

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Korosi

Korosi adalah hal yang sering dijumpai dalam kehidupan sehari-hari. Korosi merupakan fenomena alami yang terjadi pada kebanyakan material atau unsur yang memiliki kandungan logam, dimana disebabkan oleh reaksi kimia atau elektro kima dengan lingkungannya. Dan dilaut dengan kandungan *NaCl* yang merupakan larutan elektrolit. Logam yang berada dilingkungan elektrolit dapat bertindak sebagai anoda katoda, dan penghubung listrik sendiri, dan laju korosi sendiri ditentukan oleh dua reaksi elektrokimia yang berlawanan.

Korosi sendiri adalah salah satu musuh terbesar dalam duni industri khususnya industri pembangunan kapal seperti galangan, kerugian yang ditimbulkan korosi yaitu terjadinya penurunan kekuatan material sehingga menyebabkan tingginya biaya perbaikan yang tidak sesuai perkiraan.

2.1.1 Jenis – jenis Korosi pada pipa

1. Korosi seragam (Uniform Attack)

Merupakan korosi yang menyerang permukaan logam yang diakibatkan dari reaksi kimia karena rendahnya pH air dan lingkungan yang lembab, sehingga seiring berjalannya waktu logam makin menipis.



Gambar 2. 1Korosi Seragam

2. Korosi erosi (Erosion Corrosion)

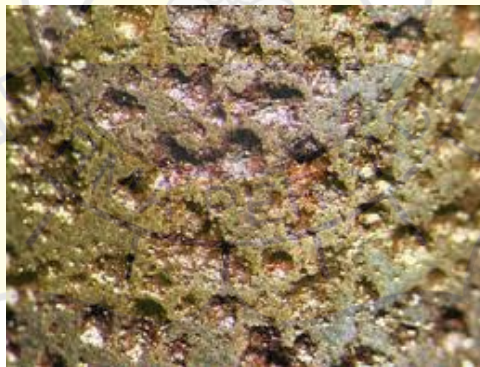
Terjadi karena keausan dan menimbulkan bagian atau sisi tajam dan kasar. Bagian inilah yang rawan terjadinya korosi, bisa juga diakibatkan karena fluida yang sangat deras dan dapat mengikis pelindung pada logam. Dan kondisi ini biasa terjadi pada pipa dan bagian propeller.



Gambar 2. 2 Korosi Erosi

3. Korosi sumur (Pitting Corrosion)

Dimana pada daerah batas timbul korosi berbentuk sumur yang disebabkan oleh komposisi logam yang tidak homogen. (Utomo, 2019)



Gambar 2. 3 Korosi Sumur

4. Korosi galvanis (Galvanic Corrosion)

Korosi yang terjadi akibat sambungan 2 logam dengan jenis yang berbeda dan berada pada lingkungan elektrolit saat terjadi kontak dimana kedua logam yang berbeda potensial tersebut akan menimbulkan aliran elektron/listrik diantara kedua logam. Sehingga salah satu logam yang terhubung akan mengalami korosi, sedangkan logam lainnya akan terlindungi dari serangan korosi. Dalam hal ini

logam yang memiliki potensial lebih positif mendapatkan sifat katodik dan sebaliknya logam dengan potensial negatif akan memiliki sifat anodic. (Ari wibowo, 2016)



Gambar 2. 4 Korosi Galvanis

5. Korosi tegangan (Stress Corrosion)

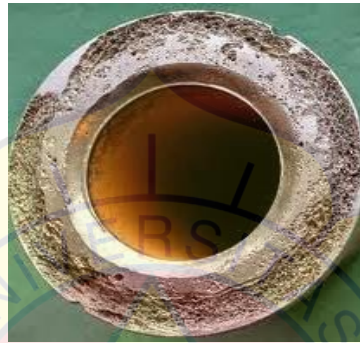
Diakibatkan berubahnya bentuk butiran logam karena mengalami perlakuan khusus seperti diregang maupun ditebuk, sehingga butiran menjadi tegang dan sangat mudah bereaksi dengan lingkungan



Gambar 2. 5 Korosi Tegangan

6. Korosi celah (Crevice Corrosion)

Terjadi akibat logam berdekatan dengan logam lain diantaranya terdapat celah yang menahan kotoran dan air sehingga konsentrasi oksigen pada mulut lebih kaya dibanding pada bagian dalam material, hal ini mengakibatkan bagian dalam lebih anodic dan bagian mulut menjadi katodic.



Gambar 2. 6 Korosi Celah

7. Korosi Mikrobiologi

Korosi yang terjadi karena mikroba Mikroorganisme yang mempengaruhi korosi antara lain bakteri, jamur, alga dan protozoa. Korosi ini bertanggung jawab terhadap degradasi material di lingkungan.



Gambar 2. 7 Korosi Mikrobiologi

8. Korosi lelah (Fatigue Corrosion)

Korosi yang terjadi akibat adanya beban siklus yang terus berulang sehingga semakin lama logam mengalami patah karena kelelahan logam



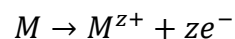
Gambar 2. 8 Korosi Lelah

2.1.2 Mekanisme Korosi

Korosi terjadi akibat dari penurunan kualitas suatu material yang terjadi akibat reaksi kimia bahan logam dengan unsur-unsur lain sebagai variabelnya seperti yang terdapat dalam (Sidiq, 2002). Korosi berdasarkan proses elektro-kimia terdiri dari 4 komponen yaitu:

a. Anoda

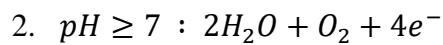
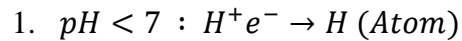
Anoda dapat terkorosi dengan melepaskan elektron dari atom yang terdapat pada logam netral untuk membentuk ion-ion. Ion-ion ini dapat tinggal dapat membentuk hasil korosi yang tidak larut karena ion-ion tetap tinggal dalam larutan dan menyebabkan reaksi.



Dengan z adalah valensi logam dan umumnya $z = 1, 2$, atau 3

b. Katoda

Katoda biasanya tidak mengalami proses korosi, walaupun dalam beberapa kasus akan terjadi beberapa kerusakan. Reaksi yang ada pada katoda dinamakan reaksi reduksi. Dan reaksi yang terjadi pada katoda umumnya tergantung pada pH dalam larutan yang bersangkutan, seperti :



c. Elektrolit

Merupakan larutan yang memiliki sifat menghantarkan listrik. Elektrolit sendiri dapat berupa larutan asam, basa, dan garam. Larutan elektrolit memiliki peranan yang penting dalam menyebabkan terkorosinya logam karena larutan ini dapat menjadikan penghubung listrik antara anoda dan katoda.

d. Anoda dan Katoda harus terhubung secara elektrik

Diantara anoda dan katoda harus ada hubungan antar listrik agar arus yang terdapat dalam sel korosi dapat mengalir

2.1.3 Thermodinamika Korosi

Dalam ilmu Thermodinamika, reaksi maupun transformasi dapat terjadi akibat energi bebas tinggi ke energi rendah. Besi dengan kondisi energi bebas tinggi cenderung berubah menjadi produk korosi yang mempunyai energi bebas rendah. (Sidiq, 2002) Tingkat terjadinya korosi pada logam dinyatakan dari perubahan energi bebas ΔG sedangkan untuk laju korosi dapat ditentukan oleh energi aktivasi ΔG^{++} dimana menunjukkan penghalang energi yang harus ditahan oleh Atom yang ada pada logam agar terjadi korosi. Laju reaksi korosi dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$\text{Laju} = \text{Tetapan laju} \times (\text{reaktan-reaktan})$$

Besaran dalam kurung menyatakan konsentrasi zat dan tetapan laju dapat dinyatakan dengan penghalang energi sebagai berikut :

$$\text{Tetapan laju} = \text{Ceksp} \left(\frac{-\Delta G^{++}}{RT} \right)$$

• Thermodinamika reaksi korosi

Faktor yang menyebabkan dan menentukan terjadinya korosi pada suatu bahan maupun material, antara lain :

- Semua hubungan antara unsur dan senyawa tergantung pada perubahan energi bebas.
- Perubahan yang terjadi secara alami dapat terjadi jika perubahan energi bebas negatif yaitu terjadinya pelepasan energi.
- Kebanyakan material ataupun benda logam cenderung terjadi korosi

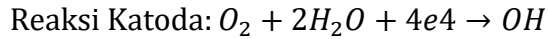
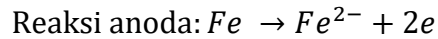
2.2 Laju Korosi

Laju korosi adalah tebal material yang hilang tiap satuan waktu yang disebabkan oleh adanya reaksi material terhadap bahan yang mampu mengkorosi. Satuan laju korosi disini bermacam macam sesuai satuan yang akan digunakan.dengan mm/th (standar internasional) atau mill/year (mpy, British). (Supriyanto, 2007). Karena hampir semua korosi adalah merupakan suatu reaksi elektrokimia, semua yang mempengaruhi kecepatan suatu reaksi kimia atau jumlah arus yang mengalir akan mempengaruhi laju korosi. Hukum Ohm dapat diterapkan untuk bagian elektrik dari sel korosi. Laju korosi berbanding lurus dengan sejumlah arus yang mengalir pada sel korosi elektrokimia. Jika arus dapat diukur, suatu kalkulasi yang tepat dari kehilangan metal dapat ditentukan. Ini berarti bahwa suatu pengukuran dalam ampere atau milliampere secara matematis dihitung dalam kilogram (pound) per tahun. Satu Amp tahun adalah satu Ampere yang mengalir selama periode satu tahun. Unsur logam yang berbeda memiliki laju korosi yang berbeda pula(Hutauruk, 2017).

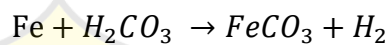
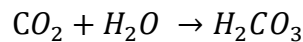
2.2.1 Faktor Yang Mempengaruhi Laju Korosi

Pada dasarnya korosi disebabkan oleh air, akan tetapi ada beberapa faktor lain yang dapat mempengaruhi laju korosi, diantaranya:

- a. Faktor Gas Terlarut
 - Oksigen (O^2)Adanya gas yang terlarut dalam hal ini Oksigen dapat menyebabkan korosi pada logam atau metal. Umumnya reaksi korosi pada besi terjadi karena adanya kelarutan dalam oksigen memiliki reaksi sebagai berikut:



- Karbondioksida (CO_2) Jika karbondioksida dilarutkan dalam air maka akan terbentuk asam karbonat yang dimana dapat menurunkan kadar pH air dan meningkatkan sifat korosifitas, dengan reaksi sebagai berikut :



b. Faktor Temperatur

Temperatur umumnya dapat menyebabkan bertambahnya laju korosi walaupun kenyataannya kelarutan oksigen berkurang dengan meningkatnya temperatur.

c. Faktor tingkatan pH

pH netral adalah 7, sedangkan $pH < 7$ bersifat asam dan korosif, untuk $pH > 7$ bersifat basa yang juga korosif. Akan tetapi untuk besi maupun baja, laju korosi rendah pada pH antara 7 sampai dengan 13. Dan laju korosi akan meningkat pada $pH < 7$ dan pada $pH > 13$.

d. Faktor Bakteri Pereduksi atau *Sulfat Reducing Bacteria*

Adanya bakteri pereduksi sulfat akan mereduksi ion sulfat menjadi gas H_2S , dimana jika gas tersebut bersentuhan dengan material logam akan menyebabkan terjadinya korosi.

2.3 ASTM

ASTM atau *American Society for Testing and Material* merupakan organisasi internasional yang mengembangkan standarisasi teknik untuk material, produk, sistem dan jasa yang berpusat di Amerika Serikat. Organisasi ini dibentuk pada tahun 1898 oleh sekelompok insinyur dan ilmuwan dalam rangka mengatasi bahan baku besi untuk rel kereta api yang selalu terjadi masalah. Dan saat ini ASTM telah banyak melakukan pengembangan sehingga

memiliki lebih dari 12.000 standar yang mengatur material, produk, sistem dan jasa. ASTM ini pun banyak digunakan pada negara-negara maju maupun berkembang untuk melakukan penelitian akademisi maupun industri. Dan pada penelitian ini menggunakan ASTM G31-72 yang merupakan standar untuk melakukan percobaan terhadap spesimen dengan metode kehilangan berat atau *weight loss*. Pada ASTM G31-72 dijelaskan prosedur dan faktor-faktor yang mempengaruhi mulai dari pencelupan spesimen dan partikel partikel tes metode kehilangan berat (ASTM G31 – 72, 2004).

2.4 Metode Kehilangan Berat

Metode kehilangan berat merupakan perhitungan untuk mengukur laju korosi dengan metode kekurangan berat akibat korosi yang terjadi pada suatu material ataupun logam. Metode ini menggunakan jangka waktu penelitian hingga mendapatkan jumlah kehilangan akibat korosi yang terjadi. Untuk mendapatkan jumlah kehilangan berat akibat korosi digunakan rumus sebagai berikut (Cicek, 2014):

$$\Delta W = W_0 - W_1$$

Keterangan :

- ΔW = Selisih berat (gram)
- W_0 = Berat sebelum diuji (gram)
- W_1 = Berat setelah diuji (gram)

Metode ini mengukur kembali berat awal benda uji (objek yang ingin diketahui laju korosi yang terjadi pada benda tersebut), kekurangan berat daripada berat awal merupakan nilai kehilangan berat. Kekurangan berat dikembalikan kedalam rumus untuk mendapatkan laju kehilangan beratnya (Fontana, 1986).

$$CR(mpy) = \frac{W \times K}{D A s T}$$

Keterangan:

- CR = Laju korosi (mmpy)
- W = Weight Loss (gram)
- K = Konstanta Faktor

D = Densitas Spesimen (g/mm³)

As = Luas Permukaan (mm²)

T = Waktu (jam)

$$CR(mpy) = \frac{87,6 \times W(mm)}{D.A.T}$$

Metode ini jika dijalankan dengan waktu yang lama dan sustainable dapat dijadikan acuan terhadap kondisi tempat specimen, juga dapat dijadikan referensi untuk treatment yang harus diterapkan pada daerah dan kondisi tempat specimen tersebut diteliti.

2.5 Salinitas

Salinitas adalah kadar ion-ion yang terlarut dalam air. Sementara salinitas air merupakan tingkat banyaknya kadar garam yang terlarut dalam air. Satuan dari salinitas bisa dinyatakan dalam gram garam per kilogram air, atau juga bisa dalam bagian per seribu (ppt atau ‰) (Royani et al., 2019). Dalam kehidupan sehari-hari air tawar memiliki sedikit garam, biasanya tidak lebih dari 0,5 ppt. Sedangkan air dengan salinitas 0,5-17 ppt disebut sebagai air payau, dan yang tertinggi adalah air laut dengan rata-rata 35 ppt akan tetapi dapat juga berkisar antara 30-40 ppt. Yang dapat disebabkan oleh perbedaan penguapan, curah hujan suatu lokasi, pembekuan dan limpasan air tawar dari tanah di lokasi yang berbeda. Salinitas air laut pun juga bervariasi dengan kedalaman air karena massa jenis air dan tekanan meningkat dengan kedalaman.

2.6 Pipa

Pipa adalah suatu batang silinder berongga yang dapat mengalirkan zat cair, uap, gas ataupun zat padat yang dapat dialirkan berjenis tepung / serbuk. Untuk pembuatan pipa disesuaikan dengan kebutuhan dan dibedakan dari batas kekuatan tekanan, ketebalan dinding pipa, temperature zat yang mengalir, jenis material berkaitan dengan korosi dan kekuatan pipa tersebut. (MSNursyahid, 2017)

Pipa adalah benda berbentuk lubang silinder dengan lubang di tengahnya yang terbuat dari logam maupun bahan – bahan lain sebagai sarana pengaliran

atau transportasi fluida berbentuk cair, gas maupun padat yang berjenis serbuk. Fluida yang mengalir ini memiliki temperature dan tekanan yang berbeda – beda. Pipa biasanya ditentukan berdasarkan nominalnya, sedangkan tube adalah salah satu jenis pipa yang ditetapkan berdasarkan diameter luarnya. (MSNursyahid, 2017)

Menurut penjabaran para ahli dan beberapa media penyedia informasi secara garis besar menjelaskan pipa merupakan benda berbentuk tabung atau silinder yang digunakan untuk mengalirkan suatu fluida maupun bubuk dari suatu sistem ke sistem lain yang dimana memiliki banyak jenis, ukuran, material maupun fungsi kegunaannya sesuai dengan kebutuhan dan tempat dimana pipa ingin dipasang.

2.7 Pipa Galvanis

Pipa baja galvanis adalah pipa baja dengan kandungan seng (Zn) dengan tingkat kemurnian tinggi sebesar (99,7%) ditambah dengan campuran sejumlah timah hitam dan aluminium dalam jumlah tertentu yang diproses dengan kondisi bebas oksidasi sehingga dapat menghasilkan baja dengan lapis seng yang berkualitas. Lapisan galvanis sendiri terbentuk oleh reaksi antara baja dengan seng pada temperatur galvanis. metalurgi baja dan kondisi permukaan dapat mempengaruhi ketebalan hasil galvanis. (Tri Wahyuningsih, Muhammad Syahril, 2000)

Baja galvanis memiliki sifat yang dapat memperbaiki goresan kecil, baja terekspos ke udara luar akan ditutup kembali oleh seng. Hal ini terjadi karena seng di sekitarnya akan terserap dan mengendap pada baja tersebut mengganti apa yang sebelumnya hilang karena goresan.

2.8 Peraturan Biro Klasifikasi Indonesia mengenai Ketebalan Pipa

Peraturan BKI mengenai system perpipaan terdapat pada BKI volume 3 section 11. Pada section ini dijelaskan peraturan mengenai valve, pitting dan pompa yang dibutuhkan untuk mengoperasikan system propulsi dan peralatan-peralatannya. Peraturan mengenai ketebalan minimum pipa sesuai dengan BKI volume 3 ditunjukkan pada tabel berikut (BKI, 2016) :

Tabel 2. 1 Peraturan Biro Klasifikasi Indonesia

Group N				Group M		Group D	
da	s	da	s	da	s	da	s
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
10,2	1,6	from 406,4	6,3	from 21,3	3,2	from 38,0	6,3
from 13,5	1,8	from 660,0	7,1	from 38,0	3,6	from 88,9	7,1
from 20,0	2,0	from 762,0	8,0	from 51,0	4,0	From 114,3	8,0
from 48,3	2,3	864,0	8,8	from 76,1	4,5	from 152,4	8,8
from 70,0	2,6	from 914,0	10,0	from 177,8	5,0	from 457,2	8,8
from 88,9	2,9			from 193,7	5,4		
from 114,3	3,2			from 219,1	5,9		
from 133,0	3,6			from 244,5	6,3		
from 152,4	4,0			from 660,5	7,1		
from 177,8	4,5			from 762,0	8,0		
from 244,5	5,0			863,6	8,8		
from 323,9	5,6			from 914,4	10,0		

Tabel 2. 2 Peraturan Biro Klasifikasi Indonesia

Pipe Outside Diameter	Minimum Wall Thickness
D_a (mm)	s (mm)
up to 17,2	1,0
up to 48,3	1,6
up to 88,9	2,0
up to 168,3	2,3
up to 219,1	2,6
up to 273,0	2,9
up to 406,0	3,6
over 406,0	4,0

Tabel 2. 3 Peraturan Biro Klasifikasi Indonesia

Pipe outside diameter d_a [mm]	Minimum Wall Thickness S [mm]	
	Copper	Copper Alloys
8 – 10	1,0	0,8
12 – 20	1,2	1,0
25 – 44,5	1,5	1,2
50 – 76,1	2,0	1,5
88,9 – 108	2,5	2,0
133 – 159	3,0	2,5
193,7 – 267	3,5	3,0
273 – 457,2	4,0	3,5
(470)	4,0	3,5

508	4,5	4,0
-----	-----	-----

2.9 Pengelasan

Pengelasan adalah penyambungan dua buah logam menjadi satu dilakukan dengan jalan pemanasan atau pelumeran. Kedua ujung logam yang akan disambungkan dibuat lumer atau dilelehkan dengan busur nyala atau dengan logam itu sendiri sehingga kedua ujung atau bidang logam merupakan bidang masa yang kuat tidak mudah dipisahkan (Arifin et al., 2017). Jenis pengelasan dibedakan menjadi dua kelompok yaitu pengelasan lebur dan padat. Adapun macamnya yaitu Pengelasan busur (Arc Welding, AW), Pengelasan Resistansi Listrik (Resistance Welding, RW), Pengelasan Gas (Oxyfuel Gas Welding, OFW), dan macam pengelasan padat yaitu 6 Pengelasan Difusi (Diffusion Welding, DFW), Pengelasan Gesek (Friction Welding, FW), Pengelasan Ultrasonik (Ultrasonic Welding, UW).

Pada saat ini diketahui terdapat 40 jenis pengelasan, dari seluruh jenis pengelasan terdapat 2 yang populer dipakai di Indonesia, yaitu pengelasan dengan nyala listrik (*Shield Metal Arc Welding/SMAW*) dan las karbit (*Oxy Octylene Welding/OAW*). Sedangkan yang umumnya dipakai dalam pengelasan sistem dikapal-pun terdapat 2 jenis yaitu (*Shield Metal Arc Welding/SMAW*) Atau menggunakan mesin las (*Flux-core Arc Welding/FCAW*)

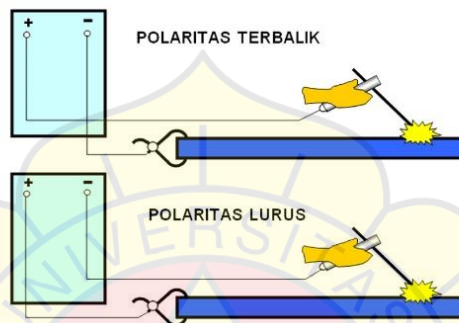
2.9.1 Jenis Pengelasan

1. *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW)

SMAW adalah salah satu jenis pengelasan yang menggunakan loncatan electron (busur listrik) sebagai sumber panas untuk pencairan logam. Suhu busur dapat mencapai 3300 ° C , jauh diatas titik lebur baja , sehingga dapat mencairkan baja secara serta merta/cepat (instant). SMAW dapat menggunakan arus listrik bolak balik (AC = alternating current) maupun arus searah (DC = direct current) . Jika arus bolak balik yang digunakan tidak ada kutub kutup, sebaliknya apabila arus

searah yang digunakan maka digunakan kutub kutup + dan - . Kondisi ini disebut polaritas .

Terdapat dua jenis polaritas untuk pengelasan, yakni straight polarity / polaritas lurus, dimana elektroda bermuatan (-) dan bahan induk bermuatan (+), dan polaritas terbalik, dimana elektroda bermuatan + dan bahan induk bermuatan - .

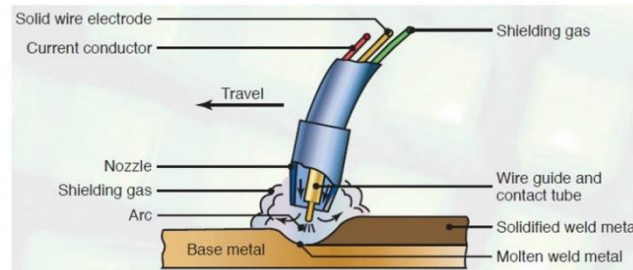


Gambar 2. 9 Shield Metal Arc Welding

2. Gas Metal Arc Welding (GMAW)

Proses pengelasan GMAW merupakan pengelasan dengan proses pencairan logam. Proses pencairan logam ini terbentuk karena adanya busur las yang terbentuk diantara kawat las dengan benda kerja. Ketika kawat las didekatkan dengan benda kerja maka terjadilah busur las (menghasilkan panas) yang mampu mencairkan kedua logam tersebut (kawat las + benda kerja), sehingga akan mencair bersamaan dan akan membentuk suatu sambungan yang tetap. Dalam proses ini gas pelindung yang berupa gas akan melindungi las dari udara luar hingga terbentuk suatu sambungan yang tetap. Proses pengelasan GMAW menggunakan arus searah (DC) dengan posisi elektroda pada kutub positif, hal ini sering disebut sebagai polaritas terbalik. Polaritas searah

jarang digunakan dalam proses pengelasan dikarenakan dalam proses ini transfer logam tidak terjadi secara sempurna.



Gambar 2. 10 Gas Metal Arc Welding

3. Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)

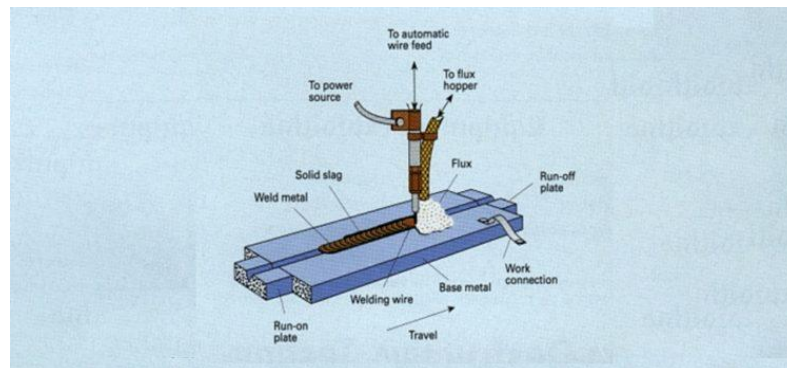
gas tungsten arc welding (GTAW) adalah proses las busur yang menggunakan busur antara tungsten elektroda (non konsumsi) dan titik pengelasan. Proses ini digunakan dengan perlindungan gas dan tanpa penerapan tekanan. Proses ini dapat digunakan dengan atau tanpa penambahan filler metal. Prinsipnya Panas dari busur terjadi diantara elektrode tungsten dan logam induk akan meleburkan logam pengisi ke logam induk di mana busurnya dilindungi oleh gas mulia (Ar atau He).



Gambar 2. 11 Gas Tungsten Arc Welding

3. Submerged Arc Welding (SAW)

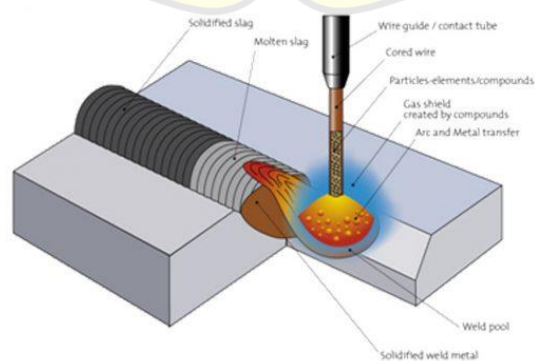
SAW adalah salah satu jenis las listrik dengan proses memadukan material yang dilas dengan cara memanaskan dan mencairkan metal induk dan elektroda oleh busur listrik yang terletak diantara metal induk dan elektroda. Arus dan busur lelehan metal diselimuti (ditimbun) dengan butiran flux di atas daerah yang dilas.



Gambar 2. 12 Submerged Arc Welding

4. Flux-Cored Arc Welding

Flux cored arc welding (FCAW) merupakan las busur listrik fluk inti tengah / pelindung inti tengah. FCAW merupakan kombinasi antara proses SMAW, GMAW dan SAW. Sumber energi pengelasan yaitu dengan menggunakan arus listrik AC atau DC dari pembangkit listrik atau melalui trafo dan atau rectifier. FCAW adalah salah satu jenis las listrik yang memasok filler elektroda secara mekanis terus ke dalam busur listrik yang terbentuk di antara ujung filler elektroda dan metal induk. Gas pelindungnya juga sama-sama menggunakan karbon dioxida CO₂. Biasanya, pada mesin las FCAW ditambah robot yang bertugas untuk menjalankan pengelasan biasa disebut dengan super anemo.



Gambar 2. 13 Flux-cored Arc Welding

2.9.2 Desain Sambungan Las

Desain sambungan las (*welding joint*), serta bentuk dan ukuran las dalam konstruksi perancangan sambungan las adalah:

- a. Persyaratan kekuatan las yang diinginkan.
- b. Bentuk dan ukuran pengelasan.
- c. Tegangan timbul akibat pengelasan, maupun yang diperhitungkan akan timbul akibat proses pengelasan.
- d. Jenis proses las dan bahan yang akan dipergunakan.

Dari beberapa sumber dapat ditetapkan ada standar yang mengatur jenis-jenis sambungan, ada sembilan jenis diantaranya:

Jenis	Sambungan Tumpang (Lap Joint)	Sambungan T (Tee Joint)	Sambungan Tumpul (Butt Joint)	Sambungan Sudut (Corner joint)	Sambungan Sisi (Edge Joint)
Posisi					
Flat					
Horizontal					
Vertikal					
di Atas Kepala					

Gambar 2. 14 Jenis alur sambungan las (Harsono, 2000)

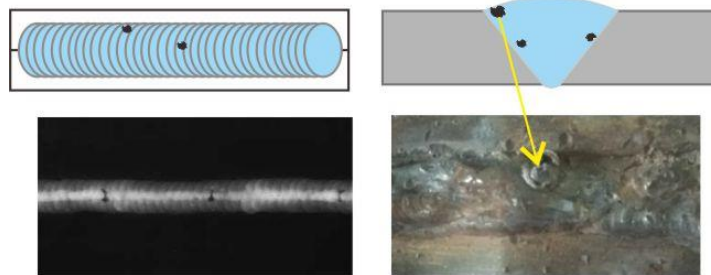
2.9.3 Cacat Las

Cacat las atau welding defect biasa terjadi pada bagian luar yang bisa dilihat mata/visual dan juga ada cacat las dalam/internal defect atau yang terjadi di dalam hasil las. Dalam hal berikut cacat las terdapat berbagai macam jenisnya seperti :

1. Slag Inclusion

Pengertian slag adalah terak, cacat las ini kemungkinan besar terjadi pada jenis proses pengelasan yang memiliki terak seperti SMAW dan FCAW. Seharusnya slag itu melindungi hasil pengelasan dari udara dan ketika dia tertinggal didalam/terjebak maka itu menjadikan cacat las slag inclusion.

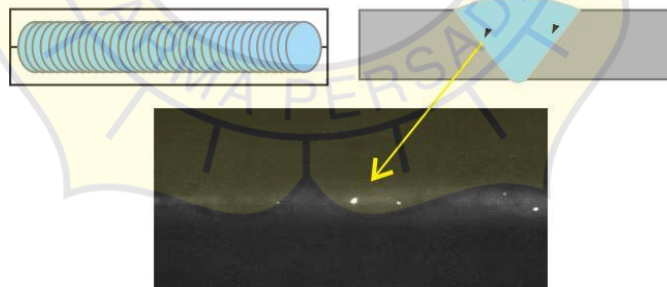
ada Proses GMAW juga ada teraknya, namanya silica. Silica ini bisa menjadi penyebab terjadinya slag inclusion.



Gambar 2. 15 Slag Inclusion

2. Tungsten Inclusion

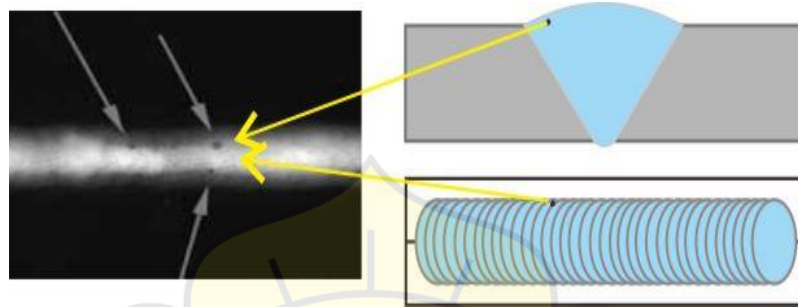
Tungsten inclusion adalah sebuah cacat las yang hanya ada di proses las GTAW saja. Tungsten Inclusion disebabkan oleh patahnya ujung tungsten saat pengelasan GTAW dan tertinggal didalam deposit hasil las. Tungsten GTAW memiliki titik lebur yang lebih tinggi dibanding material besi baja, jadi ketika dia patah maka tungsten tidak akan ikut lebur, dia tertinggal didalam desposit las menjadi tungsten inclusion.



Gambar 2. 16 Tungsten Inclusion

3. Porosity

Bentuk dari cacat las porosity adalah lubang-lubang kecil pada deposit hasil lasan di base material yang menyerupai kropos atau sarang semut. Penyebab utama cacat las porosity pada las SMAW berbeda dengan Las argon/CO.

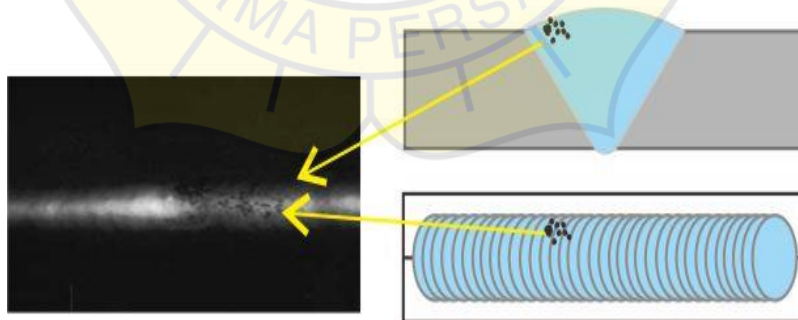


Gambar 2. 17 Porosity

4. Cluster Porosity

Cacat las porosity/cluster porosity bisa terjadi di bagian root ataupun di bagian capping. Termasuk ke dalam cacat las yang tidak bisa di tolerir.

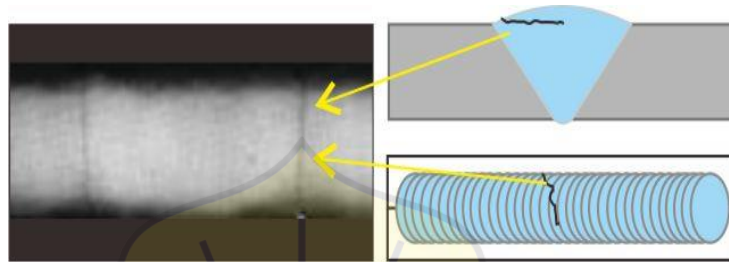
Cara mengatasi cacat cluster porosity adalah selain kawat las dan gas yang harus diperhatikan.



Gambar 2. 18 Cluster Porosity

5. Crack

Terjadinya cacat las ini diakibatkan retaknya material hasil las pada daerah lasan atau pada daerah HAZ. Umumnya dikarenakan oleh pendinginan cepat setelah dilas. Pada baja karbon, kelebihan unsur karbon juga bisa menjadi penyebab.



Gambar 2. 19 Crack

6. Underfill

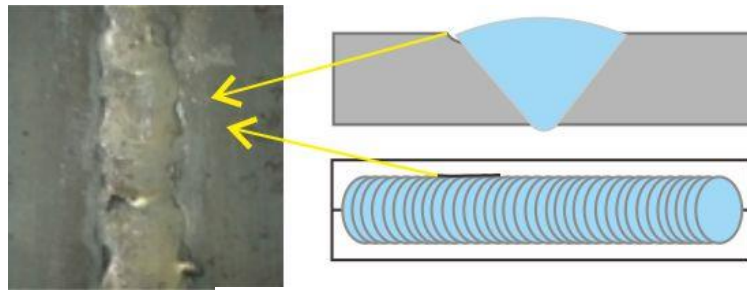
Underfill merupakan jenis cacat pengelasan karena kurangnya pengisian logam las pada jalur lasan. Penyebab dari *underfill* terjadi karena ampere terlalu rendah dibarengi dengan *travel speed* terlalu tinggi dan wide bead tidak sesuai sehingga jalur lasan belum cukup terisi.



Gambar 2. 20 Underfill

7. Undercut

Cacat *undercut* sering sekali terjadi di semua proses las listrik. Terutama pada welder/juru las junior. Penyebabnya cacat *undercut* adalah penggunaan ampere yang sangat tinggi dibarengi dengan gerakan *travel speed* pengelasan yang sangat cepat dan tidak memberi kesempatan filler metal mengisi lajur las dengan sempurna.



Gambar 2. 21 Undercut

8. Burn Through

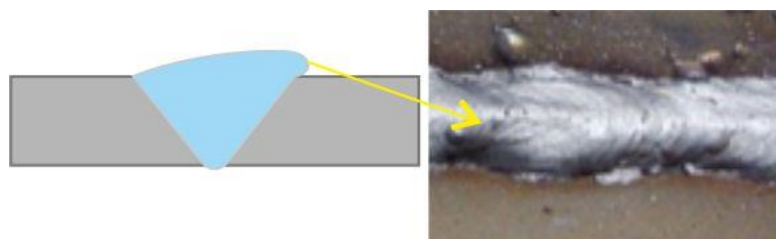
Cacat las *burn-trough* terjadi ketika pengelasan mencapai pada temperatur yang sangat tinggi sehingga menyebabkan logam deposit las membakar area pengelasan dan membentuk gumpalan lelehan yang melorot/jeblos mengikuti gravitasi.



Gambar 2. 22 Burn Through

9. Overlap

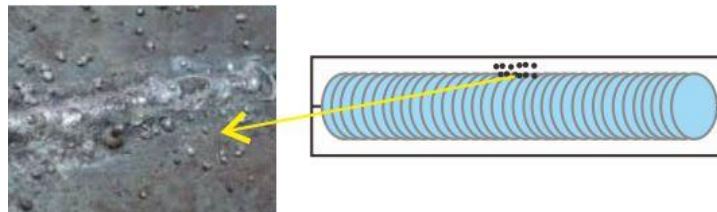
Cacat las *overlap* dikenal juga dengan nama *cold lap* adalah kondisi ketika didalam pengelasan logam pengisi (*filler* atau elektroda) tidak melebur sempurna pada logam dasar.



Gambar 2. 23 Overlap

10. Spatter

Spatter disebut juga dengan percikan las/logam panas yang menempel pada base material. Jika terlalu banyak maka daerah bekas *spatter* akan mengalami *crack*.



Gambar 2. 24 Spatter

2.10 Elektroda

Pengelasan dengan menggunakan las busur listrik memerlukan kawat las (Elektroda) yang terdiri dari suatu inti terbuat dari suatu logam dilapisi oleh lapisan yang terbuat dari campuran zat kimia, selain berfungsi sebagai pembangkit, elektroda juga sebagai bahan tambah. Elektroda terdiri dari dua jenis bagian yaitu bagian yang bersalut (fluks) dan tidak bersalut yang merupakan pangkal untuk menjepitkan tang las. Fungsi fluks atau lapisan elektroda dalam las adalah untuk melindungi logam cair dari lingkungan udara menghasilkan gas pelindung, menstabilkan busur, sumber unsur paduan.

Pada dasarnya bila ditinjau dari logam yang dilas, kawat elektroda dibedakan menjadi elektroda untuk baja lunak, baja karbon tinggi, baja paduan, besi tuang, dan logam non ferro. Bahan elektroda harus mempunyai kesamaan sifat dengan logam (Suharto; 1991). Pemilihan elektroda pada pengelasan baja karbon sedang dan baja karbon tinggi harus benar-benar diperhatikan apabila kekuatan las diharuskan sama dengan kekuatan material.

2.10.1 Jenis-jenis Elektroda Baja Lunak

Pada dasarnya jenis inti kawat las baja lunak terbuat dari bahan yang sama, perbedaannya terletak pada jenis selaputnya atau fluxnya.

1. Elektroda E 6010 dan E 6011

Elektroda ini adalah jenis elektroda selaput selulosa yang dapat dipakai untuk pengelesan dengan penembusan yang dalam. Pengelasan dapat pada segala posisi dan terak yang tipis dapat dengan mudah dibersihkan. E 6010 digunakan dengan mesin las arus DC, sedangkan E 6011 bisa digunakan dengan arus AC dan DC . Jenis elektroda las ini dapat digunakan pada permukaan yang tidak bersih, terdapat cat, dan galvanis. Cocok untuk gouging pada pekerjaan cutting dan welding repair di workshop fabrikasi.



Gambar 2. 25 Elektroda E6010

Elektroda E 6012 dan E 6013

Elektroda jenis ini termasuk jenis selaput rutil yang dapat menghasilkan penembusan sedang. Keduanya dapat dipakai untuk pengelasan segala posisi, tetapi kebanyakan jenis E 6013 sangat baik untuk posisi pengelesan tegak arah ke bawah atau las downhill.

Jenis E 6012 umumnya dapat di pakai pada ampere yang relatif lebih tinggi dari E 6013. Jenis elektroda ini mengandung lebih banyak Kalium memudahkan pemakaian pada voltage mesin yang rendah. Elektroda dengan diameter kecil kebanyakan dipakai untuk pangelasan pelat tipis.



Gambar 2. 26 Elektroda E6012

2. Elektroda E 6020

Elektroda jenis ini dapat menghasilkan penembusan las sedang dan teraknya mudah dilepas dari lapisan las. Selaput elektroda terutama mengandung oksida besi dan mangan. Cairan terak yang terlalu cair dan mudah mengalir cocok untuk pengelasan datar tapi menyulitkan pada pengelasan dengan posisi lain misalnya posisi vertikal dan overhead.

3. Elektroda Selaput Serbuk Besi

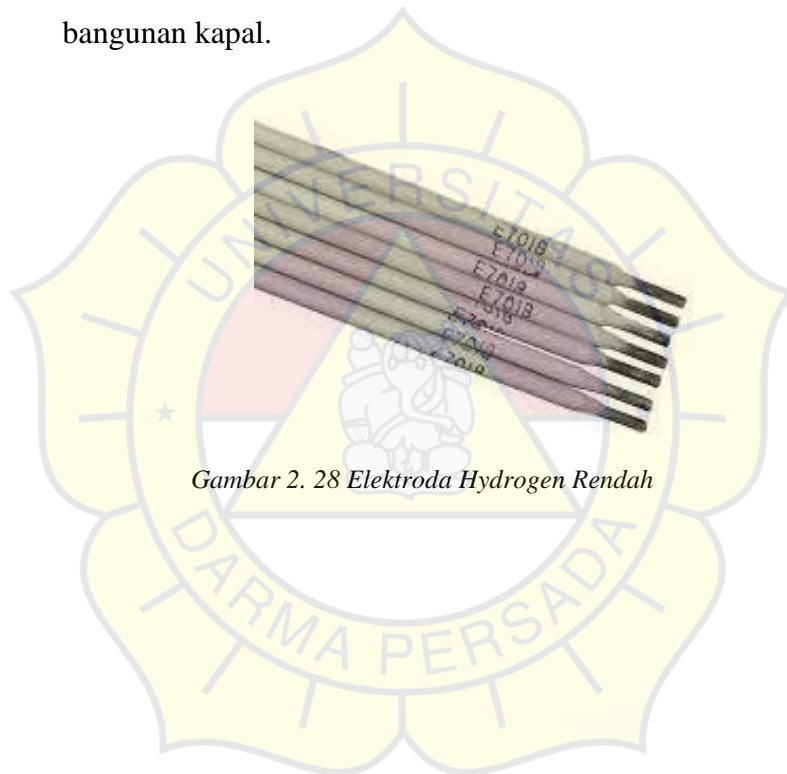
Elektroda jenis ini antara lain: E 6027, E 7014, E 7024 dan E 7028. Mengandung serbuk besi untuk meningkatkan efisiensi pengelasan. Umumnya selaput elektroda akan lebih tebal dengan bertambahnya persentase serbuk besi. Dengan adanya serbuk besi dan bertambah tebalnya selaput, pengelasan akan memerlukan ampere yang lebih tinggi.



Gambar 2. 27 Elektroda Selaput Serbuk Besi

4. Elektroda Hydrogen Rendah

Elektroda jenis ini antara lain: E 7015, E 7016 dan E 7018. Selaput elektroda jenis ini mengandung hydrogen yang rendah (kurang dari 0,5 %), sehingga deposit las dapat bebas dari porositas. Elektroda ini dipakai untuk pengelasan yang memerlukan mutu tinggi dan bebas porositas, misalnya untuk pengelasan bejana dan pipa yang bertekanan. Penggunaan elektroda / kawat las ini banyak dipakai di workshop fabrikasi, konstruksi baja, proyek piping migas, dan pengelasan bangunan kapal.



Gambar 2. 28 Elektroda Hydrogen Rendah