

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Korosi

Korosi merupakan hal umum yang terjadi pada kehidupan terutama dibidang perindustrian. Korosi merupakan fenomena alami yang terjadi pada kebanyakan material atau unsur yang memiliki kandungan logam, dimana diasalkan oleh reaksi kimia atau elektrokima terhadap lingkungan sekitar. Dan dilaut dengan kandungan *NaCl* yang merupakan larutan elektrolit. Logam dalam lingkungan elektrolitik bertindak sebagai anoda, katoda, dan bahkan konektor listrik, dan laju korosi itu sendiri diatur oleh dua reaksi elektrokimia yang berlawanan.

Korosi sendiri adalah salah satu musuh terbesar dalam duni industri khususnya industri pembangunan kapal seperti galangan, hal yang terjadi pada suatu material yang terkorosi adalah berkurangnya ketahanan pada material tersebut sehingga menyebabkan tingginya biaya dalam proses reparasi yang tidak sesuai perkiraan.

2.1.1 Korosi Yang Terjadi Pada Pipa

1. Korosi seragam (Uniform Attack)

Merupakan korosi pada permukaan material 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)

Hal ini disebabkan oleh abrasi yang mengakibatkan sisi dari material logam tajam dan kasar. Bagian inilah yang rentan terkorosi, bisa juga akibat aliran fluida yang intens sehingga dapat mengikis pelindung pada material metal. Dan kondisi tersebut biasa terjadi dibagian pipa maupun propeller kapal.



Gambar 2. 2 Korosi Erosi

3. Korosi sumur (Pitting Corrosion)

Korosi yang berawal dari batas material dimana muncul 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 Galvanic Corrosion

5. Korosi tegangan (Stress Corrosion)

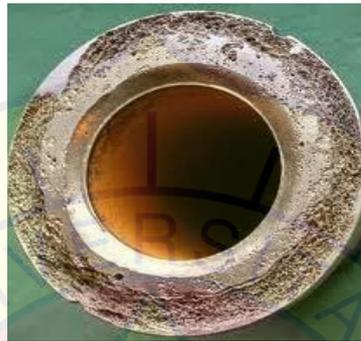
Diakibatkan berubahnya bentuk butiran dari logam karena mengalami perlakuan tersendiri seperti diregang maupun ditekuk, sehingga butiran bereaksi terhadap lingkungan dimana material dipasang.



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 lapisan didalam lebih anodic dan lapisan pada mulut menjadi katodic.



Gambar 2. 6 Korosi Celah

7. Korosi Mikrobiologi

Korosi yang disebabkan oleh mikroba. mikroba yang menjadi penyebab terjadinya korosi yaitu, jamur, alga, bakteri dan juga protozoa. Hal ini yang mengambil peran pada terdegradasi nya material yang ada di suatu lingkungan sehingga menyebabkan korosi.



Gambar 2. 7 Korosi Mikrobiologi

8. Korosi lelah (*Fatigue Corrosion*)

Terbentuk sebab adanya siklus yang terjadi secara terus menerus dan seiring waktu material metal patah akibat kelelahan.



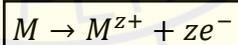
Gambar 2. 8 Korosi Lelah

2.1.2 Mekanisme Korosi

Korosi terbentuk karena penurunan kualitas suatu material yang terjadi akibat reaksi kimia bahan metal kepada unsur-unsur lain sebagai variabelnya seperti di alam (Sidiq, 2002). Korosi dilihat dari proses elektrokimia memiliki 4 komponen pendukung yaitu:

a. Anode

Anode dapat terkorosi dari atom yang melepaskan elektron yang terdapat pada ion-ion yang membentuk metal netral. Ion-ion tersebut dapat menetap dan membentuk korosi dikarenakan ion-ion tetap tinggal dalam larutan dan menyebabkan reaksi.



Dengan z merupakan kekuatan dari ikatan metal dan $z = 1, 2,$ atau 3

b. Katode

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 :

1. $pH < 7 : H^{+}e^{-} \rightarrow H$ (Atom)
2. $pH \geq 7 : 2H_2O + O_2 + 4e^{-}$

c. Elektrolit

Melambangkan senyawa yang memiliki karakteristik konduktif akan elektrik. Elektrolit sendiri dapat berupa senyawa basa, asam maupun garam. Senyawa elektrolit memiliki peranan yang penting dalam menyebabkan terkorosinya metal karena larutan ini dapat menjadi penghubung elektrik diantara anode dan katode.

d. Anode dan Katode terkonduktivitas secara elektris

Diantara anode maupun katode harus memiliki hubungan antar elektrik agar aliran 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 korosi yang terjadi terhadap logam dapat ditentukan dari perubahan energi bebas ΔG sedangkan untuk *corrosion rate* dapat ditentukan dari aktivasi energi ΔG^{++} dimana Atom menghalang energi yang ditunjukkan untuknya yang ada pada logam agar korosi terbentuk. Laju dari reaksi korosi ditentukan menggunakan rumus:

$$Laju = Tetapan\ laju \times (reaktan-reaktan)$$

Kuantitas yang tertera menyatakan pemusatan zat dan konstanta laju dinyatakan dengan penghalang energi sebagai berikut :

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

- Thermodinamika reaksi korosi

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

- Semua hubungan antara unsur serta larutan 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

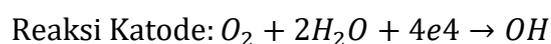
Laju korosi adalah tebal material yang hilang tiap satuan waktu yang disebabkan oleh adanya reaksi material terhadap bahan yang mampu mengkorosi. Satuan laju korosi di sini bervariasi dalam mm/th (standar internasional) atau mils/tahun (mpy, UK) tergantung pada unit yang digunakan. (Supriyanto, 2007). Umumnya korosi melambangkan reaksi elektrokimia, sehingga apapun yang dapat mempengaruhi laju reaksi dari kimia atau besarnya arus yang mengalir akan mempengaruhi laju korosi. Hukum Ohm dapat diterapkan pada komponen elektrik dari sel korosi. *Corrosion rate* berbanding lurus dengan jumlah arus yang mengalir melalui sel korosi elektrokimia. Jika kita dapat mengukur arus, kita dapat menentukan perhitungan yang akurat dari kehilangan logam. Ini menandakan bahwa pengukuran dalam satuan ampere atau miliampere dihitung dalam Kg/thn. Satu ampere per tahun dapat diartikan satu ampere yang mengalir dalam satu tahun. Elemen metal yang berbeda mempunyai beragam tingkat korosi (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:

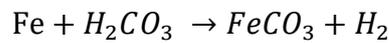
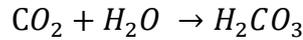
a. Faktor Gas Terlarut

- 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 unsur ini dicampurkan dengan media air maka akan menjadi asam karbonat dimana menyebabkan turunnya kadar pH dari

air dan dapat menyebabkan meningkatnya sifat korosifitas, dengan reaksi sebagai berikut :



b. Faktor Suhu

Temperatur atau suhu umumnya dapat menyebabkan bertambahnya *corrosion rate* walaupun faktanya kelarutan dari oksigen berkurang dengan meningkatnya suhu.

c. Faktor tingkatan pH

Tingkat pH Netral adalah pH 7, tetapi pH 7 bersifat basa yang juga korosif. Namun, untuk baja maupun logam, laju korosi lebih rendah pada pH 7-13. Juga, laju korosi meningkat pada pH 13.

d. Variabel Patogen Pereduksi atau *Sulfate-Reducing Bacteria* (SRB)

Kehadiran dari patogen pereduksi sulfat mereduksi ion sulfat menjadi gas H₂S dan gas ini dapat menyebabkan terjadinya korosi ketika kontak dengan bahan logam..

2.3 ASTM

ASTM atau *American Society for Testing and Material* Sebuah organisasi internasional yang berbasis di Amerika serikat (AS) yang mengembangkan standar teknis untuk bahan, produk, material, sistem, dan layanan. Organisasi ini didirikan di tahun 1898 oleh kumpulan insinyur dan ilmuwan guna memecahkan masalah bahan baku metal untuk kereta api. Dan pada masa ini, ASTM telah berkembang secara signifikan, dengan lebih dari 12.000 standar yang mengatur bahan, produk, sistem, dan layanan. ASTM juga banyak digunakan untuk melakukan penelitian akademis dan industri di negara maju maupun negara berkembang. Dan penelitian ini menggunakan ASTM G31-72 yang merupakan standar untuk melakukan eksperimen pada sampel menggunakan metode weight loss. Dalam ASTM G31-72, prosedur maupun faktor-faktor yang mempengaruhinya dimulai dengan perendaman sampel saat uji coba dimulai dan partikel hingga prosedur uji penurunan berat. (ASTM G31 – 72, 2004).

2.4 Metode Kehilangan Berat (*Weight Loss*)

Metode ini merupakan perhitungan yang mengukur laju korosi dengan menggunakan metode weight loss akibat korosi yang terjadi pada material dan logam. Metode ini menggunakan masa studi atau waktu uji coba untuk mengetahui besarnya rugi-rugi ataupun laju korosi yang terjadi. Untuk mendapatkan hasil kehilangan berat akibat korosi digunakan perhitungan 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 (Cicek, 2014).

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

Keterangan:

CR = Laju korosi (mmpy)

W = Weight Loss (gram)

K = Konstanta Faktor

D = Densitas Spesimen (g/mm³)

A_s = Luas Permukaan (mm²)

T = Waktu (jam)

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

Metode ini, jika dipraktikkan secara konsisten dari waktu ke waktu, dapat digunakan sebagai acuan untuk keadaan lokasi sampel dan juga untuk perlakuan yang harus diterapkan pada area dan kondisi tempat sampel berada.

2.5 Salinitas

Salinitas adalah konsentrasi ion yang terlarut dalam air. Salinitas air, di sisi lain, adalah jumlah garam yang terlarut dalam air. Satuan salinitas dapat dinyatakan dalam gram atau seperseribu garam per kilogram air. (ppt atau ‰) (Royani et al., 2019). Dalam kehidupan sehari-hari, air tawar mengandung sedikit garam, biasanya kurang dari 0,5 ppt. Air dengan salinitas antara 0,5 dan 17 ppt dianggap air payau, sedangkan air laut paling tinggi dengan rata-rata 35 ppt dan berkisar antara 30 dan 40 ppt. Hal ini dapat disebabkan oleh penguapan yang berbeda, curah hujan di satu tempat, pembekuan dan limpasan air tawar dari tanah di tempat yang berbeda. Karena kepadatan dan tekanan air meningkat dengan kedalaman, salinitas air laut juga bervariasi dengan kedalaman..

2.6 Pipa

Pipa adalah Batang silinder berongga yang dilalui cairan, uap, gas, atau padatan seperti tepung/bubuk. Ketika pembuat pipa dapat disesuaikan dengan persyaratan yang dibutuhkan, perbedaan dibuat antara ketahanan tekanan, ketebalan dinding pipa, suhu dari zat yang mengalir pada material, jenis material yang berisiko korosi dan batas kekuatan pipa.(MSNursyahid, 2017)

Pipa adalah benda **silindris**, berbentuk lubang dengan lubang di **tengahnya**, terbuat dari logam atau bahan **lain**, untuk mengalirkan atau mengangkut zat cair dalam bentuk **padat berupa zat** cair, gas, atau serbuk. Fluida yang mengalir ini memiliki temperatur dan tekanan yang berbeda. Jenis dari suatu pipa biasanya ditentukan oleh nilai nominalnya, sedangkan tube ditentukan oleh 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 galvanis berkualitas tinggi yang dibuat dengan mencampurkan seng (Zn) kemurnian tinggi (99,7%) dengan timah dan aluminium dalam jumlah tertentu dalam keadaan tidak teroksidasi. Lapisan galvanik itu sendiri dibentuk oleh reaksi antara baja dan seng pada suhu galvanik. Metalurgi baja dan kondisi permukaan dapat mempengaruhi ketebalan elektroplating yang dihasilkan. (Tri Wahyuningsih, Muhammad Syahril, 2000)

Baja galvanis memiliki sifat memperbaiki goresan kecil, dan baja yang terbuka dilapisi kembali dengan seng. Ini terjadi karena seng di sekitarnya diserap dan disisipkan ke dalam baja, menggantikan apa yang sebelumnya hilang dalam ketika terjadinya goresan. (Coni et al., 2009).

2.8 Peraturan Biro Klasifikasi Indonesia mengenai Ketebalan Pipa

Peraturan BKI untuk sistem perpipaan terdapat dalam BKI Volume 3 Bagian 11. Bagian ini menjelaskan persyaratan katup, lubang, dan pemompaan yang diperlukan untuk mengoperasikan pada sistem propulsi dan peralatannya. Peraturan BKI Volume 3 untuk ketebalan pipa minimum ditunjukkan pada tabel di bawah ini. (BKI, 2016):

Tabel 2. 1 Peraturan Biro Klasifikasi Indonesia

Group N		Group M		Group D			
da	s	da	s	da	s		
(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 D_a (mm)	Minimum Wall Thickness 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 logam dengan pemanasan atau peleburan. Ujung-ujung logam yang akan disambung dilebur yang akan dilebur dengan busur atau logam itu sendiri sedemikian rupa sehingga terdapat medan massa yang kuat di mana ujung atau bagian logam tersebut tidak mudah lepas. (Arifin et al., 2017). Jenis las dibagi menjadi dua kelompok: las fusi dan las padat. adapun macam jenisnya seperti pengelasan busur (AW), pengelasan hambatan elektrik (RW), pengelasan oxyfuel (OFW), dan juga pengelasan solid state atau pengelasan difusi (DFW), pengelasan gesekan (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

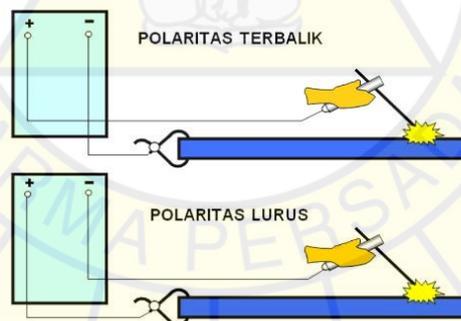
dengan nyala listrik (*Shield Metal Arc Welding/SMAW*) dan las karbit (*Oxy Octylene Welding/OAW*). Sedangkan yang umumnya dipakai dalam pengelasan sistem dikapal-pun terdapat 2 jenis yaitu (*Shield Metal Arc Welding/SMAW*) Atau menggunakan mesin las (*Flux-core Arc Welding/FCAW*)

2.9.1 Jenis Pengelasan

1. *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW)

SMAW adalah proses pengelasan yang menggunakan elektron loncatan (busur) sebagai sumber panas untuk melelehkan logam. Temperatur busur dapat mencapai 3300 °C, yang jauh di atas titik leleh baja dan dapat melelehkan baja secara instan (seketika). SMAW dapat menggunakan arus bolak-balik (AC = arus bolak-balik) atau arus searah (DC = arus searah). Saat menggunakan AC tidak ada kutub, saat menggunakan DC menggunakan kutub + dan -. Keadaan ini disebut polaritas. (Iswanto et al., 2017)

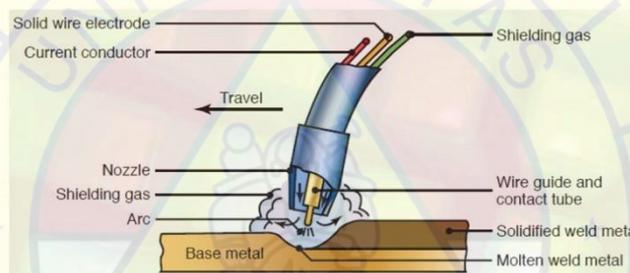
Ada dua jenis polaritas pengelasan: polaritas positif, di mana elektroda adalah (-) dan bahan dasarnya adalah (+), dan polaritas yang berlawanan, di mana elektroda adalah + dan bahan dasarnya adalah -.



Gambar 2. 9 *Shield Metal Arc Welding*

2. *Gas Metal Arc Welding (GMAW)*

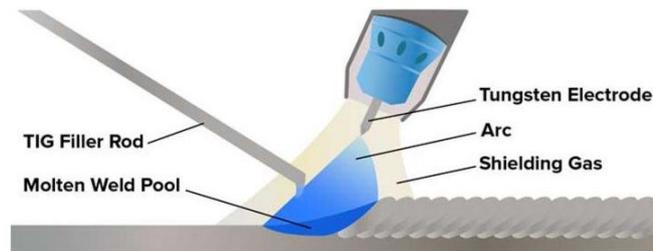
Proses pengelasan GMAW adalah jenis pengelasan fusi logam. Proses peleburan logam ini dilakukan dengan busur las yang terbentuk antara kawat las dan benda kerja. Ketika kawat berinti fluks didekatkan ke benda kerja, busur las (yang menghasilkan panas) dihasilkan, melelehkan dua logam (kawat berinti fluks + benda kerja) menjadi ikatan permanen. Gas pelindung berbentuk gas melindungi lapisan las dari atmosfer dan memastikan sambungan permanen. Proses pengelasan GMAW menggunakan arus searah (DC) dengan posisi elektroda pada kutub positif. Ini sering disebut polaritas terbalik. Polaritas searah jarang digunakan dalam proses pengelasan karena transfer logam tidak lengkap atau tidak sempurna dalam proses ini.



Gambar 2. 10 Gas Metal Arc Welding

3. *Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)*

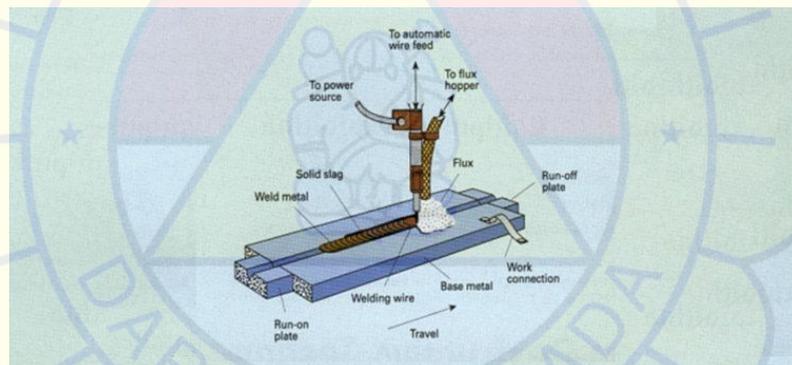
Ialah pengelasan yang menggunakan busur antara elektroda tungsten (tidak habis pakai) dan titik las. Proses ini dilakukan di bawah gas pelindung dan tanpa tekanan. Metode ini dapat digunakan dengan atau tanpa penambahan filler metal. Pada dasarnya panas dari busur terjadi diantara elektroda tungsten dan logam induk akan meleburkan logam pengisi ke logam induk di mana busurnya dilindungi oleh gas mulia (Ar atau He) (Gabriyel Aditya Yudi, Sri Mulyo Bondan Respati, 2008).



Gambar 2. 11 Gas Tungsten Arc Welding

3. Submerged Arc Welding (SAW)

SAW ialah jenis las busur yang menerapkan busur antara bahan dasar dan elektroda, memanaskan dan melelehkan bahan dasar dan elektroda, dan bergabung dengan bahan yang akan dilas. Aliran logam cair dan busur dilapisi (ditimbun kembali) dengan partikel fluks di seluruh area las.

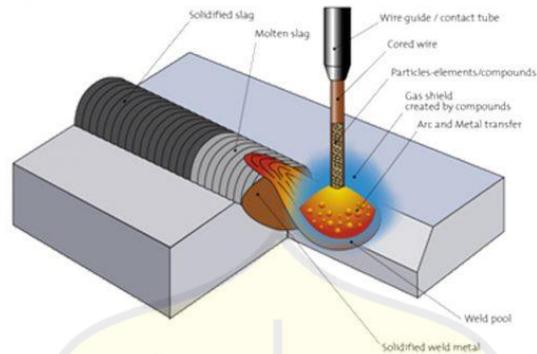


Gambar 2. 12 Submerged Arc Welding

4. Flux-Cored Arc Welding

Pengelasan busur inti fluks (FCAW) adalah jenis pengelasan busur inti / inti fluks. FCAW adalah kombinasi dari proses SMAW, GMAW dan SAW. Sumber daya pengelasan dihasilkan dari penggunaan daya AC atau DC dari pembangkit listrik atau melalui transformator dan/atau penyearah. FCAW adalah jenis las busur di mana elektroda pengisi dimasukkan secara mekanis ke dalam busur yang terbentuk antara ujung elektroda pengisi dan logam dasar. Gas

pelindung juga menggunakan karbon dioksida CO². Secara umum, mesin las FCAW dan robot las dapat disebut dengan Super Anemo.



Gambar 2. 13 Flux-cored Arc Welding

2.9.2 Jenis Sambungan Las

Sambungan las (*welding joint*), beserta bentuk maupun ukuran las dalam desain perancangan sambungan las yaitu:

- a. Ketentuan kekuatan las yang direncanakan.
- b. Bentuk serta dimensi pengelasan.
- c. Voltase yang timbul akibat proses las, 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 menetapkan macam jenis sambungan las, ada sembilan macam yaitu:

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

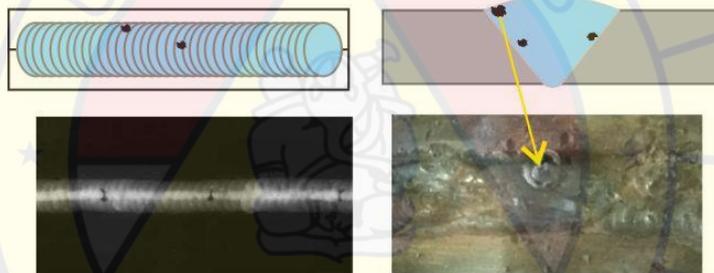
Gambar 2. 14 Jenis alur sambungan las (Harsono, 2000)

2.9.3 Cacat Las

Cacat las atau *welding defect* biasa terjadi pada bagian luar yang bisa dilihat 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*

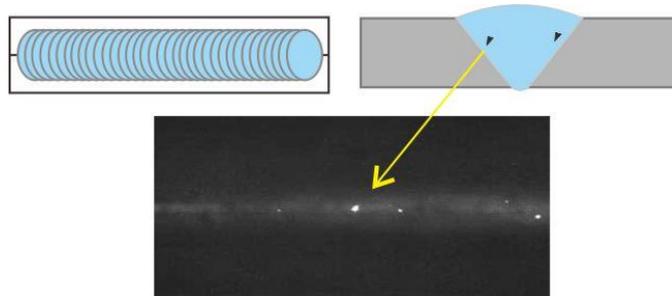
Arti dari *slag* ialah terak, cacat las ini kemungkinan besar terjadi pada proses slag welding seperti SMAW dan FCAW. Terak perlu melindungi lasan dari udara, dan setiap residu atau terak yang terperangkap dapat menyebabkan cacat las terak yang terperangkap. Ada proses GMAW yang disebut juga terak silika. Silika ini dapat menyebabkan inklusi slag.



Gambar 2. 15 Slag Inclusion

2. *Tungsten Inclusion*

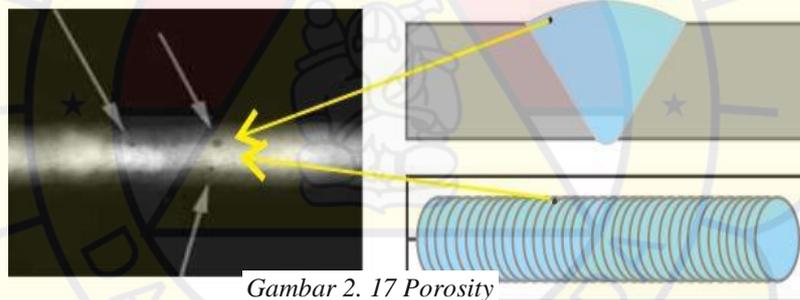
Inklusi tungsten adalah cacat las yang khas dalam pengelasan TIG. Inklusi tungsten dihasilkan ketika ujung tungsten pecah selama pengelasan TIG dan tetap berada di logam las. GTAW Tungsten memiliki titik leleh yang lebih tinggi dari baja. Oleh karena itu, setelah patah, tungsten tetap berada di logam las tanpa meleleh, membentuk inklusi tungsten.



Gambar 2. 16 Tungsten Inclusion

3. Porosity

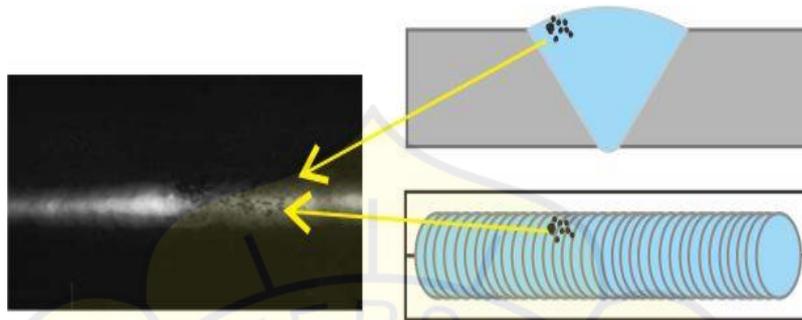
lubang-lubang kecil yang ada pada logam las serupa kropos dan juga sarang semut. Penyebab dari cacat las berpori pada pengelasan SMAW berbeda dengan Argon/CO.



Gambar 2. 17 Porosity

4. Cluster Porosity

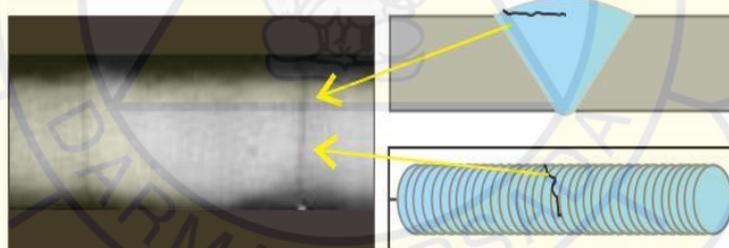
Cluster porosity dapat terjadi pada sisi *root* ataupun di sisi *capping*. Cacat las jenis ini merupakan cacat las yang tidak dapat di tolerir. Untuk mengatasi cacat las ini *welder* harus memperhatikan kawat las dan gas.



Gambar 2. 18 Cluster Porosity

5. Crack

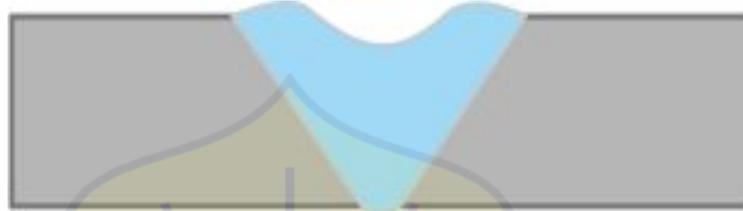
Terjadinya cacat las ini diakibatkan retaknya material hasil las di daerah las. Hal ini dapat terjadi karena setelah proses las dilakukan terlalu cepat untuk didinginkan.



Gambar 2. 19 Crack

6. *Underfill*

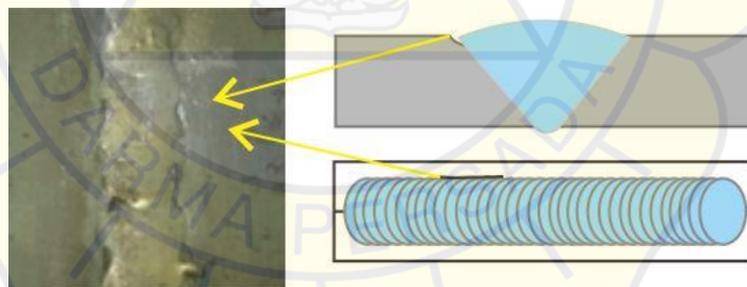
Underfill merupakan Jenis cacat las ini disebabkan oleh pengisian logam las yang tidak mencukupi pada manik las. Alasan *underfill* terjadi karena ampere yang terlalu rendah, kecepatan traverse yang terlalu tinggi, atau lebar manik yang tidak cukup untuk mengisi jalur las dengan cukup..



Gambar 2. 20 *Underfill*

7. *Undercut*

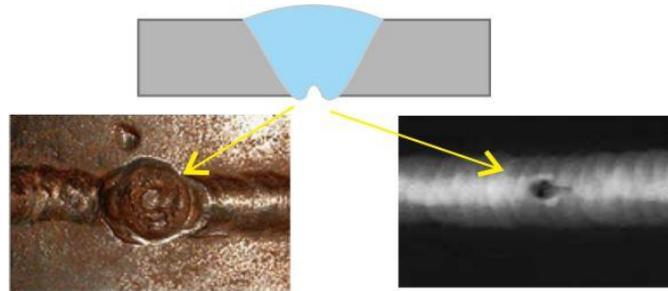
Cacat las ini acapkali terjadi pada jenis pengelasan busur. Khususnya jika ditangani oleh *welder junior*. Penyebab cacatnya adalah penggunaan arus yang sangat tinggi dikombinasikan dengan gerakan kecepatan las yang terlalu terburu yang mencegah logam pengisi mengisi lasan sepenuhnya..



Gambar 2. 21 *Undercut*

8. *Burn Through*

Cacat las *burn-through* terjadi ketika suhu yang sangat tinggi tercapai selama pengelasan, menyebabkan endapan logam las menembus dan membakar melalui area las, membentuk massa cair yang terkulai secara gravitasi.



Gambar 2. 22 Burn Through

9. *Overlap*

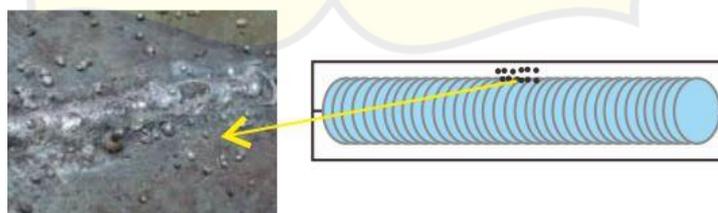
Cacat las *overlap* dikenal juga dengan nama *cold lap* adalah Keadaan di mana logam pengisi (logam pengisi atau elektroda) tidak sepenuhnya menyatu dengan logam dasar selama pengelasan.



Gambar 2. 23 Overlap

10. *Spatter*

Spatter disebut Juga disebut bunga api las atau logam panas, bunga api menempel pada bahan dasarnya. Jika terlalu banyak atau berlebihan, bagian percikan asli akan mengalami kejadian retak.



Gambar 2. 24 Spatter

2.10 Elektroda

Pengelasan dengan las busur membutuhkan elektrode yang terdiri dari inti logam yang dilapisi dengan lapisan campuran kimia yang juga memiliki fungsi sebagai konduktor hantaran sumber listrik, Elektroda terdiri dari dua jenis yaitu jenis dengan lapisan fluks dan jenis yang tidak dilapisi fluks. Fungsi lapisan fluks dalam lasan adalah untuk melindungi logam dari faktor udara, membuat gas pelindung, menstabilkan busur, dan menyediakan elemen campuran.

Dalam hal mempertimbangkan baja las, elektroda dibagi menjadi elektroda untuk logam ringan, logam karbon berlebih, logam paduan, besi tempa dan logam non-ferrous. elektroda harus memiliki casing atau suatu kesamaan dengan baja (Suharto; 1991). Pemilihan elektroda pada pengelasan logam karbon sedang dan logam karbon tinggi harus benar-benar diperhatikan apabila *tensile* elektroda diharuskan sama dengan *tensile* material.

2.10.1 Macam Elektroda Logam Lunak

Jenis elektroda logam lunak pada dasarnya memiliki komposisi yang sama, tetapi jenis membran dan fluksnya berbeda.

1. Elektroda E 6010 dan E 6011

Elektroda ini merupakan jenis elektroda membran selulosa yang dapat digunakan untuk pengelasan penetrasi dalam. Pengelasan dapat dilakukan dalam posisi apapun dan terak pun dapat mudah dibersihkan. Elektroda E6010 digunakan dengan mesin las DC dan E6011 dapat digunakan dengan daya AC dan DC. Jenis elektroda las ini dapat digunakan pada permukaan yang kotor, dicat dan digalvanis. Ideal untuk gouging selama pekerjaan perbaikan pemotongan dan pengelasan pada saat manufaktur.



Gambar 2. 25 Elektroda E6010

2. Elektroda E6012 dan E6013

Jenis elektroda ini adalah jenis membran rutil, dengan elektroda ini penetrasi sedang dapat dilakukan. Keduanya dapat digunakan untuk pengelasan di posisi apa pun, tetapi sebagian besar grade E6013 cocok untuk pengelasan tegak arah ke bawah atau posisi downhill.

Tipe E 6012 umumnya dapat digunakan pada arus yang relatif lebih tinggi daripada E 6013. Elektroda jenis ini memiliki kandungan kalium yang tinggi, sehingga lebih mudah digunakan saat tegangan mesin las yang rendah. Elektroda berdiameter kecil biasanya digunakan untuk mengelas pelat tipis.



Gambar 2. 26 Elektroda E6012

3. Elektroda E 6020

Jenis elektroda ini memberikan penetrasi sedang dan memfasilitasi pembuangan terak dari lasan. Film elektroda terutama mengandung oksida besi dan mangan. Dalam tipe ini terak cair cocok untuk pengelasan datar, tetapi sulit untuk dilas dengan posisi atau postur lain seperti posisi vertikal dan overhead.

4. Elektroda Selaput Serbuk Besi

Elektroda jenis ini termasuk E 6027, E 7014, E 7024, dan E 7028. Mengandung serbuk besi untuk meningkatkan efisiensi pengelasan. Secara umum, semakin tinggi persentase scrap, semakin tebal lapisan elektroda. Pengelasan membutuhkan arus listrik yang lebih tinggi karena adanya scrap besi dan peningkatan ketebalan dari selaputnya.



Gambar 2. 27 Elektroda Selaput Serbuk Besi

5. Elektroda Hydrogen Rendah

Elektroda jenis ini termasuk E 7015, E 7016, dan E 7018. Jenis elektroda ini mengandung sangat sedikit hidrogen (kurang dari 0,5%), menghasilkan logam las yang tidak berpori. Ini digunakan untuk pengelasan kekuatan tinggi, bebas porositas, dll. Pengelasan bejana tekan dan pipa. Elektroda/kabel las banyak digunakan di pabrik, struktur baja, proyek pipa minyak dan gas, dan pengelasan pembuatan kapal.



Gambar 2. 28 Elektroda Hydrogen Rendah