

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Ketel Uap (*Boiler*)

Ketel Uap adalah pesawat yang dibuat guna menghasilkan uap dan uapnya dipergunakan diluar pesawatnya. Selain bermanfaat bagi manusia ketel uap juga merupakan sumber bahaya yang dapat menyebabkan terjadinya peledakan, maka dalam penggunaan ketel uap memerlukan alat perlengkapan yang harus dipasang pada ketel uap. Sebagaimana diketahui alat-alat perlengkapan tersebut telah ditetapkan juga dalam pasal 12 Peraturan Uap 1930 sehingga menjamin pemakaian dan merupakan syarat mutlak yang harus dipasang pada ketel uap dengan cara menghubungkannya dengan flensa atau dengan ulir (*thread*). Pada umumnya alat tersebut terbuat dari baja cor. Agar alat perlengkapan dapat berfungsi dengan baik maka perlengkapan tersebut harus diawasi, dipelihara, dirawat oleh operator yang memiliki pengetahuan cukup.

Bagi pabrik gula, uap/*steam* sangat penting karena merupakan sumber tenaga panas dan tenaga penggerak. Mengingat besarnya energi yang harus disediakan oleh stasiun ketel guna menunjang kelancaran proses, maka pengadaan kebutuhan uap di stasiun ketel pabrik gula harus memperhatikan baik kapasitas maupun mutu, sehingga mampu mencukupi seluruh kebutuhan dengan tetap memperhatikan factor-faktor efisiensi. (Sudarto, 2011).

2.2 Cara kerja Ketel Uap

Pada saat pabrik gula sedang beroperasi, air pengisi ketel terbesar berasal dari air kondensat. Sedangkan pada awal giling, bagian *water treatment* harus bekerja terlebih dahulu untuk memenuhi air pengisi ketel keseluruhan.

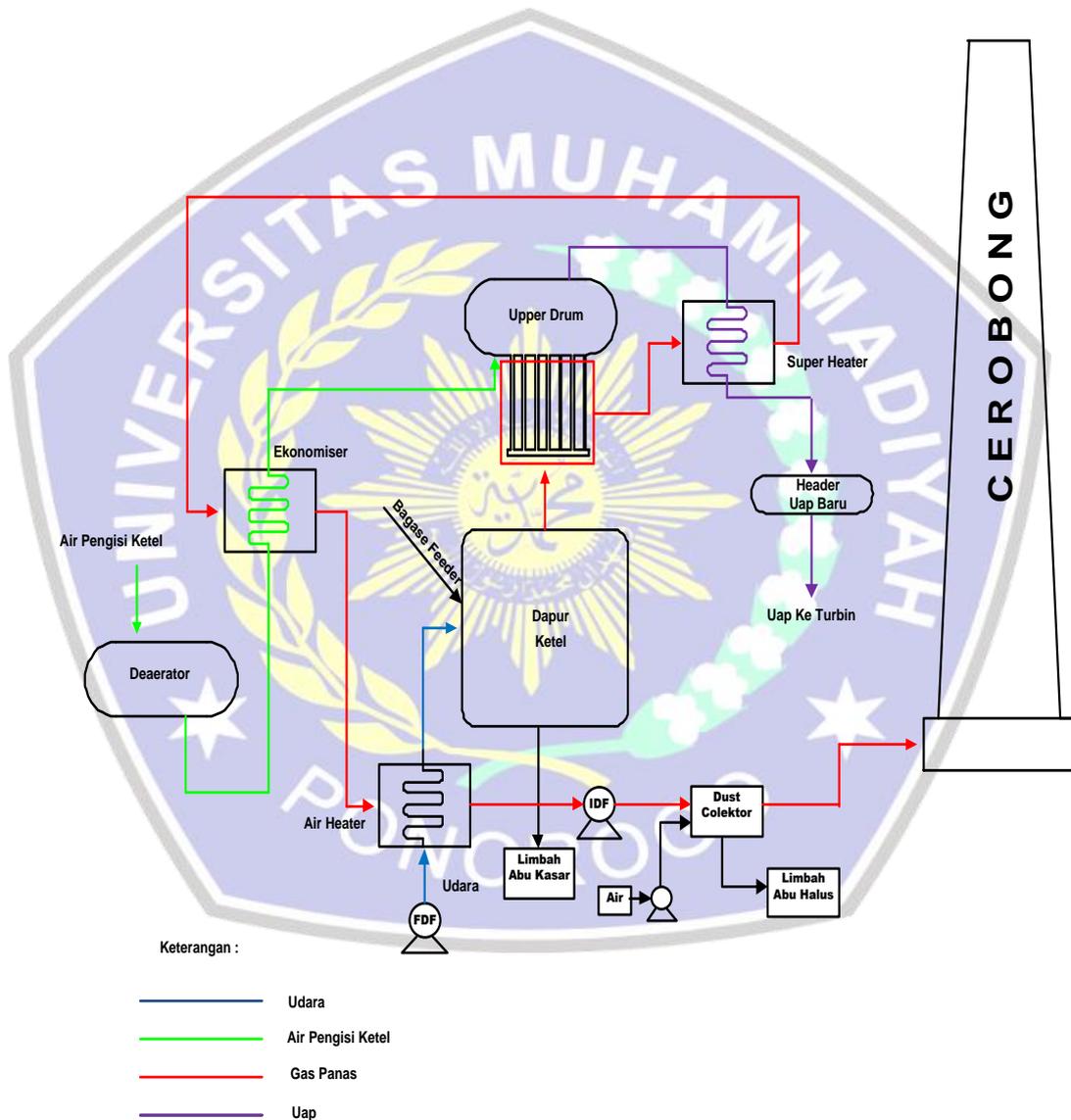
Air pengisi ketel yang berasal dari air sumur terlebih dahulu diolah dengan menghilangkan kesadahan dan kandungan silikat yang ada di

dalam air tersebut. Air kondensat yang berasal dari uap bekas dalam proses yang bersih dari minyak, kotoran dan gula dapat digunakan sebagai air pengisi ketel. Air kondensat yang berasal dari proses (badan penguapan, pemanas pendahuluan dan badan masakan) ditampung di sebuah tangki kondensat dan kelebihanannya dimasukkan tangki 1000 M³. Air dari tangki kondensat dipompa untuk dimasukkan ke deaerator dengan tujuan membuang gas-gas O₂ agar didalam pipa tidak terjadi oksidasi dan untuk pemanasan awal agar mempercepat penguapan didalam pipa dimana sebagai bahan pemanas digunakan uap bekas dengan temperatur berkisar 120⁰C. Setelah suhu tercapai 105⁰C, air dipompa masuk kedalam drum ketel dan dijaga dalam batas normal dari level ketinggian.

Di dalam ruang bakar terdapat pembakaran dengan bahan bakar ampas maupun minyak bila dibutuhkan dan terjadi tarikan (*Vacuum*) sehingga gas panas dari ruang pembakaran bergerak bersirkulasi melewati pipa-pipa air dengan bantuan kipas *Induced Draft Fan* (IDF) yang kemudian gas asap yang tersisa dibuang lewat cerobong. Untuk mempercepat pembakaran juga dihembuskan udara luar yang berasal dari kipas *Forced Draft Fan* (FDF) yang sebelumnya melewati ruang *Air Heater* sehingga diperoleh udara pembakaran yang panas (180⁰C) dengan memanfaatkan gas asap yang memiliki panas yang masih tinggi sebelum masuk IDF.

Karena adanya gas panas dari pembakaran maka air yang didalam pipa akan mendidih dan terjadi sirkulasi atau perpindahan zat cair dimana ada perbedaan berat jenis air yaitu air yang dingin akan menuju ke tempat paling bawah dan yang panas akan ke atas secara terus menerus, lalu mendidih dan terjadi penguapan di dalam drum. Uap yang terbentuk dengan suhu 211⁰C dengan tekanan 19 kg/cm² dialirkan ke pemanas lanjut melalui pipa-pipa kedalam ruang bakar agar diperoleh uap kering dengan temperatur diharapkan 325⁰C. Uap yang dipanaskan lanjut bila digunakan untuk melakukan kerja dengan jalan ekspansi didalam turbin tidak akan mengembun, sehingga mengurangi kemungkinan timbulnya bahaya yang

disebabkan terjadinya pukulan balik yang diakibatkan pengembunan uap. Bila temperatur terlalu tinggi maka untuk menurunkannya dimasukkan ke dalam Atemperatur dengan cara pipa uap dimasukkan kedalam drum bawah dengan pengaturan pengendalian alat instrumentasi. Selanjutnya uap baru yang dihasilkan di salurkan ke turbin-turbin penggerak dan uap bekasnya untuk proses sesuai Gambar 2.1 (Sudarto, 2011).



Gambar 2.1 Diagram Alir Ketel Uap (Instalasi Staat PG Jatiroto)

2.3 Jenis Ketel Uap

Jenis ketel uap yang dipakai Pabrik Gula di Indonesia ada 2 macam :

a. Ketel pipa api

Pada ketel uap jenis pipa api, gas hasil pembakaran melalui bagian dalam pipa dengan air mengelilingi bagian luar pipa. Sirkulasi dalam ketel pipa api terjadi bila gelembung air terbentuk pada bagian luar pipa dan melepaskan diri dari logam yang panas untuk naik kepermukaan. Air disekitarnya akan menggantikan gelembung uap ini dan sirkulasi dimulai.

b. Ketel pipa air

Pada ketel pipa air, air ada di dalam pipa dan gas hasil pembakaran melalui sekeliling bagian luar dari pipa. Ketel pipa air tersusun dari pipa-pipa dalam jumlah yang besar, ruang uap berbentuk silinder dan sejumlah *water header*. Ketel pipa air selalu dirancang untuk tekanan dan suhu uap yang tinggi, cocok untuk menggerakkan turbin uap maupun turbin generator dengan efisiensi yang tinggi.

2.4 Pemanas Udara (*Air Preheater*)

Gas asap setelah keluar memanasi ekonomiser masih bertemperatur kisaran 400° sampai 700° C sehingga akan rugi apabila dibuang langsung ke cerobong, sebab panas yang ada pada gas asap di *boiler* masih bisa digunakan lagi untuk memanaskan udara sebelum masuk ke dalam ruang bakar *boiler*, sehingga efisiensi panas *boiler* uap bisa naik lagi.

Memanaskan udara pembakaran sebelum dimasukkan ke dalam ruang bakar *boiler* berarti mengurangi kebutuhan panas untuk menaikkan temperatur udara di dalam ruang bakar, sehingga api di dalam ruang bakar tidak mengalami penurunan temperatur, dan mengurangi kemungkinan api di dalam ruang bakar padam sendiri. Api yang tiba-tiba padam sendiri, bisa menyebabkan ledakkan ruang bakar, bila tiba-tiba alat penyundut api dipasang/dinyalakan, karena di dalam ruang bakar terdapat uap bahan bakar dan udara yang siap terbakar. Kelalaian operator menyalakan alat

penyundut api bila api pada ruang bakar padam sendiri, bisa mengakibatkan peledakkan ruang bakar yang berdampak pada kerugian perusahaan.

Ketika api di dalam ruang bakar padam sendiri bila tersedia fan isap maka gas-gas hasil campuran uap bahan bakar dan udara yang terdapat dalam ruang bakar diisap ke luar dengan menggunakan fan isap (*Indused Draught Fan* atau IDF). Apabila tidak ada fan isap yang tersedia maka gas-gas campuran uap bahan bakar dan udara pada ruang bakar boiler akan dihembuskan menggunakan fan tekan (*Forced Draught Fan* atau FDF), agar tidak tersisa lagi campuran uap bahan bakar dan udara didalam ruang bakar, dan baru dapat dimulai lagi prosedur penyalan ruang bakar dari awal. Dengan demikian bila api di dalam ruang bakar padam sendiri, maka ada sejumlah kerugian bahan bakar yang dibuang, sebab operasi ketel atau boiler menjadi terganggu. Hal ini tidak dikehendaki karena itu pada saat proses pembakaran di ruang bakar boiler agar memanaskan udara pembakar dari fan isap (*Indused Draught Fan* atau IDF) terlebih dahulu sebelum dimasukkan ke dalam ruang bakar.

Selain itu manfaat lainnya pada udara pembakar dipanaskan dahulu sebelum masuk ke ruang bakar, supaya udara temperaturnya dalam keadaan panas pada saat masuk ruang bakar, juga penguapan air lebih cepat yang terkandung pada bahan bakar boiler (khususnya bahan bakar padat) sehingga akan mempercepat proses pembakaran bahan bakar di dalam ruang bakar, demikian itu untuk kapasitas ruang bakar yang sama, yaitu untuk jumlah bahan bakar yang dibakar sama, ruang bakar yang menggunakan udara panas ukuran-ukurannya menjadi lebih kecil supaya investasinya murah.

Di bawah ini adalah macam pemanas udara atau air preheater ada 3:

- a. Pemanas udara pipa
- b. Pemanas udara plat
- c. Pemanas udara regenerasi atau pemanas udara Ljungstrom

Pada pemanas udara pipa, gas asap mengalir pipa-pipa pemanas udara, sedangkan udara dari luar berhembus melewati pipa-pipa tersebut, sehingga terjadi pertukaran panas antara gas asap dan udara yang lewat dinding pipa pemanas udara tersebut. Ada pula prinsip kerja pemanas udara yang gas asapnya melewati bagian luar pipa dan udara mengalir didalam pipa. Diameter luar pipa-pipa kisaran 20 mm hingga 25 mm, tergantung pada kapasitas *boiler* dan pemanas udara.

Pada pemanasan udara pelat, udara mengalir melewati sela-sela plat yang disusun dan berganti-ganti atau berselingan dengan gas asap. Sehingga dinding-dinding plat yang membatasi gas asap dengan udara berfungsi menukar panas fluida tersebut.

Pada pemanas udara Ljungstrom atau pemanas udara regenerasi terdapat elemen-elemen logam yang untuk sementara waktu ditempatkan pada aliran gas asap, sehingga untuk sementara waktu elemen logam tersebut dipanasi oleh gas asap, kemudian dipindahkan di daerah aliran udara untuk beberapa saat, lalu terjadi pertukaran udara yang menyerap panas pada elemen-elemen logam tersebut. Jika elemen logam tersebut telah dingin lagi, maka elemen-elemen logam akan dibawa menuju ke daerah aliran gas asap untuk dipanasi dan jika panas akan dibawa menuju ke daerah aliran udara. Hal tersebut dilakukan terus menerus ketika pabrik beroperasi. (Ardianto, 2007).

2.5 Pengertian Korosi

Korosi adalah reaksi elektrokimia material dengan lingkungannya sehingga mengakibatkan penurunan material logam (Einar Bardal, 2003). Banyak ahli yang juga menyebutkan bahwa korosi merupakan menurunnya nilai komposisi logam karena reaksi elektrokimia dengan lingkungannya (Trethewey, K. R. dan J. Chamberlain, 1991). Lingkungan tersebut bisa berupa air, udara, gas, larutan asam, dan lain-lain (Rini Riastuti dan Andi Rustandi, 2008).

Korosi adalah fenomena yang jika diperhatikan sangat berbahaya, baik secara langsung maupun tidak langsung. Di bidang industri minyak dan gas, proses korosi adalah peristiwa yang perlu diperhatikan karena bahaya korosi jika dibiarkan akan berdampak besar. Contoh di bidang industri minyak dan gas dari pengeboran menuju stasiun proses, maka akan menimbulkan kerusakan (*damage*) dan kebocoran pada pipa-pipa tersebut. Dampak bahaya korosi secara langsung yaitu biaya penggantian material logam atau alat yang rusak karena korosi, tambahan biaya untuk pembaruan konstruksi logam yang lebih tebal dan pengendalian korosi. Dampak secara tidak langsung, korosi dapat berakibat kerugian pada perusahaan contohnya produksi gas menurun atau bahkan terhenti, image perusahaan menurun, nilai saham rendah, dan tingkat keamanan juga keselamatan kerja rendah (Jaya dkk, 2010).

Korosi bisa dikenal mudah dengan nama lain pengkaratan atau karat pada logam yang merupakan peristiwa dimana kimia bahan-bahan logam di berbagai macam keadaan lingkungannya. Para peneliti yang menyelidiki tentang sistem eklektrokimia ini sangat membantu tentang korosi ini, yaitu reaksi logam antara partikel pada logam itu sendiri dengan zat-zat kimia lingkungan yang bersifat korosif. Jadi dilihat dari sudut pandang kimia, korosi pada dasarnya adalah reaksi logam dengan lingkungannya bisa berupa air dan oksigen sehingga menjadi ion pada permukaan logam yang kontak secara langsung (Chodijah, 2008). Korosi dapat terjadi di dalam media kering (*dry corrosion*) dengan media elektrolitnya tanah dan juga media basah (*wet corrosion*) dengan media elektrolitnya air. Contoh korosi yang berlangsung di dalam media kering adalah penyerangan logam besi oleh gas oksigen (O_2) atau oleh gas belerang dioksida (SO_2) sedangkan pada media basah, korosi dapat terjadi secara seragam atau secara terlokalisasi. Dengan demikian, apabila dalam usaha pencegahan korosi dilakukan melalui penambahan inhibitor korosi (Derviş, 2013).

Berikut ini adalah komponen-komponen yang berperan pada terjadinya proses korosi :

1. Anoda : Melepaskan electron (terkorosi)
Reaksinya : $M \rightarrow M^{n+} + ne^{-}$
2. Katoda : Menerima Elektron
Reaksinya ada beberapa kemungkinan :
 - Evolusi Hidrogen : $2 H^{+} + 2e^{-} \rightarrow H_2$
 - Reduksi Oksigen (diudara) : $O_2 + 4H^{+} + 4e^{-} \rightarrow 2H_2O$
 - dll
3. Larutan (elektrolit)
4. Jalur logam penghubung katoda dan anoda (Afandi, 2015)

2.6 Faktor yang Mempengaruhi Korosi

Berikut ini faktor yang mempengaruhi korosi dibedakan menjadi dua, pertama yang berasal dari bahan itu sendiri dan yang kedua dari lingkungan. Faktor dari bahan meliputi kemurnian bahan, struktur bahan, bentuk kristal, unsur-unsur yang ada pada bahan, teknik pencampuran bahan, dan sebagainya. Faktor dari lingkungan meliputi tingkat pencemaran udara, suhu, kelembaban, keberadaan zat-zat kimia yang bersifat korosif, mikroba, dan lainnya. Menurut Halimatuddahlia (2003) menguapnya bahan-bahan korosif yang mengakibatkan terbang ke udara dapat mempercepat korosi pada logam, yaitu:

1. Faktor gas terlarut

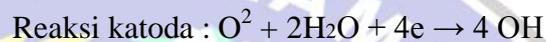
Gas yang larut dalam air dapat menyebabkan korosi yang berdampak pada laju korosi material logam. Gas terlarut yang dapat menyebabkan terjadinya korosi adalah sebagai berikut:

a. Oksigen (O₂)

Akibat oksigen yang terlarut berdampak pada korosi metal contohnya laju korosi pada *mild steel alloys*. Kelarutan oksigen dalam air merupakan fungsi dari tekanan, temperatur, dan kandungan klorida.

Bila tekanan 1 atm pada temperatur kamar, kelarutan oksigen bisa menacapai 10 ppm dan kelarutannya berbanding terbalik dengan temperatur dan konsentrasi garam artinya semakin bertambah temperatur serta konsentrasi garam maka kelarutan oksigen akan berkurang. Sedangkan kandungan oksigen pada minyak-air bisa menghambat timbulnya korosi sekitar 0,05 ppm atau kurang.

Pada besi reaksi korosi yang paling umum terjadi karena adanya kelarutan oksigen adalah :



b. Karbondioksida (CO₂)

Apabila karbondioksida dilarutkan dengan air maka akan terbentuk asam karbonat (H₂CO₃) yang dapat menurunkan pH air yang berakibat meningkatnya korosifitas, hal yang biasa terjadi membentuk korosi berupa *pitting* yang secara umum reaksinya adalah:



2. Faktor Temperatur

Naiknya temperatur akan menurunkan kelarutan oksigen yang pada umumnya dapat menambah laju korosi dengan meningkatnya temperatur. Apabila metal pada temperatur yang tidak seragam, maka akan besar kemungkinan terbentuk korosi pada logam.

3. Faktor pH

Pada prakteknya korosi akan menyerang Besi dan baja pada keadaan asam, namun sedikit terkorosi pada keadaan basa. Sifat peristiwa tersebut bisa dijelaskan dengan rangkaian GGL (gaya

gerak listrik) yang tersusun dari elemen-elemen yang nantinya akan berdampak pengurangan potensial pada elektroda negatif bila elemen tersebut tercelup larutan asam. Potensi saat logam mulai terkorosi dapat dihitung dengan persamaan Nernst:

$$E = E^0 - 0,059 \text{ pH}$$

Berikut ini adalah korosi pada keadaan lingkungan asam, basa, dan garam adalah :

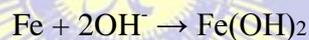
a. Asam

Gas hidrogen dihasilkan karena logam yang terkorosi pada keadaan asam.



b. Basa

Basa merupakan senyawa yang bisa memproduksi ion OH⁻ ion. OH⁻ tidak akan bereaksi langsung dengan logam. Reaksi bisa terjadi setelah logam mengalami oksidasi.



4. Faktor Mikroba

Terjadinya mikroba merupakan akibat dari aktivitas mikroba itu sendiri yang akan berakibat pada munculnya korosi. Mikroba yang berpengaruh dalam keadaan korosi antara lain bakteri, jamur, alga, dan protozoa. Peristiwa pada mikroba tersebut karena keberadaan dari bakteri tertentu.

Menurut Habib wildan (2010) Jenis-jenis bakteri tersebut adalah:

a. Bakteri Reduksi Sulfat (SRB)

Bakteri reduksi sulfat atau bakteri anaerob adalah bakteri yang membutuhkan lingkungan bebas oksigen atau lingkungan reduksi, untuk mendukung metabolisme bakteri ini bersirkulasi pada air dengan cara aerasi termasuk larutan klorin dan pengoksidasi lainnya. Bakteri Reduksi Sulfat

tumbuh pada oksigen rendah dan tumbuh pada daerah-daerah kanal, pelabuhan, serta daerah air tenang yang tergantung pada lingkungannya. Bakteri ini mereduksi sulfat menjadi sulfit, biasanya terlihat dari meningkatnya kadar H₂S atau besi sulfida. Bakteri jenis ini berisi enzim hidrogenase yang dapat mengkonsumsi hidrogen. Contohnya: *Thiobacillus thi-oxidans*.

b. Bakteri Oksidasi Sulfur-Sulfida

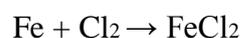
Bakteri jenis ini adalah bakteri aerob yang mendapat energi dari oksida sulfid atau sulfur yang juga dapat mengoksidasi sulfur menjadi asam sulfurik dengan macam tipe bakteri aerob dan mengubah pH menjadi 1. Contohnya: *Genus Desulfovibrio* atau *Desulfotomaculum*.

5. Faktor Padatan Terlarut

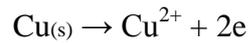
Dibawah ini adalah padatan terlarut yang juga merupakan dari bahan logam dan berpotensi menyebabkan korosi, sebagai berikut :

a. Klorida (Cl)

Klorida menyerang lapisan *mild steel* dan lapisan *stainless steel*. Bahan logam ini mengakibatkan terjadinya *pitting*, *crevice corrosion*, dan juga menyebabkan pecahnya *alloys*. Klorida biasanya ditemui dalam campuran minyak-air pada konsentrasi tinggi yang akan menyebabkan proses korosi. Selain itu karena naiknya konduktivitas larutan garam juga menjadi faktor dari proses korosi, dimana larutan garam yang lebih konduktif akan menyebabkan laju korosinya menjadi lebih tinggi. Garam pada Kandungan Klorida dapat mengakibatkan terjadinya korosi pada logam. Reaksi pada besi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Sedangkan untuk tembaga reaksi yang terjadi:



b. Karbonat (CO_3)

Kalsium karbonat merupakan bahan logam yang sering dipakai sebagai pengontrol korosi, dimana film karbonat diendapkan sebagai lapisan pelindung permukaan metal, tetapi dalam produksi minyak hal ini cenderung menimbulkan masalah *scale*.

c. Sulfat (SO_4)

Ion sulfat ialah ion logam ada pada minyak. Dalam air, ion sulfar juga ditemukan pada konsentrasi yang cukup tinggi dan bersifat sebagai pencampur, dan oleh bakteri SRB sulfat diubah menjadi sulfida yang korosif.

2.7 Mekanisme Korosi

Mekanisme korosi ialah proses yang tidak lain yaitu reaksi elektrokimia. Reaksi elektrokimia melibatkan perpindahan elektron-elektron. Perpindahan elektron bisa muncul dari reaksi redoks (reduksi-oksidasi). Mekanisme korosi melalui reaksi elektrokimia melibatkan reaksi anodik. Reaksi anodik (oksidasi) ditunjukkan melalui peningkatan interaksi atau produk elektron-elektron. Dibawah ini adalah proses korosi logam dari reaksi anodik, ialah :



Pada proses korosi dari logam M adalah proses oksidasi logam menjadi satu ion ($n+$) dalam pelepasan n elektron. Nilai dari n bergantung dari sifat logam contohnya besi:

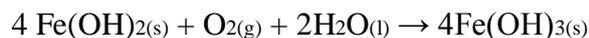


Reaksi katodik juga berlangsung di proses korosi. Sebaliknya reaksi katodik ditunjukkan melalui penurunan nilai interaksi atau konsumsi elektron-elektron yang diperoleh dari reaksi anodik. Reaksi katodik adalah berlarutnya oksigen dari udara dalam keadaan larutan terbuka.

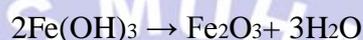
Menurut (Haryono., 2010) mekanisme korosi dibawah ini adalah proses korosi pada logam besi (Fe) ialah :



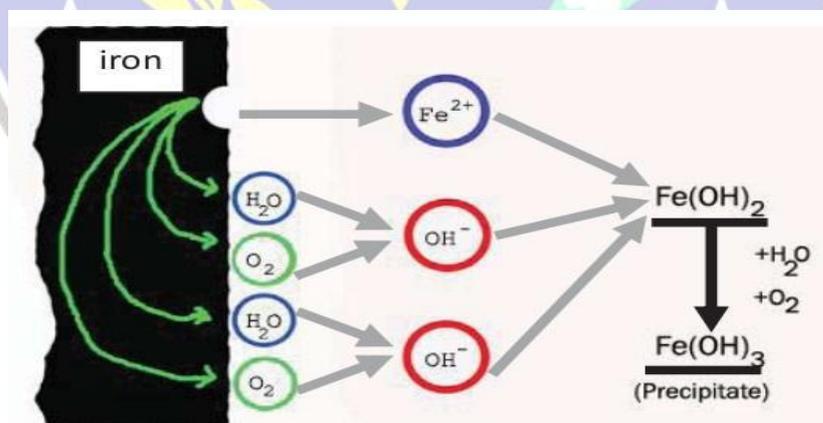
Fero hidroksida [Fe(OH)₂] merupakan senyawa oksidasi dari air dan udara secara alami menjadi feri hidroksida [Fe(OH)₃], selanjutnya mekanisme reaksi kimia menjadi :



Feri hidroksida yang terbentuk akan bereaksi lagi dan menjadi Fe₂O₃ yang berwarna merah kecoklatan yang biasa kita sebut karat. Menurut (Seddon, 1988) Reaksi lanjutannya sebagai berikut :



Secara umum mekanisme korosi terjadi karena diawali dari logam yang teroksidasi pada larutan dalam satu larutan, dan melepaskan elektron untuk membentuk ion logam yang bermuatan positif. Larutan akan bertindak sebagai katoda dengan reaksi yang umum terjadi adalah pelepasan H₂ dan reduksi O₂, akibat ion H⁺ dan H₂O yang tereduksi. Pengelupasan pada permukaan logam adalah akibat dari reaksi katoda karena pelarutan logam berulang-ulang pada pada larutan. Gambar 2.2 dibawah menjelaskan tentang n mekanisme korosi di permukaan logam.



Gambar 2.2 Mekanisme korosi. (Vogel, 1979)

2.8 Jenis-Jenis korosi menurut bentuknya

1. Korosi Merata

Korosi merata adalah korosi yang terjadi secara serentak pada seluruh permukaan logam, maka dari itu logam yang mengalami korosi merata beakibat pada berkurangnya ukuran yang cukup besar per satuan waktu. Kerugian langsung akibat korosi merata berupa kehilangan material konstruksi, keselamatan kerja dan pencemaran lingkungan akibat produk korosi dalam bentuk senyawa yang mengakibatkan lingkungan tersebut korosif. Sedangkan kerugian tidak langsung adalah penurunan kapasitas dan peningkatan biaya perawatan (*preventive maintenance*). Kerusakan material yang diakibatkan oleh korosi merata dapat dilihat pada Tabel 2.1.

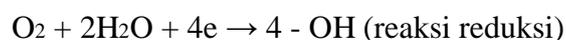
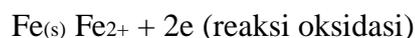
Tabel 2.1 Kerusakan Material Oleh Korosi Merata

(Sumber : Tabel Fontana (1987: 172))

Ketahanan Relatif Korosi	mpy (mill per year)	mm/yr	m/yr	nm/h
<i>Sempurna</i>	< 1	< 0.02	<25	< 2
<i>Baik Sekali</i>	1-5	0.02 - 0.1	25 - 100	2 - 10
<i>baik</i>	5-20	0.1 - 0.5	100 - 500	10 - 150
<i>cukup</i>	20-50	0.5 - 1	500 - 1000	50 - 150
<i>Buruk</i>	50-200	1 - 5	1000 - 5000	150 - 500
<i>Sangat Buruk</i>	200 +	5 +	5000 +	500 +

Korosi merata yang terjadi pada logam besi dapat dilihat pada Gambar 2.3.

Dibawah ini proses oksidasi korosi merata, ialah :





Gambar 2.3 Korosi Merata (*Corrosionclinic*, 2013)

2. Korosi Galvanik

Korosi galvanik terjadi karena pada lingkungan korosif terdapat logam yang tidak sama yang saling dihubungkan antara 2 logam atau lebih. Salah satu dari logam tersebut akan mengalami korosi, dan logam yang lain akan terbebas dari korosi. Contoh dari korosi galvanik dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Korosi Galvanik (*Corrosionclinic*, 2013)

3. Korosi Sumuran

Korosi sumuran merupakan dampak dari permukaan logam yang terbuka dan sifatnya korosi lokal akibat komposisi logam yang tidak homogen. Terjadinya korosi sumuran ini diawali dengan pembentukan lapisan pasif dan elektrolit terjadi penurunan pH, sehingga terjadi pelarutan lapisan pasif secara perlahan-lahan dan menyebabkan lapisan

pasif pecah dan terjadi korosi sumuran. Korosi sumuran ini sangat berbahaya karena lokasi terjadinya sangat kecil dan biasanya sangat dalam, dan dapat menyebabkan peralatan (struktur) patah mendadak. Contoh dari korosi sumuran dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Korosi Sumuran (*Scribd.com/korosi*)

4. Korosi Celah

Korosi celah adalah korosi lokal yang terjadi pada celah diantara dua komponen. Proses korosi celah berawal dari korosi yang muncul secara merata di bagian luar dan dalam celah dan terjadilah reduksi oksigen serta oksidasi logam. Pada suatu saat oksigen (O_2) didalam celah habis karena oksidasi logam, sedangkan diluar celah masih banyak. Logam bagian permukaannya yang berhubungan di bagian luar menjadi katoda sedangkan bagian permukaan dalam menjadi anoda dan terbentuklah celah yang korosi. Contoh dari korosi celah dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Korosi Celah (*Scribd.com/korosi*)

5. Korosi Retak Tegang, Korosi Retak Fatik, dan Korosi Akibat Pengaruh Hidrogen.

Korosi retak tegang, korosi retak fatik dan korosi akibat pengaruh hidrogen adalah korosi akibat pengaruh dengan lingkungannya dan menyebabkan material mengalami keretakan. Korosi retak tegang terjadi pada paduan logam yang mengalami tegangan tarik statis di lingkungan tertentu, seperti baja tahan karat sangat rentan terhadap nitrat. Korosi retak fatik terjadi akibat tegangan berulang di lingkungan korosif, sedangkan korosi akibat pengaruh hidrogen terjadi karena berlangsungnya difusi hidrogen kedalam celah paduan. Contoh dari korosi retak tegang dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Korosi Retak Tegang (*Corrosionclinic*, 2013)

6. Korosi Intergranular

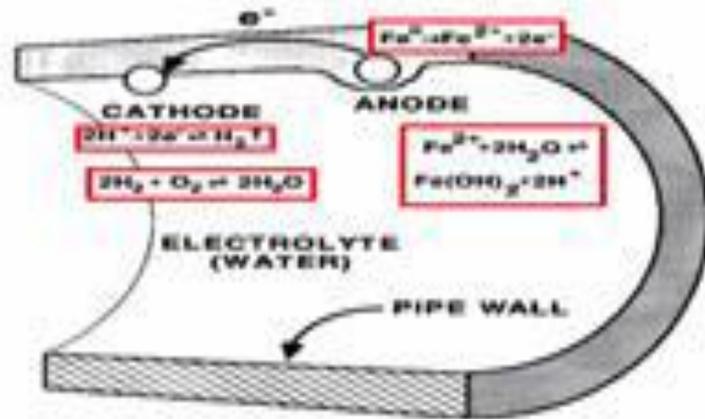
Korosi intergranular atau korosi batas butir adalah terjadi karena reaksi antara unsur logam di batas butirnya. Seperti yang terjadi pada baja tahan karat *austenitic* bila diberi perlakuan panas. Contoh dari korosi intergranular dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Korosi Intergranular Pada Pipa (*Scribd.com/korosi*)

7. Korosi *Selective Leaching*

Selective leaching adalah korosi selektif pada komponen paduan larutan padat yang berjumlah 1 atau lebih. Hal ini juga disebut pemisahan, pelarutan selektif atau serangan selektif. Contoh *dealloying* umum adalah dekarburisasi, *decobaltification*, *denickelification*, *dezincification*, dan korosi *graphitic*. Mekanisme *selective leaching* adalah logam yang memiliki paduan berbeda dan begitupun paduan, juga memiliki potensial yang berbeda (atau kemampuan korosi) pada elektrolit yang sama. Potensi korosi cenderung berbeda ditunjukkan pada paduan modern yang mengandung jumlah unsur paduan yang berbeda-beda. Beda potensial antara elemen paduan menjadi kekuatan pendorong untuk kecenderungan serangan yang lebih "aktif" pada elemen paduan tersebut. Contoh dari korosi *selective leaching* tegang dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 *Selective Leaching Corrosion (Scribd.com/korosi)*

Korosi ini terjadi akibat proses elektrokimia antara dua benda padat khususnya metal besi yang berbeda potensial dan langsung berhubungan dengan udara terbuka. Contoh dari korosi atmosfer tegang dapat dilihat pada Gambar 2.10.

Faktor-faktor yang menentukan tingkat karat atmosfer yaitu:

- Jumlah zat pencemar di udara (debu, gas), butir-butir arang, oksida metal.
- Suhu
- Kelembaban kritis
- Arah dan kecepatan angin
- Radiasi matahari
- Jumlah curah hujan



Gambar 2.10 *Korosi Atmosfer (Scribd.com/korosi)*

9. Korosi Regangan

Korosi ini terjadi karena pemberian tarikan atau kompresi yang melebihi batas maksimalnya. Kegagalan ini sering disebut Retak Karat Regangan (RKR) atau *stress corrosion cracking*. Sifat jenis retak ini sangat spontan (tiba-tiba terjadi), regangan biasanya bersifat internal yang disebabkan oleh perlakuan yang diterapkan seperti bentukan dingin atau merupakan sisa hasil pengerjaan (residual) seperti pengelingan atau pengepresan dan sebagainya. Untuk material kuningan jenis KKR disebut *season cracking*, dan pada material *low carbon steel* disebut *caustic embrittlement* (kerapuhan basa), karat ini terjadi sangat cepat dalam hitungan menit, yakni jika semua persyaratan untuk terjadinya karat regangan ini telah terpenuhi pada kondisi korosif yang berhubungan dengan konsentrasi zat karat (*corrodent*) dan suhu lingkungan. Contoh dari korosi regangan tegang dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 *Stress Corrosion Cracking* (Corrosionclinic, 2013)

10. Korosi Erosi

Korosi erosi adalah proses rusaknya pada permukaan logam yang disebabkan oleh aliran fluida yang sangat cepat. Korosi erosi dapat dibedakan pada 3 kondisi, yaitu :

- a. Kondisi aliran laminar
- b. Kondisi aliran turbulensi
- c. Kondisi peronggaan.

Korosi erosi disebabkan oleh beberapa faktor adalah sebagai berikut :

- a. Perubahan drastis pada diameter lubang bor atau arah pipa.
- b. Penyekat pada sambungan yang kurang tepat pemasangannya.

- c. Adanya celah yang memungkinkan fluida mengalir di luar aliran utama
- d. Adanya produk korosi atau endapan lain yang mengganggu aliran laminar. Contoh dari korosi erosi dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Korosi Erosi Pada Pipa (*utomo, B.2012*)

Berikut merupakan sistem paduan penyebab korosi berdasarkan kondisi lingkungan:

Tabel 2.2 Sistem Paduan Zat Penyebab Karat dan Kondisi Lingkungan
(*Sumber : Tabel Skripsi Hutauruk, 2017:11*)

Sistem Paduan	Lingkungan
Paduan Aluminium	<ul style="list-style-type: none"> • Klorida • Udara industri yang lembab • Udara laut
Paduan Tembaga	<ul style="list-style-type: none"> • Ion aluminium • Amina
Paduan Nikel	<ul style="list-style-type: none"> • Hidroksida terkonsentrasi dan panas • Uap asam Hidrofluida (<i>hydrofluoric</i>)

Baja Karbon Rendah	<ul style="list-style-type: none"> • Hidroksida terkonsentrasi dan mendidih • Nitrat yang terkonsentrasi dan mendidih • Produk penyuling destruktif dari batu bara
--------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

2.9 Pengertian Pipa

Pipa adalah benda berbentuk bulat dengan lubang di tengahnya yang terbuat dari logam ataupun bahan lainnya yang digunakan untuk mengalirkan fluida berbentuk cair, gas maupun udara. Fluida yang mengalir di pipa tersebut mempunyai temperatur dan tekanan yang berbeda-beda. Pipa biasanya ditentukan berdasarkan nominalnya sedangkan *tube* adalah salah satu jenis pipa yang ditentukan berdasarkan diameter luarnya. Proses pembuatan pipa secara umum ada 3 yaitu: Pipa baja *seamless*, pipa baja *welded*, pipa besi *ductile*. (Hutauruk, 2017).

2.10 Pipa Baja Karbon

Pipa baja karbon merupakan jenis pipa yang paling sering dipakai di dunia industri. Beberapa jenis industri yang memiliki produksi atau jenis fluida yang cenderung memiliki sifat berupa suhu yang ekstrim layaknya sangat panas, tekanan yang sangat besar, atau sifat dan kekuatan yang besar layaknya industri minyak bumi atau bahkan gas memakai jenis pipa ini kemampuan materialnya untuk media berpindah fluida sangat baik.

Pipa baja karbon ini diklasifikasikan menurut komposisi kimia yang terkandung di dalamnya. Pipa baja dan fitting merupakan paduan dari besi (Fe) dan karbon (C), dan mengandung karbon kurang dari 1,7%. Macam baja ada tiga jenis, yaitu: Carbon steel, low alloy steel dan high alloy steel. Baja karbon terdiri dari besi, karbon kurang dari 1,7%, mangan kurang dari 1,65%, sejumlah silikon (Si), aluminium (Al), dan batas kontaminan seperti belerang (S), oksigen (O), nitrogen (N), dan tidak ada batasnya minimal yang ditentukan untuk elemen seperti Al, Cr, Co, Ni,

Mo, Ni [ASM, ASTM A 941]. Baja karbon adalah bahan pipa yang paling umum di industri power plant, kimia, proses, hidrokarbon dan pipa industri. Spesifikasi pipa baja karbon umum digunakan dalam *steam operation*, air atau udara termasuk ASTM A106 dan ASTM A53. Baja ringan adalah baja karbon dengan kandungan karbon kurang dari 0,30%. Baja karbon menengah memiliki 0,30% sampai 0,60% karbon. Baja karbon tinggi memiliki karbon diatas 0,6% (Hutauruk, 2017).

2.11 Laju Korosi

Laju korosi adalah tebal material yang hilang tiap satuan waktu yang disebabkan oleh adanya karat pada material tersebut. Satuan laju korosi disini bermacam-macam sesuai satuan yang umum yaitu mm/th (standar internasional) atau mill/year (mpy, British). 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. Laju korosi berbanding lurus dengan sejumlah arus yang mengalir pada sel korosi elektrokimia. Logam yang berbeda memiliki laju korosi yang berbeda pula (Hutauruk, 2017).

2.12 Ultrasonic Thickness Gauge

Ultrasonic thickness gauge adalah alat pengukur ketebalan yang memanfaatkan gelombang ultrasonik sebagai pengukurannya. Pada gelombang ultrasonik nantinya akan ditransmisikan dan dipantulkan kembali melalui permukaan lain.

Alat pengukur ini dapat digunakan berbagai benda kerja dan proses pengukuran yang cepat dan akurat, contoh benda kerja seperti lembaran papan dan bagian pengolahan. Aplikasi lain yang penting dari alat ukur ini adalah untuk mengawasi atau mengecek berbagai pipa dan bejana tekan dalam peralatan produksi, dan mengawasi atau mengecek tingkat penipisan pada saat beroperasi atau digunakan. Alat ini bisa secara luas digunakan dalam minyak bumi, kimia, metalurgi, pengiriman, kedirgantaraan, penerbangan dan bidang lainnya (www.AlatUji.com).

2.13 Mikroskop Stereo

Mikroskop stereo atau mikroskop stereoskopik adalah alat optik yang mempunyai perbedaan dari mikroskop lainnya dari sisi instrumen dan prinsip kerjanya (Anonim, 2014). Mikroskop stereo merupakan alat optik dengan gabungan dua mikroskop yang memiliki dua lensa objektif dan lensa okuler serta dilengkapi prisma ganda yang berfungsi menghasilkan gambar nyata dan tiga dimensi (Locquin dan Langeron, 1983). Mikroskop stereo hanya dapat digunakan untuk melihat benda yang berukuran relatif besar, contohnya embrio ayam, akar krisan, bunga. Pada mikroskop stereo mempunyai perbesaran yang rendah namun fokus kedalaman dan luasan pandang yang lebih besar dibanding mikroskop yang digabungkan (Summerscales, 1998). Cahaya mikroskop stereo menggunakan tercermin (episcopic) iluminasi yaitu cahaya yang memantul dari permukaan benda yang diamati.

Sifat-sifat mikroskop stereo ialah mempunyai dua lensa objektif dan okuler, perbesaran tidak terlalu kuat tetapi yang lebih diutamakan adalah medan pandang yang luas dan jarak kerja yang panjang; objek dapat diamati baik dalam keadaan kering maupun basah, perbesaran lensa objektif 1x atau 2x sedangkan lensa okuler 15x atau 20x sehingga perbesaran total sampai 30x, latar belakang meja objek disesuaikan dengan objek yang akan diamati, tidak dilengkapi dengan kondensor, alat pengatur halus dan diafragma.

2.14 XRD (X-Ray Diffraction)

Analisa XRD adalah analisa yang digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan suatu senyawa dengan mengamati pola pembiasan cahaya sebagai akibat dari berkas cahaya yang dibiaskan oleh material yang memiliki susunan atom pada kisi kristalnya.

Secara sederhana, cara kerja dari XRD adalah pada setiap senyawa tersusun atom-atom yang membentuk suatu bidang. Jika sebuah bidang memiliki bentuk tertentu, maka partikel cahaya (foton) yang datang dengan sudut tertentu hanya akan menghasilkan pola pantulan maupun

pembiasan yang khas. Dengan kata lain, tidak mungkin foton yang datang dengan sudut tertentu pada sebuah bidang dengan bentuk tertentu akan menghasilkan pola pantulan ataupun pembiasan yang bermacam-macam. Sebagai gambaran, bayangan sebuah objek akan membentuk pola yang sama seandainya cahaya berasal dari sudut datang yang sama. Kekhasan pola difraksi yang tercipta inilah yang dijadikan landasan dalam analisa kualitatif untuk membedakan suatu senyawa dengan senyawa yang lain menggunakan instrumen XRD. Pola unik yang terbentuk untuk setiap difraksi cahaya pada suatu material seperti halnya fingerprint (sidik jari) yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi senyawa yang berbeda (Setiabudi, 2012).

2.15 Data Produksi Pabrik Gula

Dalam sistem operasi pabrik gula pada umumnya, setiap pabrik gula ada 2 musim yaitu musim Giling (mesin beroperasi) dan musim *overhaul* (mesin tidak beroperasi). Di pabrik gula pagotan pada saat musim giling selama +- 4 bulan dan sisanya musim *overhaul* difokuskan pada pemeliharaan mesin untuk Giling berikutnya. Dibawah ini adalah tabel data harian giling tahun 2015-2019 :

Tabel 2.3 Data Harian Giling Pabrik Gula Pagotan (Sumber : Instalasi Teknik Pabrik Gula Pagotan)

Tahun Giling	2015	2016	2017	2018	2019
Jumlah Hari	117 Hari	134 Hari	103 Hari	109 Hari	107 Hari
Periode	1	2	3	4	5