

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Suheni, dan Syamsuri (2007) melakukan penelitian tentang *Pengaruh Perubahan Arus Las TIG terhadap Kekuatan Impak pada Material yang Berbeda*. Pada penelitian ini menggunakan baja ST 42 dan SUS 304 dengan metode las TIG. Pada penelitian ini menggunakan plat dengan dimensi panjang x lebar x tebal adalah 100x100x10 mm. Sedang Logam Pengisi (TIG Rod) pada pengelasan ini digunakan TIG Rod merk ESAB SWEDEN dengan ketentuan sebagai berikut : 1. Type ESAB, 2. Spesifikasi AWS E308 dan E50, 3. diameter elektroda 2,5mm. Parameter yang digunakan pada proses pengelasan ini adalah: 1. Tegangan yang digunakan = 20 volt 2. Arus pengelasan = 100 A, 120 A, 140 A 3. Polaritas : DCRP 4. Posisi pengelasan : Datar 5. Laju Pengelasan : 2 mm/detik. Hasil dari penelitian ini yaitu (1) Semakin besar arus yang diberikan maka akan menambah nilai *Impact Strength* (2) Bahan SUS 304 memiliki sifat ulet (3) Semakin besar arus yang diberikan maka daerah HAZ semakin besar.

Anif Wini Asih, dan Muchtar Karokaro (2008) dalam penelitiannya tentang *Pengaruh Elektroda dan Pendinginan pada Proses Pengelasan GTAW terhadap Ketahanan Korosi SS 316L dalam Larutan Mixed Acid*. Pada penelitian ini dilakukan pengelasan GTAW pada logam SS 316L dengan tipe elektroda (ER316L dan ER 347) dan pendinginan yang berbeda. Setelah proses pengelasan kemudian dilakukan uji imersi pada larutan *mixed acid* dengan variasi temperatur (T 35°C dan T 50°C). Anif Wini Asih, dan Muchtar Karokaro menyimpulkan bahwa laju korosi tertinggi terdapat pada spesimen dengan ER 347, pendinginan udara sebesar 51,95892138 mpy. Sedangkan laju korosi terendah terdapat pada specimen dengan ER 316L pendinginan cepat sebesar 31,8668196 mpy.

Wibama, Yuana Galih (2010) melakukan penelitian tentang *Pengaruh Heat Input Terhadap Laju Korosi Pada Pengelasan FCAW Material Duplex Stainless Steel 2205*. Pada penelitian ini dilakukan pengujian *duplex stainless steel 2205* terhadap pengaruh variasi heat input, yaitu 0.53 kJ/mm, 1.59 kJ/mm, 2.94 kJ/mm. Spesimen yang digunakan sebanyak 9 buah untuk 3 variasi *heat input*. Untuk 1

variasi heat input terdapat 3 spesimen agar hasil pengujian dapat memperoleh data yang lebih akurat. Ukuran spesimen adalah 50 mm x 10 mm x 12.5 mm diambil melintang terhadap arah las. Kemudian dilakukan pengujian laju korosi. Pengujian laju korosi menggunakan sel tiga elektroda dengan larutan *elektrolit ferrite chloride* ( $\text{FeCl}_3$ ). Pada pengujian ini diketahui bahwa semakin tinggi heat input maka laju korosi akan semakin besar.

## 2.2 Konsep Dasar Pengelasan

Definisi las adalah suatu proses penyambungan plat atau logam menjadi satu akibat panas dengan atau tanpa tekanan. Yaitu dengan cara logam yang akan disambung dipanaskan terlebih dahulu hingga meleleh, kemudian baru disambung dengan bantuan perekat (*filler*). Selain itu las juga bisa didefinisikan sebagai ikatan metalurgi yang timbul akibat adanya gaya tarik antara atom.

Bedasarkan cara pelaksanaannya las dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu:

### 1. Pengelasan cair

Dimana logam induk dan bahan tambahan dipanaskan hingga mencair kemudian membiarkan keduanya membeku hingga membentuk sambungan.

### 2. Pengelasan tekan

Yaitu dimana kedua logam yang disambung dipanaskan hingga meleleh lalu keduanya ditekan hingga menyambung. Adapun pengelasan tekan itu sendiri dibagi menjadi:

#### a. Pengelasan tempa

Merupakan proses pengelasan yang diawali dengan proses pemanasan pada logam yang diteruskan dengan penempaan (tekan) sehingga terjadi penyambungan logam.

#### b. Pengelasan tahanan

Proses ini meliputi :

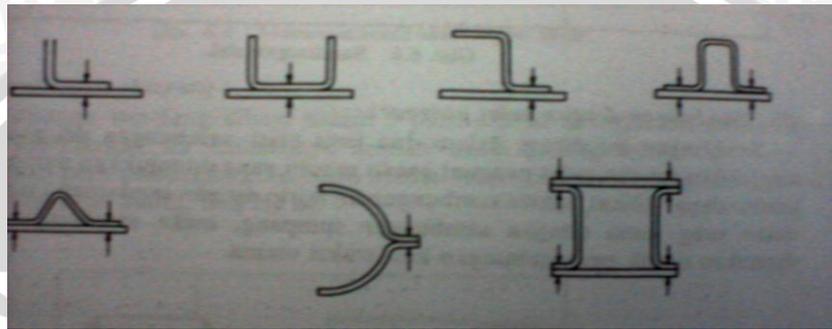
#### 1. Las proyeksi

Merupakan proses pengelasan yang hasil pengelasannya sangat dipengaruhi oleh distribusi arus dan tekanan yang tepat. Prosesnya

yaitu plat yang akan disambung dijepit dengan elektroda dari paduan tembaga. Kemudian dialiri arus listrik yang besar.

### 2. Las titik

Prosesnya hampir sama dengan las proyeksi, yaitu plat dijepit dengan elektroda dari paduan tembaga, kemudian dialiri arus listrik yang besar, dan waktunya dapat diatur sesuai dengan ketebalan plat yang akan disambung.



Gambar 2.1 Las Tekan Resistensi (Titik Atau Garis)

Sumber : Wiryosumarto, 1994

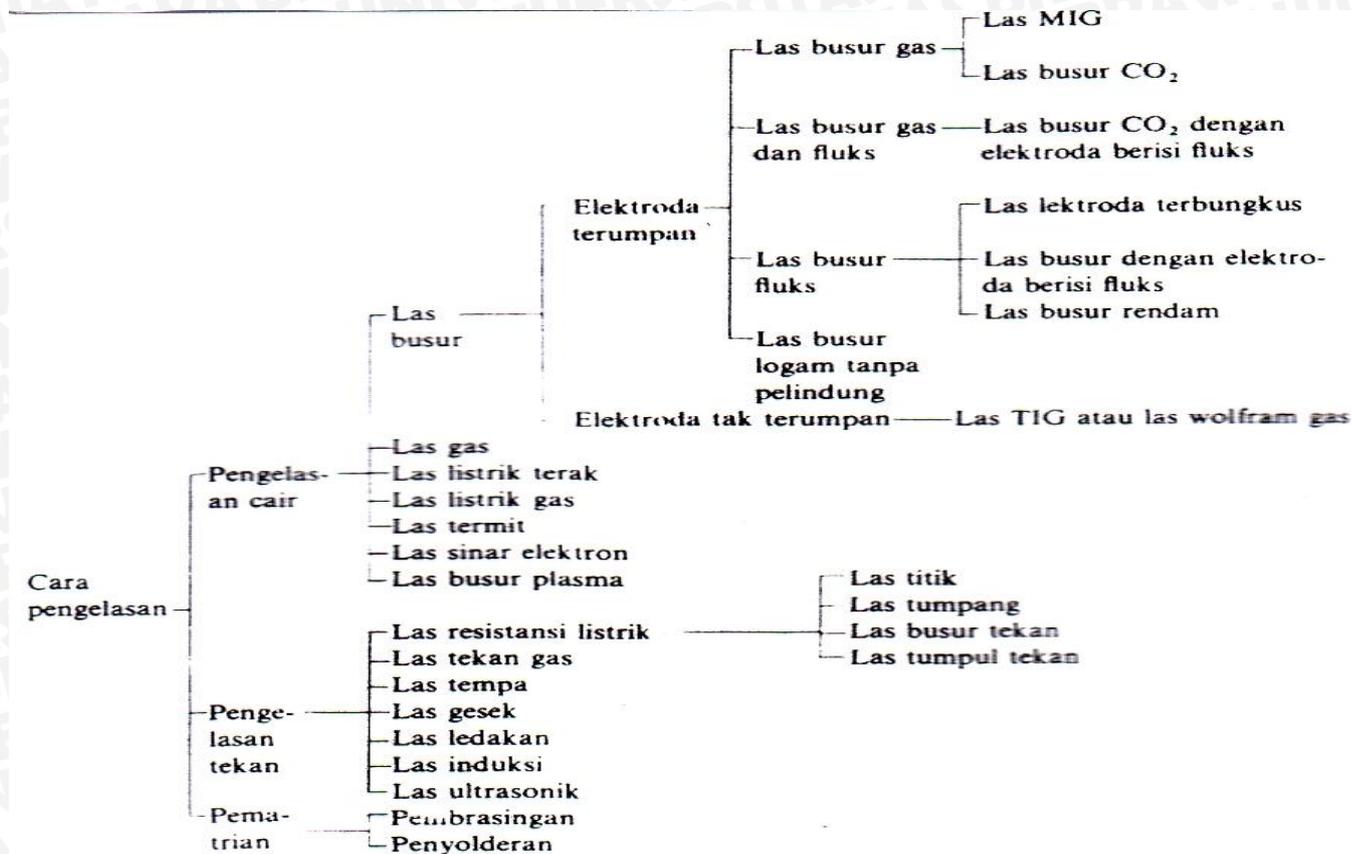
### 3. Las kampuh

Merupakan proses pengelasan yang menghasilkan sambungan las yang kontinu pada dua lembar logam yang tertumpuh. Ada tiga jenis las kampuh, yaitu las kampuh sudut, las kampuh tumpang sederhana dan las kampuh penyelesaian.

### 3. Pematrian

Proses pematrian hampir sama dengan pengelasan cair, akan tetapi bedanya adalah penggunaan bahan tambahan yang mempunyai titik leleh dibawah titik leleh logam induk.

Berikut adalah diagram cara pengelasan menurut wiryosumarto :

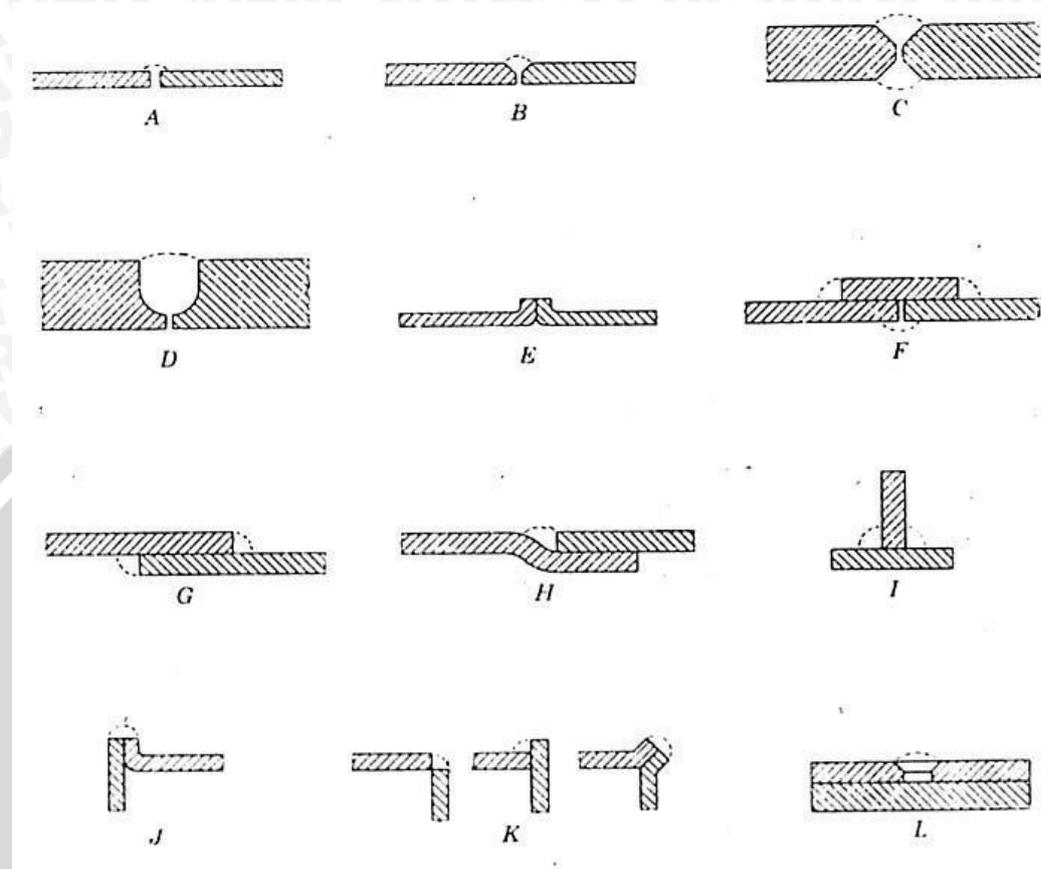


Gambar 2.2 Klasifikasi Pengelasan Logam  
 Sumber : Wiryosumarto, 1994



## 2.2.1 Jenis-Jenis Sambungan Las

Berikut adalah jenis-jenis sambungan las:



Gambar 2.3 Jenis-Jenis Sambungan Las

Sumber :

<http://mechanicalrendyyusman.blogspot.com/2010/11/pengelasan-welding.html>

Keterangan gambar:

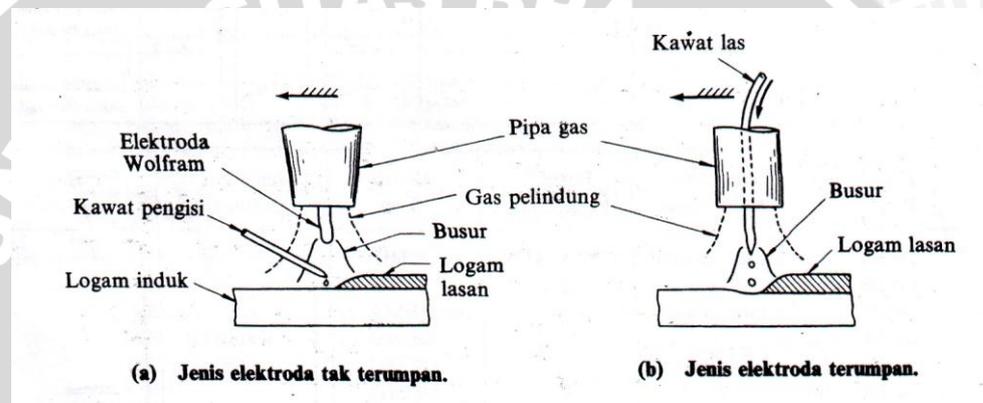
- a. Sambungan tumpul.
- b. Sambungan tumpul dengan alur v.
- c. Sambungan tumpul dengan alur v ganda.
- d. Sambungan tumpul dengan alur u.
- e. Sambungan tekuk.
- f. Sambungan tumpul dengan pita garis.
- g. Sambungan tumpang (dengan las sudut tunggal atau ganda).
- h. Sambungan tumpul tekuk (tunggal atau ganda).
- i. Sambungan tumpul I.
- j. Sambungan sisi (untuk pelat tipis).
- k. Sambungan sudut (untuk pelat tipis).
- l. Sambungan sumbat.

## 2.2.2 Las Busur Gas

Las 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 (CO<sub>2</sub>) atau campuran dari gas-gas tersebut.

### 1. Klasifikasi

Las busur gas biasanya dibagi dalam dua kelompok besar yaitu kelompok elektroda terumpan dan kelompok elektroda tidak terumpan. Skema dari dua kelompok ini bisa dilihat dalam gambar berikut :

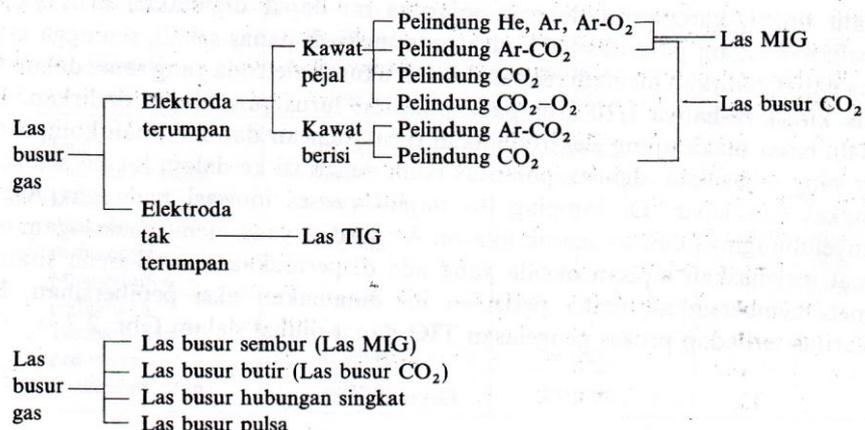


Gambar 2.4 Klasifikasi Las Busur Gas

Sumber : Wiryosumarto, 1994

Kelompok elektroda tak terumpan masih dibagi lagi menjadi dua jenis yaitu dengan logam pengisi dan tanpa logam pengisi. Kelompok ini biasanya menggunakan gas mulia sebagai pelindung sehingga secara keseluruhannya kelompok ini menjadi las wolfram gas mulia atau dalam bahasa Inggris disebut *Tungsten Inert Gas welding* yang disingkat menjadi *TIG welding* atau las TIG.

Kelompok elektroda terumpan kadang-kadang juga dibagi lagi menjadi dua berdasarkan kawat elektrodanya, yaitu jenis kawat elektroda pejal dan jenis kawat elektroda dengan inti fluks. Dalam kelompok ini digunakan dua macam gas yaitu gas CO<sub>2</sub> dan gas mulia. Kelompok dengan pelindung gas mulia seluruhnya disebut las busur mulia yang biasa disebut las MIG. Berikut ditampilkan klasifikasi las busur gas berdasarkan sifat busur.



Gambar 2.5 Klasifikasi Las Busur Gas  
Sumber : Wiryosumarto, 1994

## 2. Las Wolfram Gas Mulia (Las TIG)

Tungsten Inert Gas adalah salah satu dari kelompok cara pengelasan busur gas. Las busur gas adalah cara pengelasan dimana gas dihembuskan ke daerah lasan untuk melindungi busur dan logam yang mencair terhadap atmosfer. Gas yang digunakan sebagai pelindung adalah gas He (helium), gas Ar (Argon), gas CO<sub>2</sub> (Karbon dioksida) atau campuran dari gas tersebut (Kennedy GA, 1987).

Skema dari las *Tungsten Inert Gas* ini ditunjukkan pada gambar 2.3 a. Pada gambar tersebut ditunjukkan bahwa busur listrik timbul antara batang wolfram dan logam induk yang dilindungi oleh gas pelindung.

Panas yang ditimbulkan oleh busur tersebut akan mencairkan logam induk dan logam pengisinya, sehingga terjadi logam las cair yang selanjutnya membeku membentuk sambungan. Gas pelindung digunakan untuk mencegah terjadinya kontaminasi oleh oksigen dan nitrogen yang banyak di atmosfer terhadap logam lasan. Kalau tidak dilindungi maka dampak dari kontaminasi itu akan menghasilkan hasil las yang tidak optimal (Musaikan, 1989).

Keuntungan dari pemakaian proses pengelasan *Tungsten Inert Gas* antara lain :

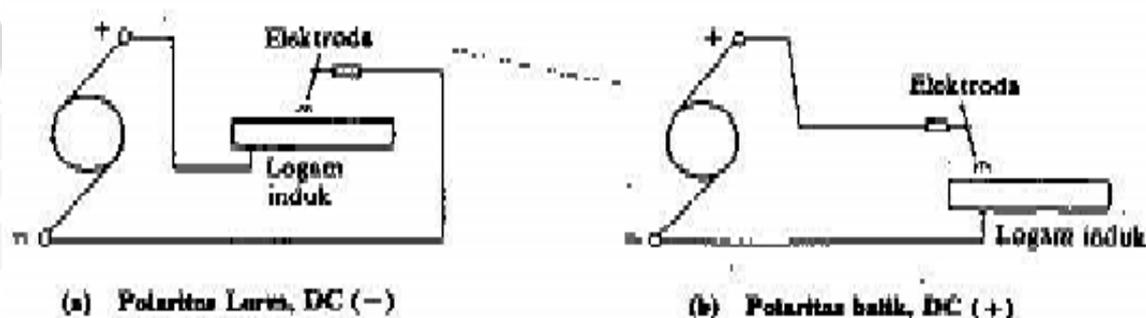
- a. Kecepatan pengumpanan logam pengisi dapat diatur terlepas dari besarnya arus listrik sehingga penetrasi ke dalam logam induk dapat diatur.

- b. Semua cara pengaturan ini memungkinkan las *Tungsten Inert Gas* dapat digunakan dengan baik untuk plat tipis maupun tebal.
- c. Dengan digunakannya pelindung gas mulia dan elektroda yang tak terumpun maka tidak dihasilkan terak pada lasan, sehingga hasil las bersih dari kotoran.
- d. Kualitas hasil pengelasan yang lebih baik.

Pada pengelasan jenis ini logam pengisi dimasukkan ke dalam daerah arus busur sehingga mencair dan terbawa ke logam induk. Tetapi untuk mengelas plat yang sangat tipis kadang-kadang tidak diperlukan logam pengisi. Las TIG dapat dilaksanakan dengan tangan atau secara otomatis dengan mengotomatisasikan cara pengumpan logam pengisi.

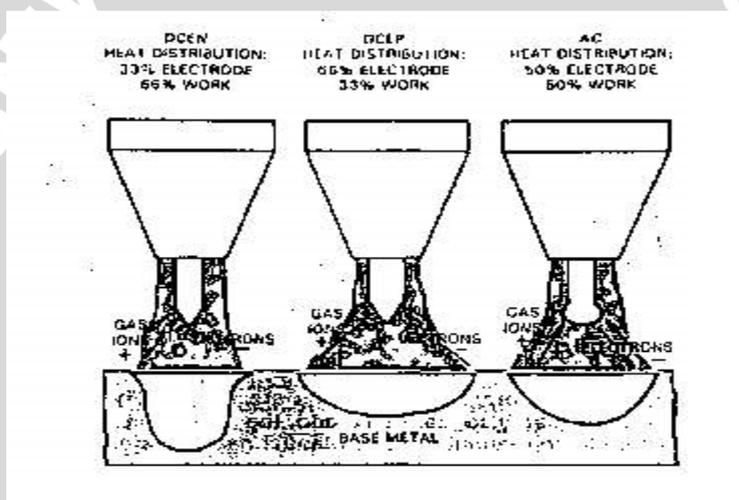
Las TIG biasanya menggunakan polaritas DCEP (*Direct Current Electrode Positive*) yang sering disebut dengan DCRP (*Direct Current Reverse Polarity*) atau polaritas balik DC (+). DCEN (*Direct Current Electrode Negative*) yang sering disebut dengan DCSP (*Direct Current Straight Polarity*) atau polaritas lurus DC (-).

Dengan adanya perbedaan polaritas yang digunakan, maka penetrasi yang terjadi akan berbeda pula. Pada polaritas lurus (DCSP), benda kerja merupakan kutub positif (+) dan elektroda merupakan kutub negatif (-). Elektron bergerak dari elektroda (kutub negatif) menuju benda kerja (kutub positif) dengan kecepatan tinggi yang disertai sejumlah panas sehingga panas terbesar terjadi pada benda kerja. Hal ini menyebabkan terjadinya penetrasi yang dalam dan sempit.



Gambar 2.6 Rangkaian Polaritas pada Pengelasan GTAW  
Sumber : Wiryosumarto, 1994

Sedangkan pada polaritas balik (DCRP) elektroda merupakan kutub positif (+) dan benda kerja merupakan kutub negatif (-) dimana elektron akan bergerak dari benda kerja menuju elektroda. Hal ini menyebabkan elektroda menjadi panas dan arus listrik yang dapat dialirkan rendah karena apabila arus terlalu tinggi ujung elektroda akan ikut mencair sehingga akan dapat mengubah komposisi logam cair yang dihasilkan. Dengan menggunakan polaritas balik penetrasi yang dihasilkan dangkal dan lebar sehingga hal ini cocok digunakan pada material yang tipis. Apabila digunakan arus listrik bolak – balik (AC) maka proses yang akan terjadi sama dengan menggunakan arus DC polaritas lurus dan polaritas balik yang dapat digunakan secara bergantian. Oleh karena itulah hasil penetrasi pada arus bolak – balik akan terletak antara hasil penetrasi kedua arus tersebut.



Gambar 2.7 Hasil Penetrasi Berbagai Polaritas

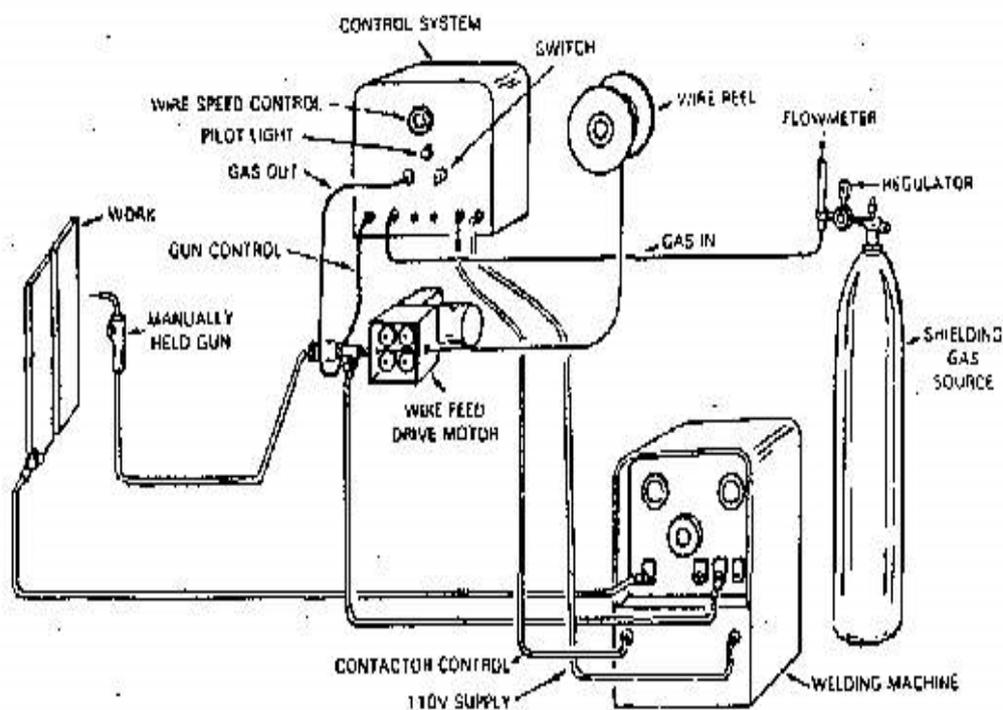
Sumber : Andrew D. Althouse, *Modern Welding* (Shout Holland, Illionis : The Goodheart Wilcox, 1984). P. 322

### 3. Las Logam Gas Mulia (Las MIG)

*Gas Metal Arc Welding* (GMAW) atau sering disebut dengan *Metal Inert Gas* (MIG). Proses ini dikenal dengan pengelasan dengan elektroda tidak terputus, dimana elektroda dalam proses pengelasan ini berisifat *consumable electrode* artinya selain sebagai pembangkit busur listrik juga berfungsi sebagai logam pengisi.

Las busur listrik dengan menggunakan gas pelindung (GMAW) merupakan cara pengelasan dengan menggunakan gas pelindung untuk mengisi

elektroda, busur dan logam yang mencair terhadap pengaruh udara luar. Gas pelindung yang digunakan biasanya adalah gas mulia yaitu gas yang memiliki kondisi stabil sehingga nantinya diharapkan sulit bereaksi dengan udara sekitar maupun dengan logam yang mencair. Panas yang dihasilkan pada pengelasan GMAW dihasilkan dari arus yang bergerak melalui celah antara elektroda dan benda kerja. Dengan adanya panas ini dapat menyebabkan logam induk serta elektroda mencair dan kemudian membeku bersama-sama membentuk satu ikatan.



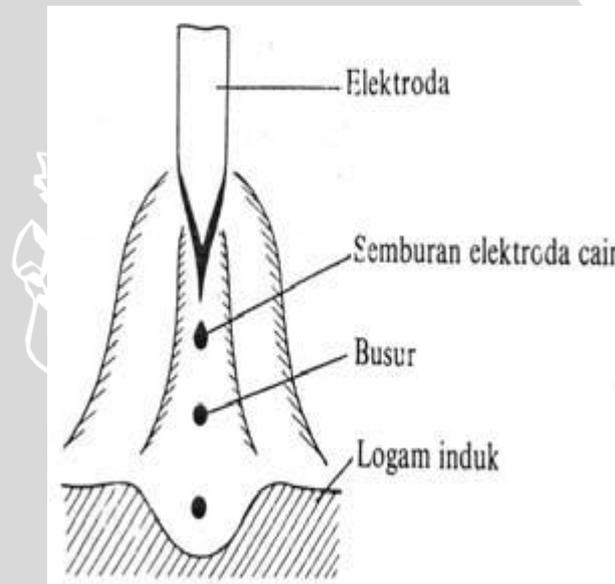
Gambar 2.8 Diagram Pengelasan GMAW

Sumber : Andrew D. Althose, *Modern Welding* (Shout Holland, Illionis : The Goodheart Wilcox, 1984). P.356

Dalam las logam gas mulia, kawat las pengisi yang juga berfungsi sebagai elektroda diumpankan secara terus menerus. Busur listrik terjadi antara kawat pengisi dan logam induk. Gas pelindung yang digunakan adalah gas Argon, helium atau campuran keduanya. Untuk memantapkan busur kadang - kadang ditambahkan gas  $O_2$  antara 2% sampai 5% atau  $CO$  antara 5% sampai 20%. Dalam banyak hal penggunaan las MIG sangat menguntungkan. Hal ini karena sifat-sifatnya yang baik, misalnya:

- a. Karena konsentrasi busur yang tinggi, maka busurnya sangat mantap dan percikanya sedikit sehingga memudahkan operasi pengelasan.
- b. Karena dapat menggunakan arus yang tinggi maka kecepatannya juga sangat tinggi, sehingga efisiensinya sangat baik.
- c. Terak yang terbentuk cukup banyak.
- d. Ketangguhan dan elastisitas, kedekatan udara, ketidakpekaan terhadap retak dan sifat-sifat lainnya lebih baik dari pada yang dihasilkan dengan cara pengelasan yang lain.

Karena hal-hal tersebut di atas, maka las MIG banyak sekali digunakan dalam praktek terutama untuk pengelasan baja – baja kualitas tinggi seperti baja tahan karat, baja kuat dan logam – logam bukan baja yang tidak dapat dilas dengan cara yang lain.



Gambar 2.9 Pemindahan Sembur Pada Las MIG  
Sumber : Wiryosumarto, 1994

Sifat-sifat seperti yang diterangkan diatas sebagian besar disebabkan oleh sifat dari busur yang dihasilkan. Dalam Gambar 2.9 ditunjukkan keadaan busur dalam las MIG dimana terlihat ujung elektroda yang selalu runcing. Hal inilah yang menyebabkan butir-butir logam cair menjadi halus pemindahannya berlangsung dengan cepat seakan-akan seperti disemburkan.

### 2.3 Sifat Mampu Las

Sifat mampu las dari suatu material adalah sifat-sifat yang terjadi setelah pengelasan yang tergantung dari kandungan material tersebut. Sifat mampu las ini sangat dipengaruhi oleh kadar karbon dan unsur-unsur lain yang ditambahkan pada material tersebut.

Asosiasi Las Jepang dalam menentukan sifat mampu las dari baja menggunakan kadar karbon dimana unsur-unsur lain dinyatakan dalam karbon ekuivalen seperti persamaan berikut :

$$C_{ek} = C + 1/6 + Si/24 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/14 \quad (2-1)$$

(Wiryosumarto dan Okumura, 2000: 50)

Sedangkan menurut American Welding Society karbon ekuivalen dirumuskan sebagai berikut :

$$CE = \%C + \left( \frac{\%Mn + \%Si}{6} \right) + \left( \frac{\%Cr + \%Mo + \%V}{5} \right) + \left( \frac{\%Cu + \%Ni}{15} \right) \quad (2-2)$$

Sumber : [http://en.wikipedia.org/wiki/Equivalent\\_carbon\\_content](http://en.wikipedia.org/wiki/Equivalent_carbon_content)

### 2.4 Siklus Termal Las

Daerah lasan dapat dibagi menjadi 3 bagian, antara lain:

a. Logam Lasan

Logam las merupakan bagian dari logam yang pada waktu pengelasan berlangsung mengalami pencairan dan kemudian pembekuan.

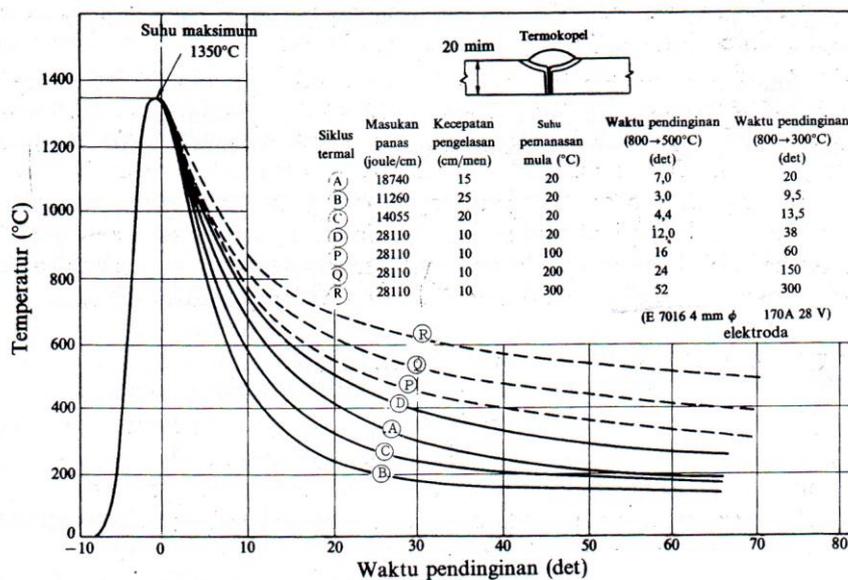
b. Daerah Pengaruh Panas atau HAZ (*Heat Affected Zone*)

Daerah pengaruh panas merupakan logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat.

c. Logam Induk tak Terpengaruh Panas

Logam induk tak terpengaruh panas merupakan bagian logam dasar, dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan struktur dan sifat.

Disamping ketiga daerah tersebut, terdapat daerah khusus yang membatasi logam las dan daerah pengaruh panas yang disebut batas las (*fusion boundary*) (Wiryosumarto, 1994: 56). Pembagian daerah las tersebut secara lebih jelas dapat ditunjukkan pada gambar 2.11.



Gambar 2.10: Siklus Termal dengan Macam-macam Waktu Pendinginan  
Sumber : Wiryosumarto, 2000

Siklus termal adalah suatu siklus pemanasan dan pendinginan di daerah lasan. Pada pengelasan baja tahan karat, dari siklus termal dapat dilihat temperatur yang terjadi pada jarak tertentu dari pusat las, sehingga dapat diketahui daerah mana yang mengalami proses sensitisasi (daerah pada temperatur  $420^{\circ}\text{C}$  –  $870^{\circ}\text{C}$ ). selain itu kegunaan dari siklus termal ini adalah untuk menafsirkan struktur kristal yang terjadi pada masing – masing daerah pada temperatur tertentu.

Siklus termal merupakan suatu diagram fungsi dari waktu dan temperatur. Temperatur daerah sekitar lasan turun dalam jarak yang makin menjauh dari sumber panas, dengan demikian temperatur puncaknya juga semakin rendah dengan makin jauhnya jarak dari sumber panas.

## 2.5 Pola pendinginan

Pola pendinginan adalah perlakuan pada bahan uji setelah proses pengelasan. Ada beberapa macam pola pendinginan yaitu pola pendinginan menggunakan air, pola pendinginan menggunakan oli, pola pendinginan menggunakan udara bebas, PWHT (*Post Weld Heat Treatment*).

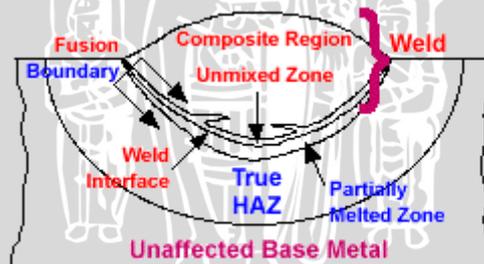
## 2.6 Laju Pendinginan

Laju pendinginan didefinisikan sebagai fungsi temperatur terhadap waktu. Laju pendinginan menyatakan besarnya penurunan temperatur tiap detik. Pada siklus termal dapat diketahui lamanya waktu yang dibutuhkan untuk penurunan temperatur, misal dari 800°C sampai ke 400°C. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.10.

Dari gambar 2.10 di atas dapat dilihat bahwa untuk membandingkan laju pendinginan pada beberapa proses pengelasan di ambil dari siklus termal yang terbentuk. Pada pencapaian dari temperatur 800°C sampai ke 400°C dibutuhkan waktu yang berbeda pada tiap proses.

## 2.7. Metalurgi Pengelasan

Pengelasan adalah suatu cara penyambungan antara dua logam atau lebih yang sejenis maupun tak sejenis dengan menggunakan energi panas. Karena proses ini menggunakan energi panas, maka logam di daerah sekitar lasan akan membentuk daerah pengaruh panas atau yang disebut *Heat Affected Zone* (HAZ). Pada daerah tersebut akan timbul perubahan – perubahan metalurgi yang rumit, deformasi dan tegangan – tegangan termal yang semua itu dapat menyebabkan cacat pada daerah lasan.



Gambar 2.11. Pembagian Daerah Lasan

Sumber : <http://www4.hcmut.edu.vn/~dantn/Weld%20pool/CMn.htm>

Energi panas yang digunakan dalam pengelasan, selain membentuk daerah pengaruh panas pada material yang dilas juga menyebabkan terjadinya siklus panas pada logam, mulai dari daerah fusi hingga mencapai logam induk. Temperatur terendah pada siklus termal ini dicapai pada jarak terjauh dari daerah fusi (garis fusi), yaitu pada daerah logam induk. Sedangkan temperatur tertinggi terjadi pada logam las.

## 2.8 Baja Karbon

### 2.8.1 Klasifikasi Baja Karbon

Sebutan baja karbon berlaku untuk baja yang mengandung unsur besi dengan presentase maksimum sebagai berikut :

- a. Karbon 1,70%
- b. Mangan 1,65%
- c. Silikon 0,60%
- d. Tembaga 0,60%

Karbon dan mangan adalah unsur utama untuk menaikkan kekuatan besi murni. Kategori ini meliputi bahan dari besi acuan (ingot) yang tidak mengandung karbon sampai besi tuang yang mengandung karbon minimal 1,7%. Baja ini dibagi menjadi empat kategori yaitu : karbon rendah (kurang dari 0,15%) ; karbon lunak (0,15-0,29%); karbon sedang (0,30-0,59%); karbon tinggi (0,60-1,70%). Baja A36 mengandung karbon maksimal yang berkisar antara 0,25 dan 0,29% tergantung pada tebalnya.

### 2.8.2 Pengelasan Baja Karbon Rendah

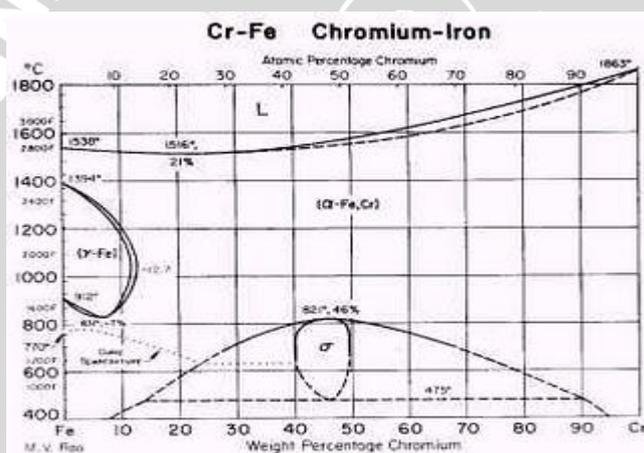
Baja karbon rendah dapat dilas dengan semua cara pengelasan yang ada di dalam praktek dan hasilnya akan baik bila persiapannya sempurna dan persyaratannya dipenuhi. Pada kenyataannya baja karbon rendah adalah baja yang mudah dilas.

Retak las yang mungkin terjadi pada pengelasan pelat tebal dapat dihindari dengan pemanasan mula atau dengan menggunakan elektroda hidrogen rendah.

## 2.9 Baja Tahan Karat (*Stainless Steel*)

Baja tahan karat atau *stainless steel* merupakan baja paduan dengan kandungan krom tidak kurang dari 10.5%. Dengan meningkatnya kandungan krom dan adanya beberapa unsur tambahan, baja tahan karat mampu memberikan sifat tahan korosi yang lebih baik. Baja tahan karat memiliki tingkatan – tingkatan yang sesuai dengan sifat dan kegunaannya yang banyak digunakan di tempat terbuka, misalnya untuk keperluan aplikasi di bidang arsitektur dan aplikasi di bidang industri kimia.

Kromium pada baja tahan karat merupakan unsure yang menjadikan baja ini mempunyai sifat tahan karat yang cukup tinggi. Dalam deret elektrokimia kromium merupakan logam yang kurang mulia dibandingkan dengan besi. Oleh karena itu baja yang mengandung unsure paduan kromium akan teroksidasi. Ketika logam ini tidak dilindungi oleh lapisan oksida krom, kondisi pada baja tahan karat ini dapat dikatakan pada kondisi aktif. Mulanya baja ini mengalami reaksi oksidasi krom pada permukaan baja. Lapisan ini menjadi semacam film yang cukup kuat dan melindungi baja ini, sehingga udara disekitarnya tidak mampu menembusnya yang mengakibatkan kontak antara oksigen dan kromium tidak terjadi lagi. Lapisan oksida krom inilah yang melindungi baja dibawahnya terhadap serangan korosi. Pada keadaan ini baja dikatakan dalam kondisi pasif. Agar sifat tahan karatnya tercapai dengan baik maka kadar krom tidak kurang dari 10 – 12% krom.



Gambar 2.12 Diagram Fase Fe-Cr

Sumber : Mars G. Fontana *Corrosion Engineering* (New York : McGraw-Hill.1987) p.230

### 2.9.1 Klasifikasi Baja Tahan Karat

Secara umum baja tahan karat dibedakan menjadi :

1. Baja tahan karat martensitik
2. Baja tahan karat ferritik
3. Baja tahan karat austenitik

### 1. baja tahan karat martensitik

Baja tahan karat ini mengandung krom antara 11.5% - 18%. Bersifat *magnetic*, *hardenable*, dapat di *cold working* terutama pada kadar karbon rendah. Baja tahan karat martensitik dikembangkan untuk mendapatkan paduan yang mempunyai sifat tahan korosi dan dapat dikeraskan dengan proses laku panas. Hal ini dapat diperoleh dengan menambahkan unsur karbon pada system biner Fe-Cr yang akan menghasilkan paduan yang dapat di *quench*. Unsur karbon akan memperluas daerah austenit sehingga akan memungkinkan terbentuknya martensit dari hasil transformasi austenit seperti proses pendinginan cepat pada baja umumnya.

Baja ini lebih sulit dilas dibanding dengan kelompok baja tahan karat lainnya, karena pengaruh penambahan karbon akan memperbesar kemungkinan terjadinya retak pada daerah pengaruh panas (HAZ). Daya tahan korosinya tidak sebaik baja tahan karat ferritik dan austenitik.

### 2. baja tahan karat ferritik

Baja tahan karat jenis ini mempunyai kandungan krom yang cukup tinggi, antara 14%-27% Cr. Kadar krom yang tinggi ini juga menyebabkan fase ferrit menjadi stabil pada semua temperatur, hingga temperatur kamar. Kestabilan ferrit hingga temperatur kamar ini mengakibatkan baja tahan karat ferritik tidak dapat dikeraskan (*non hardenable*) dengan perlakuan panas. Satu-satunya proses laku panas yang dapat dilakukan terhadap baja tahan karat ferritik adalah annealing, untuk menghilangkan tegangan dalam akibat pengelasan atau proses laku dingin (*cold work*).

Baja tahan karat ferritik mempunyai sifat tahan korosi yang lebih baik dibandingkan kelompok martensitik tetapi masih dibawah kelompok austenitik.

### 3. baja tahan karat austenitik

Pada baja tahan karat ini selain unsur krom, baja jenis ini juga ditambahkan nikel. Jumlah kadar krom dan nikel tidak kurang dari 23% dan berstruktur austenit, *non hardenable*, *non magnetic* dan *shock resistance* yang cukup tinggi serta sulit di *machining*.

Baja tahan karat austenitik didapat dengan menambahkan elemen penstabil austenit, seperti nikel atau mangan yang ditambahkan dalam jumlah yang cukup. Baja tahan karat austenitik tidak mengalami transformasi selama perlakuan panas juga tidak dapat dikeraskan dengan proses laku panas serta mempunyai sifat tahan korosi lebih baik dibandingkan dengan baja tahan karat lainnya.

#### 2.9.2 Presipitasi Karbida Krom

Pada baja tahan karat yang mengandung cukup banyak krom, apabila dipanaskan pada temperatur  $420^{\circ}\text{C} - 870^{\circ}\text{C}$  (temperatur sensitisi) maka akan terjadi peristiwa sensitisasi. Pada suhu yang cukup tinggi memberikan energi yang cukup bagi atom untuk berdifusi dengan bebas.

Kemampuan austenit untuk melarutkan karbon sangat terbatas yaitu hanya sekitar 0.03% C pada temperatur sensitisi. Semakin tinggi kadar karbon, maka karbon yang tidak larut dalam austenite akan cenderung berikatan dengan atom krom membentuk senyawa bernama karbida krom yang berupa endapan (presipitasi) pada batas butir.

Proses sensitisasi sangat dipengaruhi oleh besarnya temperatur pemanasan, kadar karbon dan lamanya proses sensitisasi berlangsung. Untuk kadar karbon tinggi dan temperatur tinggi pada range temperatur sensitasi, proses presipitasi karbida krom terjadi dalam waktu singkat. Sedang pada kadar karbon rendah dan temperatur rendah untuk terjadinya proses presipitasi karbida krom memerlukan waktu yang lama. Jika baja tahan karat austenitik berada pada temperatur sensitisi dalam waktu singkat, maka presipitasi krom dapat dikurangi.

Baja tahan karat austenitik yang mengalami proses sensitisasi akan mudah terserang korosi batas butir yang tidak menyerang matrik, akan tetapi menyerang daerah terjadinya karbida krom dimana pada daerah

tersebut kandungan kromnya mengalami penurunan hingga kurang dari 10% - 12%. Sedang pada batas butir endapan karbida krom kandungannya krom cukup tinggi (>70%).

Pada paduan nikel dan *austenitic stainless steel*, kromium sengaja ditambahkan untuk memberikan sifat ketahanan korosi. Sekitar minimal 12% kromium dibutuhkan untuk membentuk lapisan pasif yang tidak nampak pada permukaan *stainless steel*. Lapisan ini berfungsi untuk melindungi logam dari lingkungan korosif. Apabila *stainless steel* mengalami pemanasan pada 420-870 °C (misalnya selama produksi, fabrikasi, perlakuan panas, dan pengelasan), maka kromium karbida (terutama Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub>) akan tumbuh dan mengendap pada batas butir saat terjadi pendinginan. Sebagai konsekuensinya, wilayah yang berdekatan dengan batas butir akan kekurangan kromium. Daerah yang kekurangan kromium itu menjadi lebih rentan terserang korosi dalam lingkungan agresif dibandingkan daerah yang jauh dari batas butir.

Pengendapan atas beberapa karbida sering disebut sebagai “sensitisasi”. Sensitisasi merupakan penyebab terjadinya serangan korosi batas butir. Sensitisasi terjadi saat pendinginan perlahan dari suhu 870-420 °C.

Sensitisasi pada *stainless steel* dapat dicegah dengan cara:

- Pemanasan di atas 1000 °C kemudian dilakukan pendinginan secara cepat di dalam air. Akibatnya kromium karbida akan larut ke dalam butiran dan tidak sempat terjadi presipitasi. Metode ini dikenal dengan *solution treatment*.
- Menambahkan titanium, niobium, dan tantalum. Ketiga unsur tersebut akan membentuk titanium karbida, niobium karbida dan tantalum karbida yang lebih stabil daripada kromium karbida. Baja yang mengandung unsur-unsur penstabil ini disebut *stabilized steel*.
- Menurunkan kadar karbon di bawah 0,02%.

(<http://material-sciences.blogspot.com/2011/05/korosi-batas-butir.html>)

## 2.10. Pengelasan Baja Tidak Sejenis

Proses pengelasan baja tidak sejenis atau pengelasan bimetal adalah proses pengelasan yang menyambungkan dua macam logam yang berbeda. Pengelasan bimetal mempunyai tingkat kerumitan yang lebih tinggi dibanding dengan pengelasan dengan logam yang sejenis. Karena logam yang tidak sejenis mempunyai karakteristik yang berbeda satu sama lainnya. Sehingga proses pengelasan logam yang tidak sejenis membutuhkan beberapa teknik tertentu, misalnya pemilihan logam yang akan disambung harus tepat, pemilihan elektrode yang sesuai, pengaturan *heat input* yang tepat, serta pemilihan perlakuan panas pasca pengelasan yang tepat.

## 2.11 Sifat Kimia

Sifat kimia adalah sifat yang untuk mengukurnya diperlukan perubahan kimiawi. Contoh dari sifat kimia zat adalah dapat berkarat, dapat terbakar. Dalam penelitian ini yang dimaksud dengan sifat kimia adalah laju korosi.

### 2.11.1 Korosi

Korosi adalah penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya (Kenneth R. Trerhewey, 1991, 25). Korosi dapat dianggap sebagai proses balik dari pemurnian logam atau ekstraksi. Laju korosi diakibatkan oleh adanya pengurangan berat atau tebal logam yang disebabkan oleh adanya korosi, laju korosi bisa terjadi cepat ataupun lambat hal ini tergantung dari lingkungan yang ada disekelilingnya. Kehilangan berat pada logam merupakan parameter korosi yang sering dipakai dalam menganalisa suatu umur komponen atau dalam suatu konstruksi logam.

Berdasarkan ada tidaknya elektrolit, korosi dapat diklasifikasikan menjadi 2 bagian yaitu, korosi basah dan korosi kering.

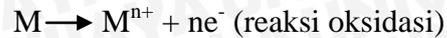
#### 1 Korosi basah

Ada empat komponen penting dalam korosi basah antara lain :

##### 1. Anoda (kutub positif)

Anoda biasanya terkorosi dengan melepaskan elektron-elektron dari atom-atom logam netral untuk membentuk ion-ion yang bersangkutan. Ion-ion ini mungkin tetap tinggal dalam larutan atau bereaksi membentuk hasil korosi yang tidak larut. Hal ini biasanya disebut reaksi anoda.

Reaksi ini bisa saja menghalangi pelarutan logam lebih lanjut sehingga korosi terhenti. Bila demikian permukaan logam disebut mengalami pemasifan (*passivated*). Reaksi anoda pada logam M dapat dilihat sebagai berikut :



2. Katoda (kutub negatif)

Reaksi katoda adalah reaksi yang mengkonsumsi elektron. Reaksi katoda menyebabkan reaksi reduksi dan pada umumnya tidak mengalami korosi.

Reaksinya adalah :



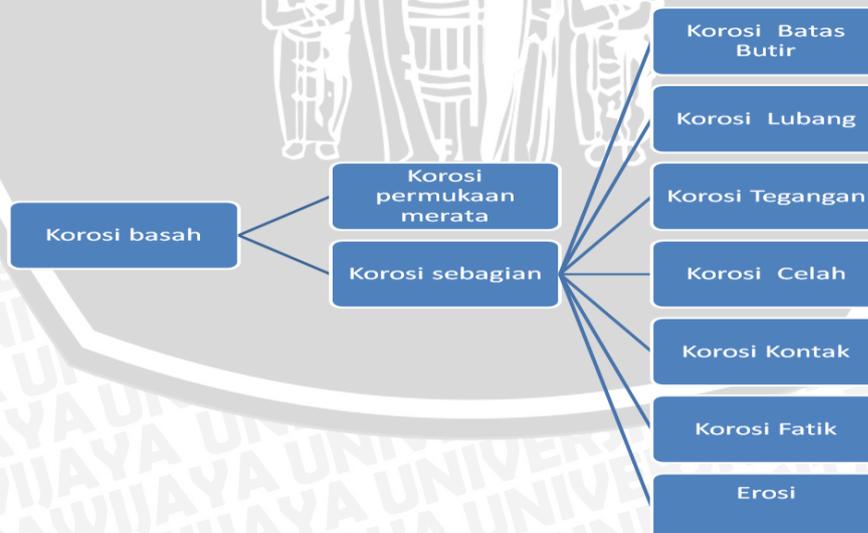
3. Elektrolit

Larutan penghantar ion.

4. *Electrical connection*

Antara anoda dan katoda terdapat kontak listrik (selisih energi bebas), sehingga elektron (arus) dapat mengalir.

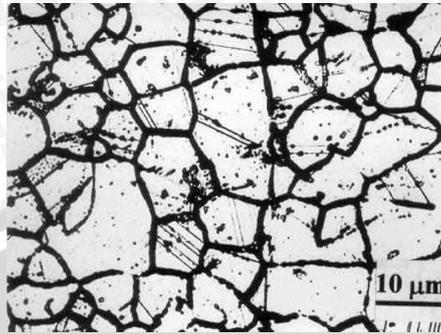
Korosi basah dapat terjadi pada lingkungan yang terdapat cairan. Korosi ini melibatkan larutan atau cairan, contohnya korosi baja oleh air. Daerah-daerah pada permukaan logam yang terkorosi merupakan tempat reaksi-reaksi anoda dan katoda sedang berlangsung dan daerah-daerah ini disebut anoda dan katoda. Korosi basah dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu korosi permukaan merata dan korosi sebagian.



Gambar 2.13 Jenis-jenis Korosi Basah  
Sumber : Wiryosumarto, 1996

a. Korosi batas butir

Korosi batas butir terjadi karena adanya karbida krom yang mengendap pada butir austenit di daerah HAZ.



Gambar 2.14 Korosi Batas Butir

Sumber : <http://material-sciences.blogspot.com/2011/05/korosi-batas-butir.html>

b. Korosi lubang

Korosi lubang terjadi bila ada ion halogen atau zat lain yang melekat di permukaan.

c. Korosi tegangan

Korosi tegangan terjadi bila ada tegangan beban atau tegangan sisa yang bekerja dan lingkungan yang bersifat korosi.

d. Korosi celah

Korosi celah terjadi bila ada celah seperti takik atau lipatan.

e. Korosi kontak

Korosi kontak terjadi bila ada listrik yang terhubung dengan logam yang berlainan.

f. Korosi fatik

Korosi fatik terjadi bila ada beban berulang dan lingkungan yang bersifat korosi.

g. Erosi

Erosi terjadi bila ada gesekan dengan cairan yang mengalir diantaranya.

## 2. Korosi Kering

Korosi kering terjadi tanpa adanya elektrolit cair dilingkungannya. Uap dan gas biasanya adalah pengkorosi. Korosi kering sering dihubungkan dengan temperatur tinggi. Pada pengkorosian kering ini hasil reaksinya berupa bahan padat, selain itu dapat berbentuk sangat tipis yang disebut film atau yang berbentuk tebal atau yang disebut dengan

kerak. Produk karat tersebut berada dipermukaan metal, jadi jika proses korosi jenis ini berlangsung terus berarti lapisan film atau difusi zat pengkorosi atau metal aslinya sendiri yang berupa ion-ion. Kerak tadi disebut oksida jika bahan pengoksidadanya zat asam (oksigen), sulfida untuk bahan belerang, dan halida untuk bahan halogen. Jadi dapat dikatakan bahwa produk korosi ini berfungsi pula sebagai elektrolit.

### 2.11.2 Laju Korosi

Laju korosi atau *Corrosion Penetration Rate* (CPR) menunjukkan besarnya penetrasi rata-rata dari korosi terhadap logam dalam tiap satuan waktu. Nilai laju korosi yang tinggi dapat menunjukkan ketahanan korosi dari suatu logam sangat rendah. Begitu pula, sebaliknya bahwa tingkat ketahanan yang tinggi terhadap korosi ditunjukkan dengan rendahnya nilai laju korosi. Dibawah ini merupakan persamaan yang digunakan untuk menghitung laju korosi :

$$CPR = K \frac{ai}{nD} \quad (2-3)$$

(Mars, Fontana, 1987 : 173)

Keterangan : K = konstanta (0,00327).

a = berat atom

i: densitas dalam  $\mu\text{a}/\text{cm}^2$

n: banyaknya elektron yang hilang

D: densitas dalam  $\text{g}/\text{cm}^3$

K : konstanta

CPR : laju korosi (mm/year).

Besarnya laju korosi merupakan pengurangan berat spesimen karena dipengaruhi dari reaksi media dengan berbagai tingkat keasaman (pH media perendaman) yang dapat diukur dengan rumus yang menunjukkan penipisan spesimen setelah direndam dalam larutan atau media.

## 2.12 Sifat Mekanik

Sifat mekanik suatu bahan adalah hubungan antara respon atau deformasi bahan terhadap beban yang bekerja. Sifat mekanik biasanya berhubungan dengan kekuatan, kekerasan, keuletan, dan kekakuan.

Untuk mengetahui sifat-sifat suatu bahan, tentu kita harus mengadakan pengujian terhadap bahan tersebut. Ada empat jenis uji coba yang biasa dilakukan, yaitu uji tarik (*tensile test*), uji tekan (*compression test*), uji torsi (*torsion test*), dan uji geser (*shear test*). Pada penelitian ini hanya digunakan uji tarik.

### 2.12.1 Kekuatan Tarik

Kekuatan suatu bangunan mesin ditentukan oleh kemampuannya menerima beban tanpa mengalami kerusakan. Jenis bebannya bermacam – macam dan pada pengujian ini ditekankan pada bangunan yang mengalami beban tarik, patahnya suatu bahan di sebabkan terlampauinya batas tegangan tarik atau geser yang diizinkan.

Keuntungan melakukan pengujian tarik adalah :

1. Mudah dilakukan.
2. Menghasilkan tegangan *uniform* pada penampang.

Tegangan tarik didefinisikan sebagai distribusi gaya tarik persatuan luas penampang bahan yang dirumuskan dengan :

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2-4)$$

Dengan :

$\sigma$  = Tegangan tarik ( N/mm<sup>2</sup> )

P = Beban tarik ( N )

A = Luas penampang ( mm<sup>2</sup> )

Regangan didefinisikan perbandingan antara pertambahan panjang dengan panjang awal yang dirumuskan dengan:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \quad (2-5)$$

Dengan :

$\varepsilon$  = Regangan

$\Delta l$  = Pertambahan panjang

$l_1$  = Panjang akhir

$l_0$  = Panjang awal

### 2.13. Kerangka Berfikir Teoritis

Pada sambungan pengelasan tidak sejenis (*Dissimilar Metal Welding*) antara baja tahan karat dan baja karbon akan terjadi endapan karbida krom yang disebabkan oleh pemanasan pada suhu 420°C-870°C sehingga menyebabkan peningkatan laju korosi. Dengan laju pendinginan yang cepat maka akan menyebabkan endapan kromium karbida akan semakin kecil sehingga laju korosi akan semakin lambat.

Pada laju pendinginan yang semakin cepat yang dikarenakan oleh pola pendinginan cepat maka struktur butiran logam tidak akan sempat mengembang yang mengakibatkan kekuatan tarik akan semakin meningkat.

### 2.14. Hipotesa

Semakin tinggi laju pendinginan dari temperatur puncak sampai temperatur 420°C yang disebabkan oleh pola pendinginan cepat maka akan menyebabkan laju korosi akan semakin menurun, hal ini dikarenakan endapan kromium karbida pada batas butir semakin sedikit.

Semakin tinggi laju pendinginan dari temperatur puncak sampai temperatur 420°C yang disebabkan oleh pola pendinginan cepat maka akan menyebabkan butiran akan semakin kecil sehingga kekuatan tarik akan semakin besar.