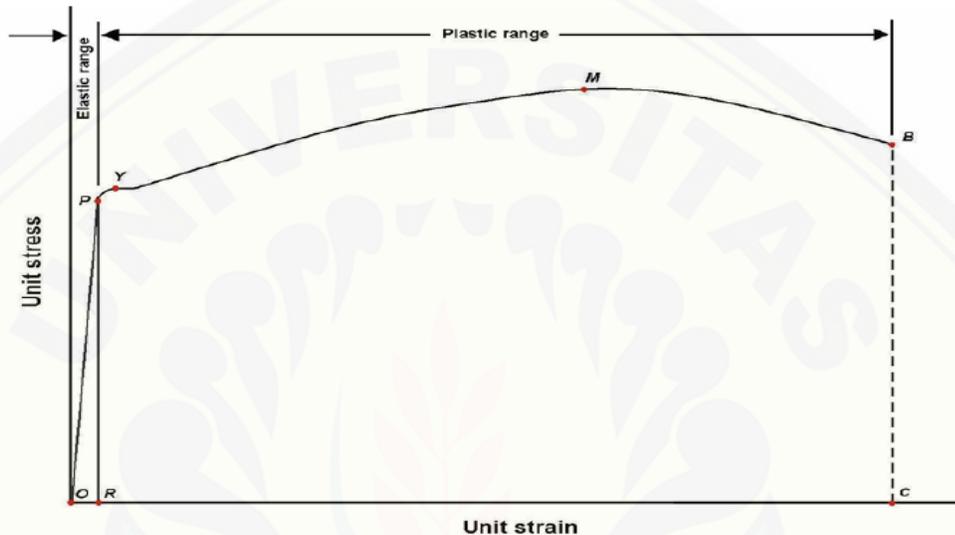
Dengan: σ = Tegangan tarik (N/m^2).

A_0 = Luas Penampang (m^2).

P = Pembebanan (N).

Salah satu tujuan dari pengujian tarik yaitu untuk mengetahui kekuatan tarik daerah las hal ini dimaksudkan untuk mengetahui apakah kekuatan las mempunyai

nilai yang sama, lebih rendah atau lebih tinggi dari kelompok *raw materials*. Hasil dari pengujian tarik tersebut sangat penting untuk mengetahui berapa besar nilai kekuatan tarik dan dimanakah letak putusnya suatu sambungan las, sehingga perancangan sambungan ini dapat lebih diperhitungkan.



Gambar 2.7 Kurva tegangan-regangan material

Pada bahan ulet tegangan maksimum ini ditunjukkan oleh titik M pada gambar 2.4 dan selanjutnya bahan akan terus berdeformasi hingga titik B. Sedangkan pada bahan yang getas memberikan perilaku yang berbeda dimana tegangan maksimum terjadi bersamaan dengan tegangan perputahan. Dalam kaitannya dengan penggunaan struktural maupun dalam proses forming bahan, kekuatan maksimum adalah batas tegangan yang sama sekali tidak boleh dilewati.

Regangan adalah perbandingan pertambahan panjang pada suatu bahan karena adanya deformasi yang diberikan pada bahan uji terhadap panjang awal dari bahan uji tersebut. Menentukan regangan dari suatu bahan uji dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut.

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dengan : ε = Regangan

Δl = Perubahan panjang (m)

l_0 = Panjang awal (m)

l = Panjang akhir (m)

Modulus elastisitas (*elasticity modulus/E*) adalah perbandingan antara tegangan terhadap perpanjangan (azar, 2009). Modulus elastisitas digunakan untuk mengetahui kekuatan suatu bahan yang dinyatakan dengan persamaan:

$$E = \frac{\sigma_y}{\varepsilon} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dengan : E = Modulus elastisitas (N/m^2)

σ_y = Tegangan luluh (N/m^2)

ε = Regangan

Kekuatan tarik (*tensile strength/ σ_u*) letaknya pada daerah plastis, keadaan ini dinyatakan dengan tegangan maksimum sebelum putus sehingga disebut sebagai kekuatan tarik maksimum (*Ultimate tensile Strength* atau UTS) dari suatu bahan uji dengan menggunakan persamaan:

$$UTS = \sigma_u = \frac{P_{maks}}{A_0} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dengan : UTS = kekuatan tarik maksimum (N/m^2)

P_{maks} = Beban maksimum (N)

A_0 = Luas penampang (m^2)

Pada daerah plastis selain terdapat kekuatan tarik juga terdapat sifat keuletan bahan. Keuletan menggambarkan kemampuan bahan untuk berdeformasi secara plastis tanpa patah. Dapat diukur dengan besarnya regangan plastis setelah patah, menunjukkan berapa banyak suatu bahan dapat dideformasi tanpa menjadi rusak atau retak. Persentase keuletan dinyatakan dengan persamaan:

$$\% \varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100\% = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100\% \dots\dots\dots(2.9)$$

Dengan : $\% \varepsilon$ = prosentase perpanjangan atau keuletan (%)

l = panjang akhir (m)

l_0 = panjang awal (m)

Δl = selisih batang uji (m)

2.11 Hipotesis

Dengan melakukan pengelasan menggunakan variasi besar aliran gas pelindung yang berbeda Secara teoritis dapat dipakai untuk mengetahui seberapa besar pengaruh laju aliran gas terhadap cacat porositas yang terjadi pada pengelasan aluminium 1100, sehingga dapat dipakai sebagai bahan referensi dalam pengelasan aluminium agar terhindar dari penurunan sifat material yang disebabkan adanya cacat pengelasan akibat laju aliran gas yang digunakan. Pada Aluminium 1100 kita dapat memperkirakan bahwa semakin besar aliran gas pelindung maka sifat mekanik terutama kekuatan tarik akan meningkat dan dapat meminimalisir cacat porositas yang timbul pada pengelasan GMAW material Aluminium 1100.

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini meliputi tiga kegiatan utama yaitu pengelasan material, pembuatan spesimen uji serta pengujian. Pengelasan dilakukan di PT Bintang Timur Samudra Surabaya. Pembuatan spesimen uji dilakukan di laboratorium Desain Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember. Untuk pengujian penelitian ini dilakukan di Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Robutech Technical Testing and Inspection Services Surabaya.

3.2 Bahan dan Alat

3.2.1 Bahan

- Aluminium paduan Tipe 1100 dengan komposisi: Al = 99,00%, Mn = 0,05%, Zn = 0,1%, Si = 1,0% Si + Fe, Cu = 0,05 - 0,20%.
- Kawat las/ elektroda (ER 5356) dengan komposisi : 92,2% Al 0,4% Si, 0,1% Cu, 1,0% Mn, 5,5% Mg, 0,35% Cr, 0,25% Zn, 0,2% Ti, 0,05%
- Gas argon (Ar) (*High Purity*) 99%

- Amplas

Amplas digunakan untuk menghaluskan dan meratakan permukaan benda uji sebelum penelitian (khususnya untuk pengujian struktur mikro).

- Pasta Poles

Pasta poles digunakan untuk menggosok permukaan benda uji sebelum dilakukan penelitian agar permukaan menjadi bersih. Pasta poles yang digunakan adalah *autosol*.

- Bahan Etsa

Bahan Etsa digunakan untuk membuat struktur permukaan benda tampak jelas. Mengetsas adalah merusak permukaan benda uji dengan cairan tertentu yang sesuai, sehingga strukturnya terlihat dengan jelas.

3.2.2 Alat

Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut :

a. Gergaji

Gergaji digunakan untuk memotong plat (benda kerja) sesuai dengan ukuran yang diinginkan.

b. Penggaris

c. Gerinda

d. Mesin Las

Mesin las yang digunakan pada penelitian ini adalah mesin las GMAW

e. Alat Uji radiografi

f. Alat Uji penetrasi

g. Alat Uji Tarik

h. Mikroskop

3.3 Persiapan Penelitian

Berikut adalah langkah-langkah dalam proses pembuatan spesimen dan pengujian.

1. Menyiapkan alat dan bahan yang diperlukan.
2. Membersihkan permukaan benda kerja yang akan dilas dengan kertas gosok kemudian cucilah dengan sabun dan air lalu keringkan.
3. Meletakkan benda kerja yang sesuai di atas meja las.
4. Atur mesin las pada arus DC+.
5. Atur arus pengelasan pada klasifikasi penelitian.
6. Nyalakan busur dengan cara frekuensi tinggi.
7. Ketika busur sudah tenang atur jarak busur sekitar 1 mm di atas benda kerja.
8. Membersihkan benda kerja.
9. Menandai spesimen benda kerja dengan nomor.
10. Setelah proses pengelasan MIG selesai maka dilakukan proses pembuatan spesimen untuk pengujian.

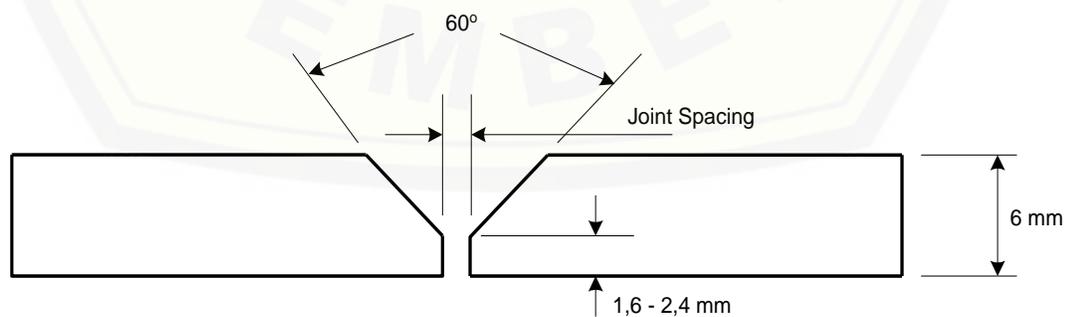
11. Setelah proses pembuatan spesimen selesai maka dilakukan proses pemeriksaan cacat permukaan yaitu dengan menggunakan pengujian penetran test.
12. Setelah itu dilakukan pengujian radiografi untuk mengetahui cacat dalam.
13. Kemudian dilakukan pengujian tarik untuk memperkuat analisa data.
14. Dilakukan pengamatan Metalography (struktur mikro).
15. Setelah semua proses pengujian selesai maka dilakukan perhitungan densitas dan persentase porositas sehingga dapat diambil kesimpulan dari hasil penelitian.

3.4 Proses Pengelasan

Proses pengelasan pada penelitian ini dilakukan dengan tiga besar aliran gas yang berbeda menggunakan pengelasan MIG, dengan menggunakan parameter-parameter yang telah ditentukan.

- Bahan Aluminium Tipe 1100
- Ketebalan 6 mm
- Elektroda ER 5356
- Gas Argon (*High Purity*) 99%
- Polaritas Listrik DC+
- Laju aliran gas 13 L/Menit, 15 L/Menit dan 17 L/Menit

Prosedur pengelasan:



Gambar 3.1 Detail joint(AWS D1.2)

3.5 Pengujian

3.5.1 Pengujian Penetran Test

Tujuan pengujian penetran test adalah untuk mendekteksi kualitas hasil pangelasan yang terdapat pada bagian permukaan pengelasan dari cacat yang timbul, pengujiannya dengan melakukan penyemprotan pada hasil lasan.

Prosedur pemeriksaan dengan liquid penetran terdiri dari 5 langkah dasar :

1. Surface preparation (pembersihan permukaan), permukaan yang akan diperiksa harus bersih dari kotoran, karat, cat minyak/lemak dan kering agar tidak menghalangi masuknya cairan penetran kedalam celah retakan atau lubang. Pembersihan dilakukan baik dengan cara mekanik (dengan sikat, kertas gosok, lap dsb) maupun dengan cairan pelarut/ cleaner.
2. Penetration, yaitu menyemprotkan cairan penetran kepermukaan yang akan diperiksa dan membiarkannya selama beberapa saat (*dwell time*) untuk memberikan kesempatan masuknya cairan kedalam cacat yang terjadi (bila ada).
3. Removal of excess penetration, membersihkan cairan penetran yang masih ada dipermukaan. Pembersihan ini dapat dilakukan dengan lap saja, tetapi mungkin diperlukan pembersihan dengan air atau dengan cleaner, tergantung jenis penetrannya. Pembersihan ini tidak boleh berlebihan agar cairan yang sudah masuk kedalam celah cacat tidak ikut terbang.
4. Development, menebarkan serbuk developer kepermukaan yang sudah dibersihkan dari sisa cairan. Dengan developer ini cairan yang masuk kedalam celah cacat diserap kembali oleh serbuk developer yang berada diatas cacat tersebut, dan cairan penetran akan tampak jelas serta akan menampakkan adanya indikasi retakan.
5. Inspection, memeriksa ada tidaknya indikasi retakan pada permukaan yang sudah diberi developer.



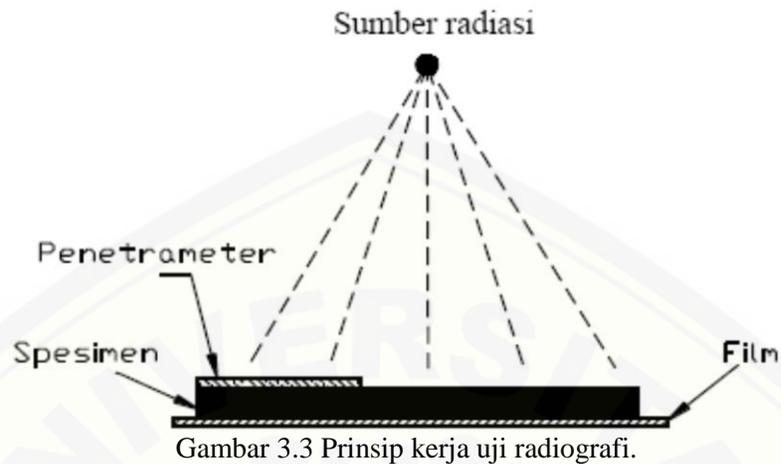
Gambar 3.2 Uji Penetran Test

3.5.2 Pengujian Radiografi

Tujuan pengujian radiografi ini adalah untuk mendeteksi kualitas hasil pengelasan dari cacat yang timbul setelah pengelasan pada bagian dalam pengelasan, sehingga bisa diketahui indikasi dan letak cacat yang ada.

Pada pengujian radiografi ini mempunyai tahapan-tahapan yang harus dilakukan, yaitu:

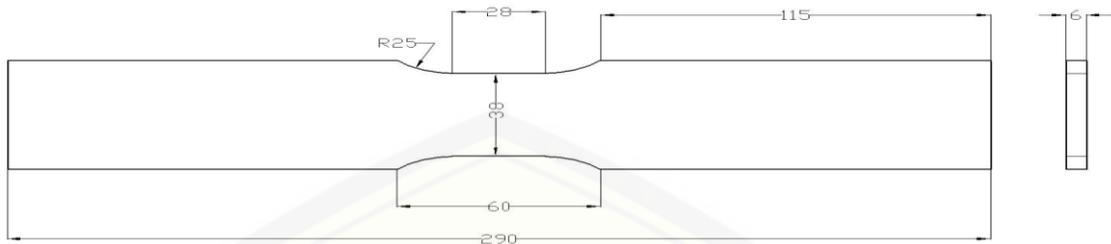
1. Spesimen hasil pengelasan.
2. Pemilihan film yang akan digunakan, sesuai dengan tebal dari benda yang diuji.
3. Pemasangan ID, IQI (Identifikasi jenis material dan waktu pelaksanaan)
4. Pemasangan film yang akan menempung sinar x pada bagian bawah spesimen.
5. Melakukan penyinaran X radiografi ke permukaan lasan.
6. Pencucian film yang telah dilakukan penyinaran.
7. Pembacaan hasil film.
8. Analisa.



Gambar 3.4 Alat Uji Radiografi Test

3.5.3 Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan pada spesimen hasil pengelasan dengan laju alir gas 13 L/menit, 15 L/menit, dan 17 L/menit. Spesimen yang digunakan untuk uji tarik dibuat menurut standard AWS D1.2, Structural Welding Code Aluminium seperti pada Gambar 3.5 di bawah dengan garis las tegak lurus dengan arah beban (*transversal butt joint*).



Gambar 3.5 Spesimen Uji Tarik

Dari pengujian tarik ini didapat grafik tegangan vs regangan. Tegangan (σ) didapat dengan menggunakan rumus:

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \dots\dots\dots(3.5)$$

P : beban yang diberikan (N)

A_0 : luas penampang bahan sebelum dibebani (mm²)

Sedangkan regangan (ϵ) dicari dengan menggunakan rumus:

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L_i - L_0}{L_0} \times 100\% \dots\dots\dots(3.6)$$

$\% \epsilon$: keuletan (%)

l_i : panjang akhir (m)

l_0 : panjang awal (m)

Δl : selisih batang uji (m)

3.5.4 Pengamatan Struktur Mikro



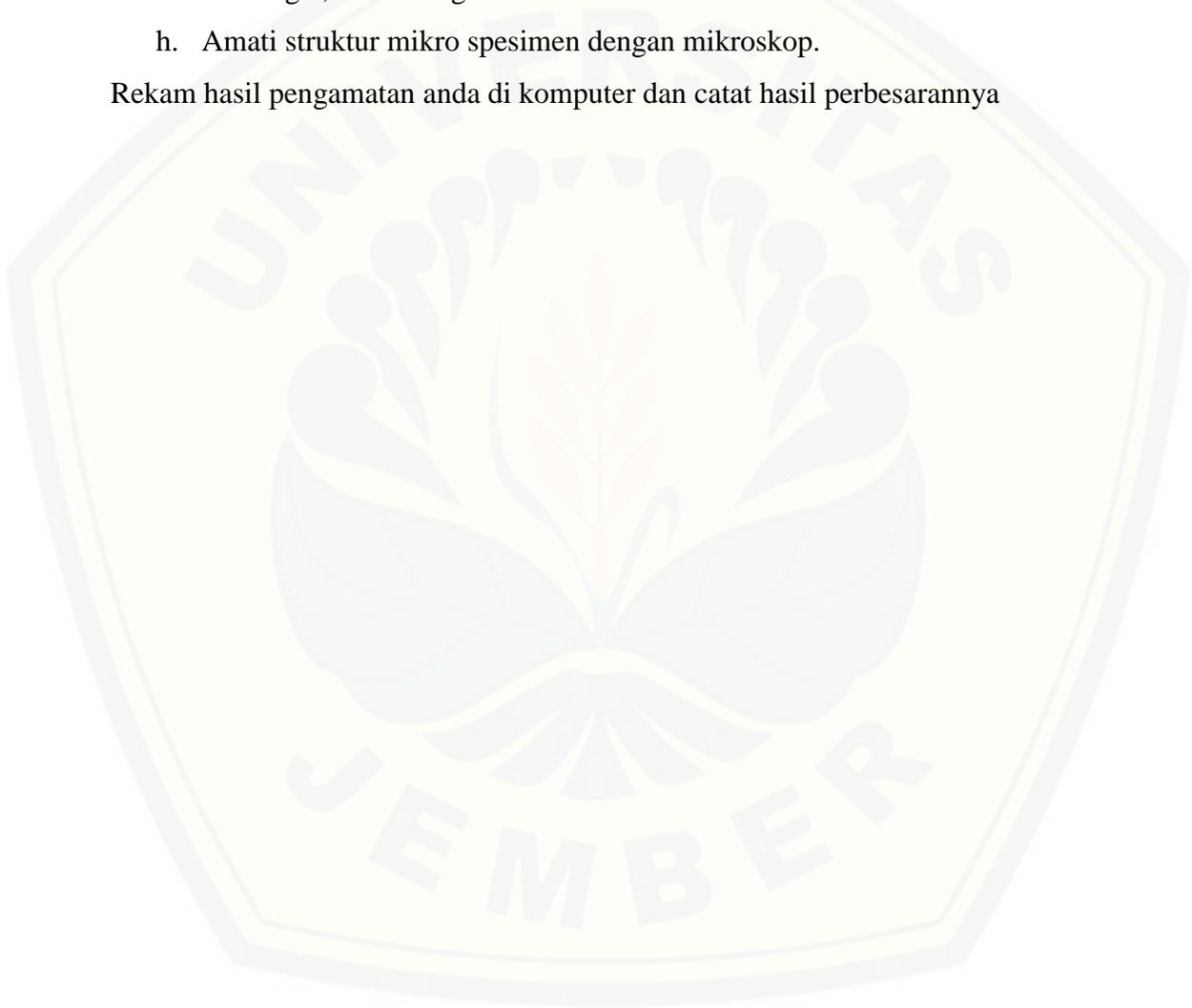
Gambar 3.6 Mikroskop Metalografi

Untuk uji struktur mikro, langkah-langkah pengujiannya adalah sebagai berikut :

- a. Spesimen dipotong sesuai kebutuhan
- b. *Mounting* spesimen dengan cara :
 - Gergaji paralon ϕ 3/4 in panjang 1.5 cm
 - Tutup paralon yang sudah terpotong dengan isolasi pada salah satu sisinya
 - Letakkan spesimen di dalam paralon dan lekat dengan isolasi
 - Tengadahkan paralon sehingga terbuka di bagian atas
 - Campurlah resin dengan hardener
 - Tuangkan resin tersebut ke dalam paralon dan biarkan sampai mengering
 - Keluarkan hasil cetakan resin itu dengan mengergaji paralon
- c. Haluskan spesimen yang sudah *dimounting* dengan kertas amplas secara bertahap dari grade yang kasar sampai yang halus.
- d. Lihat spesimen apa sudah betul-betul rata bila belum ulangi gosok dengan kertas ampelas yang halus.

- e. Spesimen kemudian dipoles dengan kain beludru yang diletakan pada mesin ampelas, dan beri Alumina sampai tidak ada goresan.
- f. Kemudian spesimen bersihkan dengan air lalu alkohol.
- g. Etsa spesimen dengan cairan etsa *Keller's Reagent*, yaitu 2 ml HF (48%), 3 ml HCl, 5 ml HNO₃, 190 ml H₂O, celup selama 120 detik, lalu basuh dengan air hangat, dan keringkan.
- h. Amati struktur mikro spesimen dengan mikroskop.

Rekam hasil pengamatan anda di komputer dan catat hasil perbesarannya



3.6 Diagram Alir Penelitian

