

BAB 2 DASAR TEORI

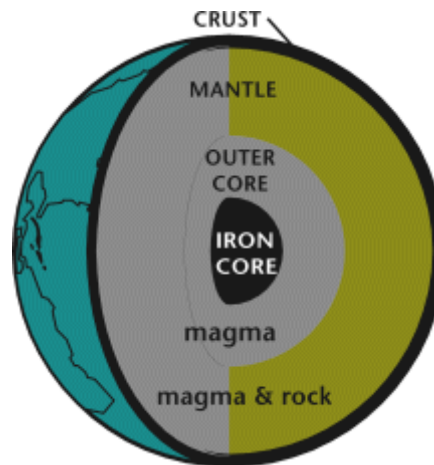
2.1 Sistem Geothermal

2.1.1 Energi Geothermal[3]

Kata geothermal berasal dari Yunani yaitu *geo* (bumi) dan *therme* (panas). Sehingga bila digabungkan maka energi geothermal diartikan menjadi panas yang berasal dari bumi. Uap air (steam) dan air panas yang dihasilkan dari dalam bumi dapat digunakan untuk menghasilkan listrik dan panas. Selain itu, energi geothermal merupakan sumber energi yang dapat diperbaharui. Hal itu dikarenakan, sumber energi geothermal memiliki dua komposisi yaitu: air (hidro) dan panas (thermal) dimana, cadangan air dapat diisi lagi dari hujan sedangkan panas secara kontinyu dihasilkan oleh bagian dalam bumi.

Energi geothermal dihasilkan pada bagian inti bumi yang berjarak sekitar 4,000 mil di bawah permukaan. Temperatur yang lebih panas dari permukaan matahari secara kontinyu dihasilkan di bagian dalam bumi melalui proses penghancuran partikel radioaktif yang terjadi di semua batuan. Bumi memiliki beberapa lapisan dalam strukturnya, yaitu:

- Bagian inti bumi, lapisan ini memiliki dua jenis lapisan, yaitu: padatan inti yang keras dan inti luar yang tersusun dari lelehan batuan yang sangat panas, biasa disebut magma.
- Mantel, lapisan yang mengelilingi bagian inti bumi dengan ketebalan \pm 1.800 mil. Lapisan ini tersusun dari magma dan batu-batuan.
- Bagian kerak bumi merupakan lapisan terluar dari bumi. Tanah pada lapisan ini akan membentuk benua (daratan) dan dasar laut.



Gambar 2.1 Lapisan pada bumi[3]

Energi geothermal dapat menemukan jalannya menuju permukaan dalam beberapa bentuk, antara lain:

- Gunung api dan *fumarole* (lubang dimana gas volcanic keluar)
- Sumber air panas, dan
- Air mancur panas

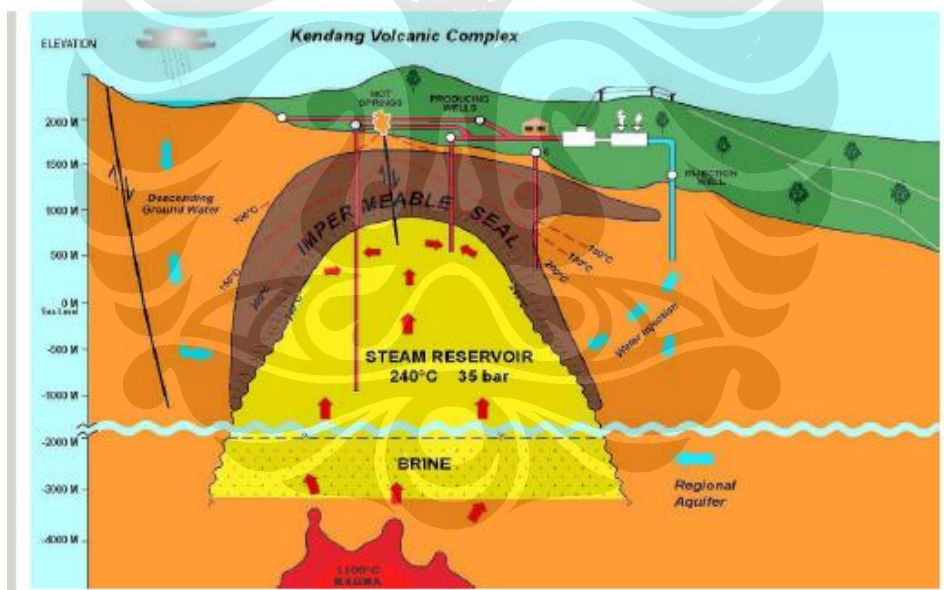
Sumber aktif geothermal ditemukan sepanjang batas plate utama dimana terdapat konsentrasi gempa bumi dan gunung api. Aktifitas geothermal di dunia terjadi di area yang disebut **cincin api**, yang mengelilingi Samudra pasifik.



Gambar2.2 Area yang termasuk daerah cincin api[3]

Beberapa aplikasi dari energi geothermal menggunakan temperatur bumi yang dekat dengan permukaan. Tiga penggunaan utama dari energi geothermal adalah:

1. Penggunaan langsung dan Sistem Pemanasan Distrik, yaitu penggunaan air panas dari mata air secara langsung dengan menggali sumur atau memompakan air bawah tanah yang panas atau uap air ke permukaan.
2. Pembangkit listrik Tenaga Uap (PLTU), dimana membutuhkan air atau uap air dengan temperatur yang sangat tinggi (300°F – 700°F) sebagai sumber energinya.
3. Pemompaan panas geothermal menggunakan temperatur air yang stabil dan dekat dengan permukaan untuk memanaskan dan mengontrol temperatur bangunan.



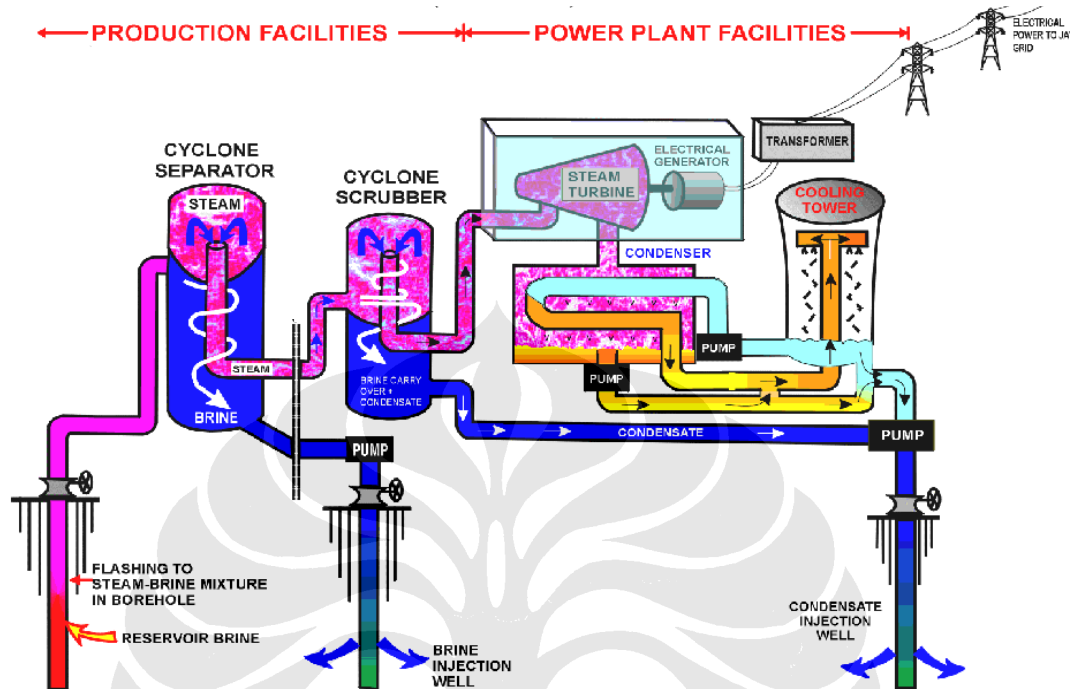
Gambar 2.3 Sistem geothermal[4]

2.1.2 Proses Geothermal

Pemanfaatan energi geothermal menjadi sumber listrik tidak termasuk pemanfaatan langsung karena harus melalui proses terlebih dahulu untuk menghasilkan energi listrik. Proses tersebut dilakukan di Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP). Gambar berikut merupakan proses perubahan energi

Universitas Indonesia

geothermal menjadi listrik dimulai dari proses pemompaan dari dalam bumi ke permukaan.



Gambar 2.4 Proses pada PLTP[4]

Energi geothermal yang dipompa dari reservoir menuju permukaan berupa brine dan gas. Setelah mencapai permukaan, maka brine dengan gas akan dipisahkan melalui cyclone separator. Proses pemisahan pada cyclone separator merupakan tahap pertama dari proses pemisahan pada keseluruhan proses. Keluaran dari proses pada separator berupa *wet steam* dan kondensat (air hasil pemisahan) yang telah terpisah. *Wet steam* akan menuju ke tahap kedua dari proses pemisahan yaitu pada cyclone scrubber, sementara kondensat akan diinjeksikan kembali ke dalam tanah.

Dilakukannya proses pemisahan tahap kedua karena steam yang dihasilkan masih mengandung air walaupun telah melalui proses pemisahan pada cyclone separator. Karena itulah pada cyclone scrubber, *wet steam* akan mengalami proses pemisahan kembali. Dari proses ini, steam yang dihasilkan sudah berupa *dry steam* yang siap untuk menggerakkan turbin, sehingga menghasilkan energi listrik. Kemudian listrik menuju transformer dan siap untuk dialirkan ke rumah-

rumah. Sementara air hasil pemisahan yang berupa kondensat diinjeksikan kembali ke tanah sebagai sumber untuk energi geothermal.

2.1.3 Karakterisasi Lingkungan Geothermal

Lingkungan geothermal memiliki karakteristik khusus yang membedakannya dengan lingkungan yang lain. Karakteristik tersebut adalah kondensat geothermal. Kondensat geothermal merupakan campuran dari air, gas dan unsur-unsur lain yang mengandung sejumlah energi yang cukup untuk menghasilkan daya/tenaga dengan komposisi yang uniknya[5]. Kondensat geothermal sering mengakibatkan masalah di lapangan. Hal itu dikarenakan karakteristiknya yang bersifat korosif atau *scaling* terhadap material.

Saat temperatur tinggi, sumber yang memiliki ratio air lebih tinggi dapat meningkatkan komposisi silika dalam kondensat. Peningkatan komposisi tersebut dapat mengakibatkan masalah *scale* dan deposit yang sangat hebat[5]. Mengingat lingkungan geothermal adalah *wet steam* dimana sangat berbeda dengan kondisi lapangan yang *dry steam*. Perbedaannya adalah, pada sistem *dry steam*, mereka hanya menghadapi permasalahan dengan agresifitas korosif tetapi, tidak bermasalah dengan silika dimana, pada lingkungan geothermal dalam operasinya menghadapi keduanya yaitu korosi dan *scalling*[6].

2.2 Karakterisasi Kondensat

Kondensat merupakan salah satu karakteristik dari lingkungan geothermal. Kondensat merupakan air yang bercampur dengan gas dan elemen-elemen dimana memiliki karakteristik mengandung konsentrasi tinggi dari larutan ion garam mineral terutama klorida dan sulfat[7]. Ion-ion tersebut memiliki agresifitas yang tinggi dalam korosi. Jumlah mereka relatif terhadap karbonat dan bikarbonat yang merupakan faktor penting dalam karakteristik korosi pada kondensat geothermal. Kondisi kimia dari kondensat berbeda satu dengan lainnya tergantung kepada geologi sumur, temperatur *downhole*, tekanan *downhole*, dan sumber air[6].

Mineral dalam kondensat mengalami proses penguraian dimana proses tersebut akan berpengaruh terhadap kadar garam, kadar klorin, dan konduktifitas

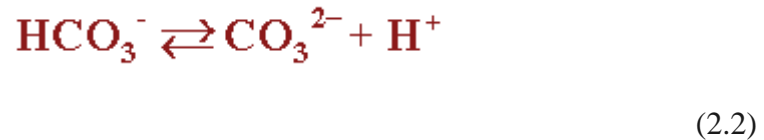
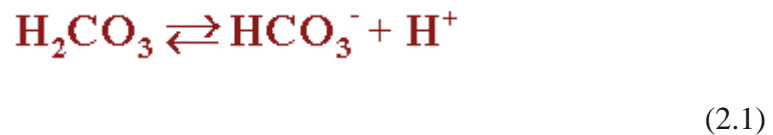
elektrik dari kondensat. Hal tersebut dapat mengakibatkan terjadinya perubahan pH dari kondensat dan peningkatan sifat korosifitas kondensat[7].

Kadar garam dalam kondensat mempengaruhi sifat konduktivitas elektik kondensat itu sendiri sementara, ion klorin (Cl^-) pada kondensat mempengaruhi lapisan oksida dan penetrasi lapisan pasif.

Pada temperatur tinggi, larutan akan mengakibatkan *scaling* dan korosi pada *power plant* berdasarkan karakteristik di lingkungan geothermal[5]. Sifat atau karakteristik kondensat dapat diketahui menggunakan *langelier saturation index* (LSI) dan *index ryznar*. LSI merupakan metode yang akurat dalam mengindikasikan korosifitas air tersebut. Empat faktor yang menjadi pertimbangan dalam langelier antara lain adalah[8] :

- a. pH, nilainya dipengaruhi oleh H_3O^+ dan OH^- . pH tinggi (>7) maka ion OH^- yang terdapat dalam air, sementara jika pH rendah (<7) ion H_3O^+ yang hadir dalam air. Nilai pH yang lebih rendah bersifat lebih korosif sedangkan pH tinggi lebih mudah membentuk *scale*.
- b. *Ca-Hardness* dan *alkalinity*, membuat air tidak korosif tetapi, konsentrasi yang terlalu tinggi akan membentuk deposit. Saat temperatur tinggi, Calcium dapat berpresipitasi. Alkalinity terbentuk oleh semua substansi yang meningkatkan keasaman air meskipun dalam jumlah kecil dimana substansi ini dapat membentuk *scale*.
- c. TDS (Total Dissolved Solid), peningkatan TDS maka air menjadi lebih korosif. Sebagai contoh, air laut dan air sumur dimana air laut akan membentuk karat lebih cepat dibandingkan air sumur. Hal itu juga dipengaruhi oleh sifat konduktivitas listrik air karena garam pada air laut terlarut dan terpecah menjadi ion positif dan negatif.
- d. Temperatur, peningkatan temperatur maka kelarutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$, $\text{Mg}(\text{OH})_2$ dan CaCO_3 menurun dan akan berpresipitasi membentuk deposit.

Index keseimbangan dalam metode LSI berdasarkan prinsip reaksi keseimbangan penjumlahan seperti di bawah ini :



Dari persamaan di atas nilai Langelier Index dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$LSI = pH + \log \left(\frac{K_a \cdot \gamma_{\text{Ca}^{2+}} \cdot [\text{Ca}^{2+}] \cdot \gamma_{\text{HCO}_3^-} \cdot [\text{HCO}_3^-]}{\gamma_{\text{H}^+} \cdot K_{sp}} \right) \quad (2.3)$$

Tabel 2.1 Langelier Saturation Index[8]

LSI (Langelier Saturation Index)	Indikasi
-2,0 < LSI < -0,5	Serious corrosion
-0,5 < LSI < 0	Slightly corrosion but non-scale forming
LSI = 0,0	Balanced but pitting corrosion possible
0,0 < LSI < 0,5	Slightly scale forming and corrosive
0,5 < LSI < 2	Scale forming but non-corrosive

Ryznar Stability Index (RSI) merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengetahui sifat air, apakah berpotensi untuk membentuk scale pada peralatan atau berpotensi korosi terhadap material. Ryznar merupakan pendekatan kuantitas hubungan antara *calcium carbonate saturation* dengan pembentukan *scale*. Konsep dari RSI sama seperti LSi yaitu tingkat kejenuhan (*saturation*). Dalam perhitungannya, RSI menggunakan rumus berikut :

$$RI = -2 \cdot \log \left(\frac{K_a \cdot \gamma_{\text{Ca}^{2+}} \cdot [\text{Ca}^{2+}] \cdot \gamma_{\text{HCO}_3^-} \cdot [\text{HCO}_3^-]}{\gamma_{\text{H}^+} \cdot K_{sp}} \right) - pH \quad (2.4)$$

Tabel 2.2 Ryznar Index[8]

RI (Ryznar Index)	Indikasi
4,0 – 5,0	<i>Heavy scal</i>
5,0 – 6,0	<i>Light scale</i>
6,0 – 7,0	<i>Little scale or corrosion</i>
7,0 – 7,5	<i>Corrosion significant</i>
7,5 – 9,0	<i>Heavy corrosion</i>
> 9,0	<i>Corrosion intolerable</i>

Karakteristik dari kondensat geothermal dapat mengakibatkan berbagai masalah, antara lain [5]:

1. Penyumbatan pada reservoir, sumur dan line pipe
2. Penurunan aliran steam / kondensat
3. Perbaikan dan penggantian Peralatan
4. Kehilangan jumlah produksi

2. 3 Korosi

2.3.1 Jenis Korosi

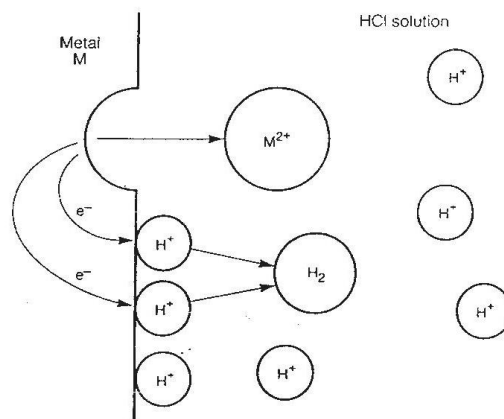
Korosi merupakan sebagai suatu peristiwa penurunan kualitas logam dengan suatu reaksi elektrokimia antara logam dengan lingkungannya, dengan beberapa komponen sebagai syarat terjadinya korosi, yaitu[9]:

- a. anoda, sebagai tempat terjadinya reaksi oksidasi,
- b. katoda, sebagai tempat terjadinya reaksi reduksi,
- c. media elektrolit, sebagai penghantar arus listrik, dan
- d. adanya hubungan arus listrik antara anoda dengan katoda.

Mekanisme korosi melibatkan reaksi elektrokimia yang terjadi antara anoda dengan katoda. Reaksi tersebut berupa transfer elektron yang melibatkan pelepasan elektron (oksidasi) dan penerimaan elektron (reduksi)[10]. Sebagai contoh, berikut adalah mekanisme korosi yang terjadi pada logam di larutan HCl dimana reaksinya adalah :



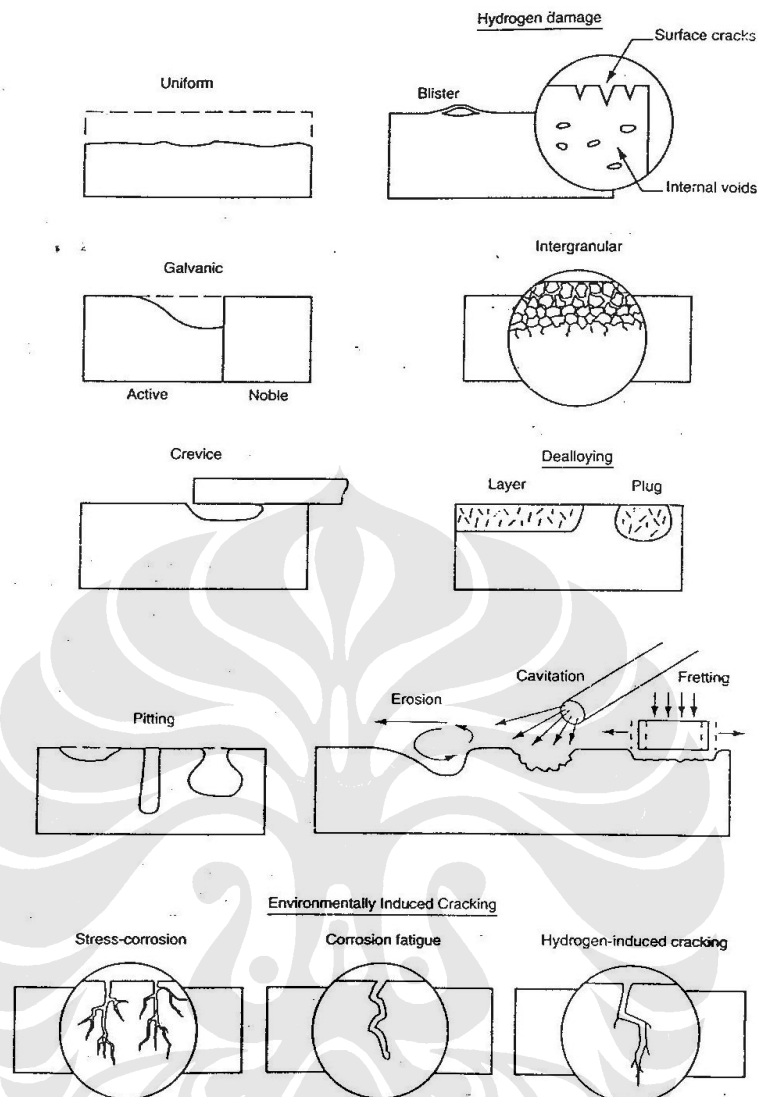
(2.5)



Gambar 2.5 Skema mekanisme korosi pada logam[10]

Korosi pada logam dapat terjadi dalam berbagai bentuk, hal ini dikarenakan perbedaan kondisi yang terjadi pada logam seperti: lingkungan, bentuk material, proses, dll. Jenis-jenis bentuk korosi antara lain adalah sebagai berikut[10] :

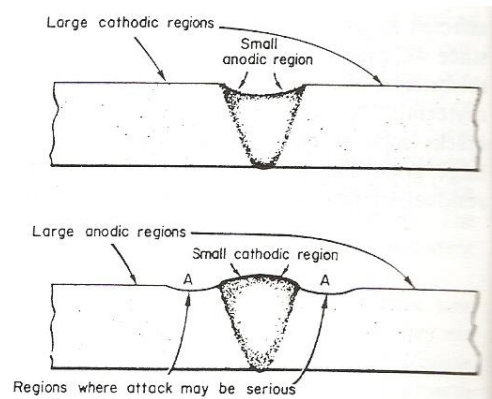
- a. korosi seragam (*uniform*),
- b. korosi galvanik,
- c. korosi celah (*crevice*),
- d. korosi *pitting*,
- e. HIC (*Hydrogen Induced Cracking*)
- f. *hydrogen damage*
- g. korosi batas butir
- h. *dealloying*
- i. korosi erosi
- j. SCC (*Stress Corrosion Cracking*)
- k. Korosi fatik



Gambar 2.6 Jenis-jenis bentuk korosi[10]

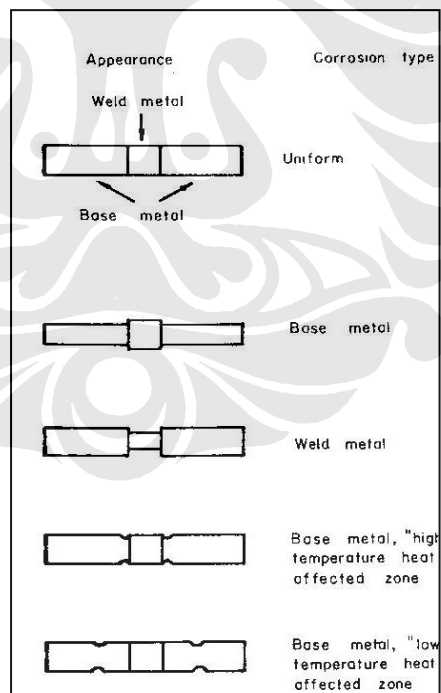
Sebagian dari bentuk korosi di atas dapat terjadi pada material logam yang mengalami proses pengelasan. Korosi deposit las pada logam dasar setelah pengelasan merupakan karakteristik yang tidak diinginkan. Korosi pada daerah las dapat menyebabkan retak bahkan kegagalan[11]. Jenis-jenis korosi yang dapat terjadi di daerah lasan antara lain adalah [12] :

- a. Korosi galvanik, terjadi ketika komposisi logam las dengan logam dasar memiliki perbedaan yang signifikan.



Gambar 2.7 Korosi galvanik di *welded joint*, (atas) logam dasar lebih mulia dari logam las, (bawah) logam las lebih mulia dari logam dasar[12]

- b. Korosi celah (*crevice*), terjadi melalui beberapa cara seperti : porositas atau retak pada permukaan, deposit *weld scale* atau slag, *undercut*, cacat desain, dan *inadequate joint penetration*.



Gambar 2.8 Tipe korosi celah pada *welded joint* [12]

- c. Korosi batas butir, disebabkan karena terbentuknya segregasi atau presipitat pada butir sehingga batas butir mudah untuk diserang karena kehilangan unsur penting yang berpengaruh terhadap ketahanan korosi.

- d. SCC, adanya tegangan dan lingkungan yang korosif menghasilkan retak pada material
- e. HIC, biasa juga dikenal sebagai *underbead cracking* yang disebabkan berdifusinya hidrogen menuju material ketika terjadi evolusi hidrogen saat proses.

2.3.2 Perhitungan Laju Korosi

Cepat lambatnya korosi yang terjadi pada material dipengaruhi oleh laju korosi yang terjadi. Laju korosi dapat diketahui melalui beberapa metode antara lain adalah sebagai berikut :

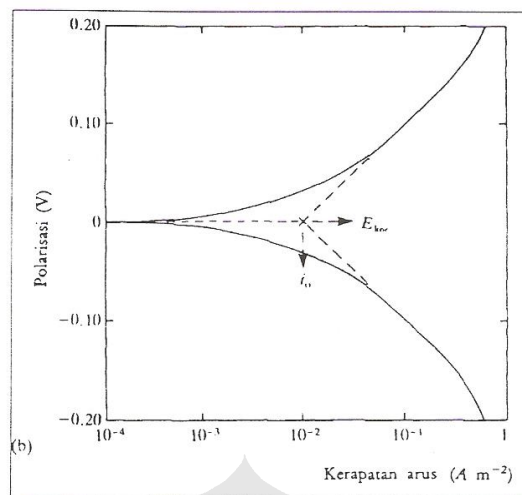
2.3.2.1 Polarisasi

Metode polarisasi yang biasa digunakan untuk menghitung laju korosi adalah ekstrapolasi tafel dan polarisasi tahanan[10]. Metode ini memiliki beberapa keuntungan dalam perhitungan korosi yaitu : hanya perlu waktu yang sebentar untuk menentukan laju korosi, dan juga dapat mengetahui kinetika untuk monitoring korosi, dan sensitifitas tinggi.

Jenis polarisasi yang sering dilakukan adalah ekstrapolasi tafel. Metode ini menggunakan data yang diperoleh dari pengukuran polarisasi anodik atau katodik. Sistem kerjanya adalah logam uji disebut sebagai elektroda kerja dan arus katodik berasal dari katoda pembantu yang terdiri dari bahan inert. Arus dinaikkan dengan menurunkan tahanan R dan diukur dengan ammeter. Potensial elektroda kerja diukur dengan membandingkan dengan elektroda acuan yang dihubungkan dengan *potentiometer-electrometer circuit*.

Prinsip dari ekstrapolasi tafel adalah memberikan simpangan potensial dengan cara menurunkan atau menaikkan tegangan dari potensial kesetimbangannya.

Pada keadaan setimbang, proses reduksi dan oksidasi terjadi dengan laju yang sama sehingga jumlah arus anodik dan katodik juga sama. Pada keadaan ini rapat arus pengukuran akan sama dengan nol, dimana $i_{\text{pengukuran}} = i_{\text{katodik}} - i_{\text{anodik}} = 0$. potensial yang didapat pada keadaan kesetimbangan ini dinamakan potensial korosi, E_{korosi} .



Gambar 2.9 Kurva ekstrapolasi tafel yang ideal[13]

Dari gambar di atas maka, laju korosi yang terjadi dapat diketahui melalui perhitungan sebagai berikut[10] :

$$\text{Laju korosi (MPY)} = 0.129 \frac{a i_{\text{corr}}}{nD} \quad (2.6)$$

Dimana,

MPY : laju korosi (0.001 inch per year (tahun))

D : berat jenis (gr/cm^3)

I_{corr} : rapat arus korosi (A/cm^2)

n : nomor valensi

a : berat atom

Hasil perhitungan laju korosi dapat dibandingkan dengan tabel 4.3 untuk mengetahui sifat ketahanan korosi dari material.

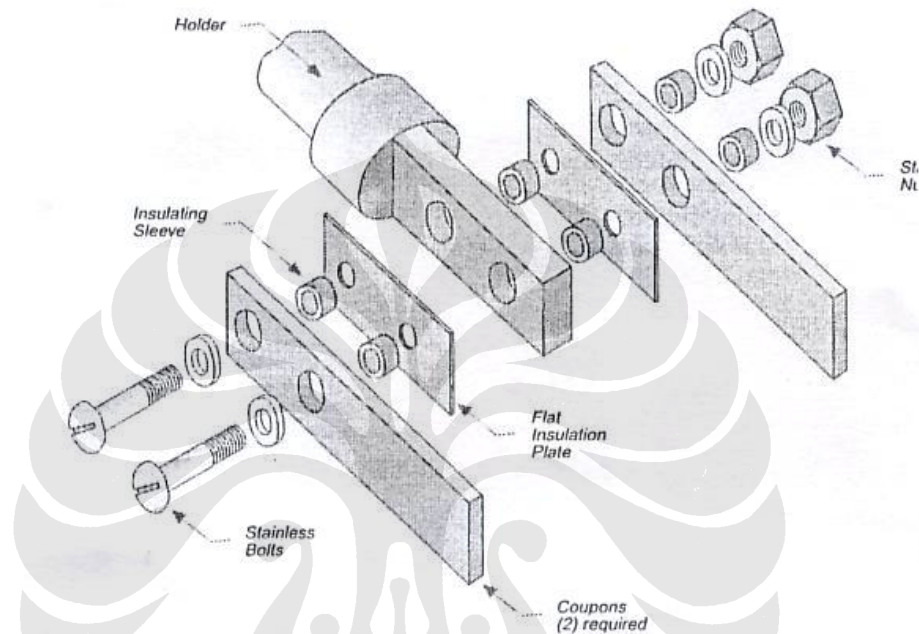
Tabel 2.3 Klasifikasi sifat ketahanan korosi material[10]

Ketahanan Korosi Relatif	Mpy
<i>Outstanding</i>	< 1
<i>Excellent</i>	1-5
<i>Good</i>	5-20
<i>Fair</i>	20-50
Poor	50-200
Unacceptable	200+

Universitas Indonesia

2.3.2.2 Kupon

Kupon merupakan lempengan logam yang ditempatkan di dalam sistem dan dibiarkan untuk terkorosi. Bahan logam sistem dan kupon diusahakan sama sehingga dapat dibandingkan dengan laju korosi pada sistem [14]. Spesimen kupon biasanya berbentuk persegi panjang tetapi juga ada yang berbentuk bulat.



Gambar 2.10 Susunan pemasangan kupon [14]

Kupon digunakan untuk mengetahui laju korosi melalui *weight loss*. Biasanya digunakan pada lingkungan yang dialiri oleh fluida seperti, pipa, boiler, vessel, dll. Sebelum dipasang, kupon ditimbang terlebih dahulu untuk mengetahui berat awal.

Kupon akan diganti secara periodik dimana, setelah diambil kupon dibersihkan untuk menghilangkan semua produk korosi dan lainnya dari permukaan baik secara kimia, mekanik atau keduanya sehingga hanya terdapat logam kupon [10]. Kemudian kupon ditimbang kembali untuk mendapatkan berat akhir sehingga didapatkan selisih berat. Dengan menggunakan rumus di bawah, maka akan diketahui laju korosi pada lingkungan tersebut, dalam mil (1 mil=0.001 in) per year (MPY) [10] :

$$\text{Laju korosi (MPY)} = \frac{534 W}{DAT} \quad (2.7)$$

Dimana,

MPY : laju korosi (0.001 inch per tahun)

W : berat yang hilang (mg)

D : berat jenis (gr/cm^3)

A : luas area total yang terekspos fluida (in^2)

T : waktu terekspos (jam)

Keuntungan

- Murah, mudah digunakan
- Kupon terbuat dari material yang sama dengan struktur
- Pemeriksaan visual dapat mengidentifikasi jenis serangan
- Kupon tersebut dapat dianalisa scale.

Kerugian

- Laju korosi yang diperoleh berupa rata rata
- Kalkulasi laju korosi diasumsikan sebagai korosi seragam
- Pengambilan data berlangsung lama
- Memerlukan pemasangan dan pengambilan yang dapat mempengaruhi proses dan keselamatan

2.3.3 Korosi dan *Scaling* di Lingkungan Geothermal[5]

Korosi dan *Scaling* merupakan karakteristik dari lingkungan geothermal. *Scaling* merupakan masalah terbesar yang dihadapi di lapangan. Berbagai jenis *scale* yang terbentuk antara lain : senyawa kalsium, silika, dan sulfida.

Senyawa kalsium biasanya berasal dari kalsium karbonat dan kalsium silikat. *Scale* logam silikat dan logam sulfida biasanya ditemukan pada sumber temperatur yang lebih tinggi. Logam yang sering bergabung (terdapat) dengan

scale silikat dan sulfida antara lain : *zinc, iron, lead, magnesium, antimony, dan cadmium*.

Scale kalsium karbonat terbentuk dari hasil evolusi CO₂ yang berasal dari liquid. Evolusi CO₂ terjadi seiring terjadinya penurunan tekanan pada sistem dimana, evolusi dapat mempengaruhi peningkatan pH pada liquid. Pada temperatur tinggi, kalsium dalam jumlah kecil pada kondensat akan berpresipitasi seiring dengan kenaikan pH. *Scale* kalsium karbonat dapat terbentuk di sumur produksi, plant vessel, peralatan dan sumur injeksi.

Scale Silika merupakan salah satu jenis dari *scale* yang sulit terjadi di operasi geothermal. Kehadiran silika dapat membentuk *scale* silika yang *amouf* dan tidak bergabung dengan kation lain. Silika ditemukan di semua kondensat geothermal dan konsentrasinya berbanding lurus dengan temperatur kondensat. Ketika tekanan menurun, maka konsentrasi kondensat semakin tinggi (pekat) dan silika menjadi lebih tidak stabil. Dengan kondisi tersebut, presipitasi silika seperti silika *amouf* akan bereaksi dengan kation yang ada (Fe, Mg, Zn, Ca) dan membentuk deposit silikat yang bersifat sangat kuat dan dapat terjadi pada keseluruhan plant dan sistem injeksi.

Scale sulfida dapat terjadi di lingkungan geothermal. *Scale* sulfida yang ditemukan pada temperatur tinggi memiliki sifat yang sama baiknya dengan *scale* yang terdapat pada temperatur rendah/medium. *Scale* ini dapat bergabung dengan kation logam lain, membentuk senyawa *scale* yang sangat keras dan sulit untuk diatasi.

Serangan korosi pada lingkungan geothermal dapat membahayakan peralatan-peralatan yang digunakan. Sumur produksi, sistem injeksi dan sistem kondensat dan steam merupakan daerah-daerah yang rentan korosi. Berbagai mekanisme dapat menyebabkan korosi dimana mekanisme tersebut melibatkan pengotor dan kondisi yang berbeda-beda dalam steam dan kondensat, yaitu :

1. Karbon dioksida
2. Hidrogen sulfida
3. Hidrogen klorida
4. Iron sulfida
5. Oksigen

6. Temperatur
7. *Suspended solid*
8. Aliran hidrodinamik

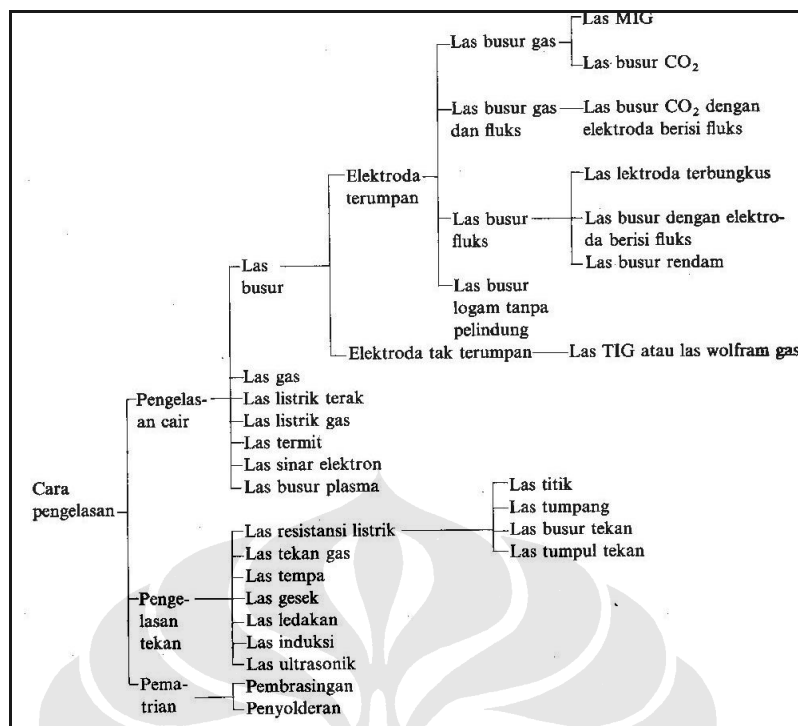
Dalam sistem dimana fasa cair mendominasi, sebagian besar proses korosi berasal dari karbon dioksida. Pada baja, dengan kehadiran karbon dioksida maka korosi cenderung dikontrol oleh *iron carbonate* (siderite) yang merupakan produk korosi[10].

Steam turbin rentan mengalami SCC (*Stress Corrosion Cracking*) yang berkaitan dengan karakteristik kimia dari geothermal steam. Sementara pada sistem produksi dan *steam/kondensat gathering* sering mengalami korosi yang disebabkan oleh hidrogen klorida dan hidrogen sulfida. Selain itu, proses korosi yang terjadi di lingkungan geothermal menghasilkan produk sampingan korosi dimana dapat bereaksi dengan silika dan sulfida yang kemudian membentuk deposit di dalam sistem.

2. 4 Penyambungan Logam

2.4.1 Introduksi Teknik Pengelasan

Las adalah proses fisika yang mencairkan daerah sambungan dari logam atau logam paduan untuk mengikat mereka bersama[10]. Las merupakan salah satu jenis teknik penyambungan logam yang banyak digunakan di dunia industri. Berdasarkan cara pengelasannya, teknik pengelasan dibedakan menjadi tiga jenis yaitu : pengelasan cair (*fusion*), pengelasan tekan (*solid state*), dan pematrian (*brazing soldering*)[15]. Lebih jelasnya, klasifikasi teknik pengelasan dapat dilihat pada gambar berikut,

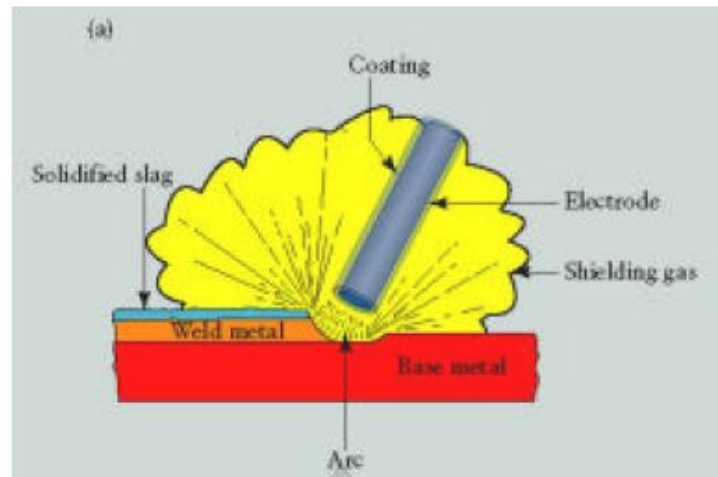


Gambar 2.11 Klasifikasi teknik pengelasan[15]

Lebih dari 45 metode yang berbeda digunakan dalam menggabungkan logam dengan sistem pengelasan cair baik dengan atau tanpa tambahan logam[11]. Material yang biasa ditambahkan untuk melengkapi *welded joint* disebut logam pengisi.

Dalam pengelasan pipa, metode pengelasan yang biasa digunakan adalah metode SMAW dan GMAW.

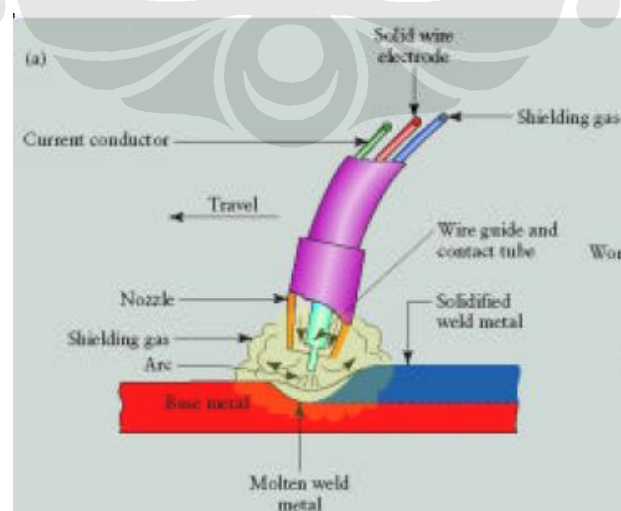
SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) disebut juga las elektroda terbungkus atau *stick welding*. Metode ini merupakan metode pengelasan yang paling banyak digunakan dalam teknik penyambungan logam karena hampir 50 % proses penyambungan di industri besar menggunakan metode ini. Dalam metode ini, elektroda yang digunakan berupa batangan (*stick*). Skema proses pengelasan metode SMAW dapat dilihat pada gambar berikut[15].



Gambar 2.12 Skema pengelasan pada SMAW[16]

Alasan yang membuat metode ini banyak digunakan adalah karena SMAW memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan metode pengelasan lainnya, antara lain : peralatan yang digunakan murah, simpel dan *portable* dan proses ini dapat digunakan pada semua posisi las. Oleh karena itu, proses ini banyak digunakan untuk repair di workshop, sambungan pipa saluran (*pipeline*), dan konstruksi bangunan (kapal,dll)[16].

GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) disebut juga las logam gas mulia. Dalam metode ini, kawat las pengisi juga berfungsi sebagai elektroda yang diumpangkan terus-menerus. Selain itu, busur listrik terjadi antara kawat pengisi dan logam induk[15]. Skema kerja las jenis ini dapat dilihat pada gambar berikut :

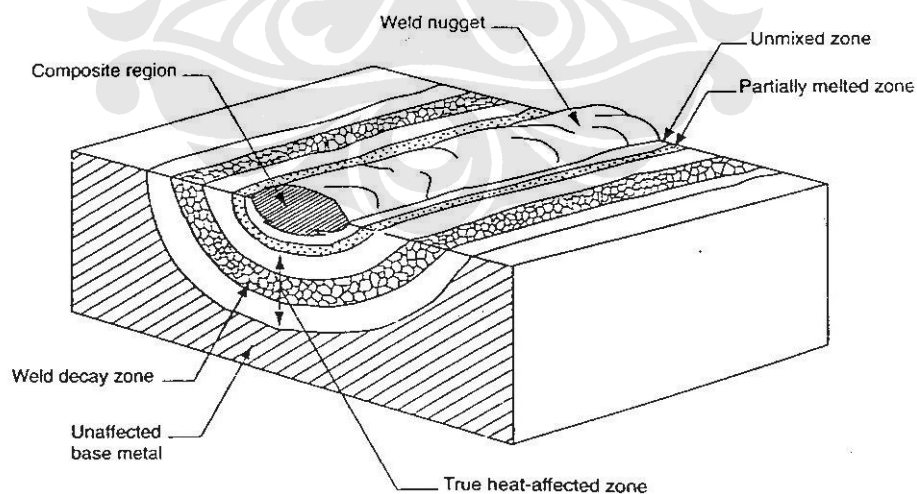


Gambar 2.13 Skema pengelasan pada GMAW [16]

Terjadinya penyemburan logam cair pada gambar antara lain disebabkan oleh polaritas listrik dan arus listrik. Teknik pengelasan ini memiliki beberapa keuntungan antara lain : merupakan satu-satunya jenis pengelasan elektroda terumpan yang dapat digunakan pada semua jenis logam dan paduan, dapat dilakukan pada semua posisi, dapat menggunakan arus tinggi sehingga penetrasi yang dihasilkan tinggi/dalam, dll.

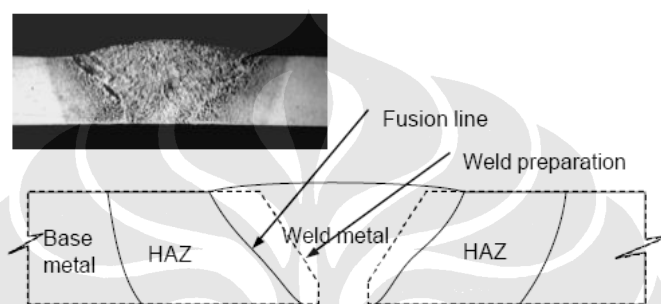
2.4.2 Karakterisasi Daerah Lasan

Proses pengelasan melibatkan proses pemanasan, pencairan, pencampuran, pembekuan dan pendinginan yang merupakan siklus termal pengelasan. Akibat siklus tersebut daerah yang mengalaminya terpengaruh baik secara metalurgi maupun mekanika yaitu dengan terbentuknya *weldment area*. *Weldment area* didefinisikan sebagai daerah logam las yang mencair dan membeku serta daerah sambungan dari logam dasar yang terpengaruh secara metalurgi oleh siklus pemanasan dan pendinginan[10]. *Weldment area* mencakup daerah logam las dan daerah HAZ sehingga, pada logam lasan terdapat 3 daerah yaitu, logam las (*weld metal*), daerah pengaruh panas, HAZ (*Heat Affected Zone*) dan logam induk/dasar yang tidak terpengaruhi (*base metal*).



Gambar 2.14 Struktur *weldment area*[17]

Logam las adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair dan kemudian membeku. Sementara daerah HAZ adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat[18]. Logam induk tak terpengaruhi adalah bagian logam dasar dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat. Selain ketiga daerah tersebut, masih ada satu daerah khusus yang membatasi logam las dengan daerah HAZ disebut dengan batas las (*fusion line*) [15].



Gambar 2.15 Struktur material lasan[16]

Sifat daerah HAZ ditentukan oleh komposisi dari logam dasar dan jumlah energi panas yang diberikan selama proses pengelasan[19]. Daerah HAZ merupakan daerah yang mengalami kenaikan temperatur dengan cepat hingga mendekati temperatur leleh dan juga penurunan temperatur dengan sangat cepat, sehingga menghasilkan efek quenching. Oleh karena itu, ketika dipanaskan daerah HAZ pada baja akan menjadi fasa austenit dan mengandung fasa keras, martensite ketika didinginkan (tergantung komposisi dan parameter las). Struktur logam pada daerah HAZ berubah secara berangsur-angsur dari struktur logam induk ke struktur logam las[15].

Daerah batas las, butir-butirnya sangat kasar sehingga logam menjadi getas. Pada daerah ini, terjadi konsentrasi tegangan yang disebabkan diskontinuitas pada kaki manik las, takik las, retak las, dll. Kegetasan yang terjadi pada daerah ini selain disebabkan oleh butir-butir kasar juga karena cacat las atau titik-titik pusat konsentrasi tegangan yang ada di dalamnya[15].

Logam dasar merupakan daerah dari logam induk yang tidak terpengaruh oleh proses termal yang terjadi sehingga karakteristiknya tetap sama dengan karakteristik dari material tersebut baik mikrostruktur, ukuran butir, fasa dan sifat mekanik.

Pada logam las, sifat daerah ditentukan dari strukturnya. Komposisi akhir dari logam las merupakan hasil dari campuran elektroda atau logam pengisi yang mencair dengan logam induk yang mencair[18]. Karena, saat proses pengelasan mengalami pencairan dan kemudian membeku maka daerah ini banyak mengandung oksigen dan gas-gas lain. Logam las yang digunakan biasanya tidak berbeda jauh dari logam dasar, hal itu dikarenakan jika terjadi perbedaan yang signifikan antara logam las dengan logam dasar dapat menyebabkan terjadinya korosi galvanik[6].

