

KIMIA AIR

IVANA OCTAVIANITA

DIREKTORAT PENGELOLAAN FASILITAS KETENAGANUKLIRAN
BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL

18 Februari 2025

Kompetensi Dasar

Memahami peran kimia air dalam keselamatan operasi reaktor nuklir

Indikator Keberhasilan

Menjelaskan syarat parameter kimia air dalam operasi reaktor

Menjelaskan metode pengolahan air dengan resin penukar ion beserta fungsi dan cara kerjanya

Mengetahui permasalahan secara umum dalam sistem pendingin dan cara menanganinya (korosi, kerak, lumut)

Pendingin Reaktor

Pendingin Primer

- Pendingin elemen bakar
- Moderator neutron cepat
- Perisai radiasi

Pendingin Sekunder

Mengambil panas dari pendingin primer

Tujuan Pemeliharaan Air Pendingin Primer

- Meminimalkan korosi
- Meminimalkan tingkat radiasi
- Meminimalkan fouling pada permukaan penukar panas

Tujuan Pemeliharaan Air Pendingin Sekunder

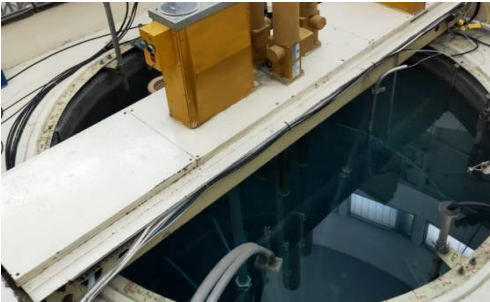
- Menekan timbulnya korosi
- Menekan timbulnya kerak
- Lumut / mikroorganisme

Persyaratan Teknis Air Tangki Reaktor Kartini



Air make up Pendingin Primer

- pH 5.5 – 7
- Konduktivitas $\leq 3 \mu\text{S/cm}$



Air Pendingin Primer

- pH 5.5 – 7
- Resisivitas $\geq 2 \text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$
- Kadar Na, Mg, Ca maks 1 ppm



Air Pendingin Sekunder

- pH 5.5 – 7
- Konduktivitas $< 800 \mu\text{S/cm}$

Resiko Persyaratan Teknis Tidak Terpenuhi

pH basa

- Logam Al dapat bereaksi dengan basa
 - Larut dan korosi
 - Pengikisan dinding tangki
- Indikator adanya kation (pengotor)

pH asam

- Semua logam bereaksi dengan asam
 - Larut dan korosi
 - Pengikisan dinding tangki

Konduktivitas (DHL)

DHL > : Konsentrasi ion > : Radioaktivitas >

Konduktivitas air menunjukkan banyaknya jumlah ion yang terlarut. Jumlah ion yang tinggi dapat menjadi media transport bagi gerakan elektron pada proses redoks sehingga mengakibatkan percepatan proses korosi

Kesadahan Air

Sumber Air :

- Air Permukaan

Air hujan yang tidak mengalami peresapan (infiltrasi)

ex. Air laut, air danau, air sungai

- Air tanah

Air hujan yang meresap dalam tanah sehingga mengalami beberapa penyerapan dan penyaringan secara ilmiah.

Air yang melewati beberapa lapisan ini akan menyebabkan terjadinya kesadahan air (*hardness of water*).

Kesadahan Air

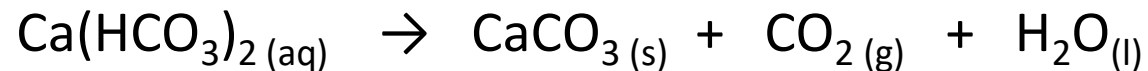
- Air sadah (air keras) adalah air yang mengandung jumlah kadar mineral yang cukup tinggi (Ca, Mg, Na, Mn, Fe, Cl, SO₄, dst).
Umumnya mineral pembentuk kesadahan adalah ion bervalensi dua seperti ion Ca²⁺ dan Mg²⁺
- Tidak dapat langsung digunakan sebagai air pendingin

Kesadahan Air

Berdasarkan anion yang diikatnya, kesadahan diklasifikasikan menjadi dua :

Kesadahan Sementara : anion yang diikat oleh Ca^{2+} dan Mg^{2+} adalah HCO_3^-
($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ dan $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$)

- Kesadahan ini dapat dihilangkan dengan cara pemanasan. Pada suhu tinggi garam hidrogen karbonat dari $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ akan terurai dan ion Ca^{2+} mengendap sebagai CaCO_3



Kesadahan Tetap : anion yang diikat oleh Ca^{2+} dan Mg^{2+} adalah ion Cl^- , SO_4^{2-} , atau NO_3^-

- Kesadahan tidak dapat dihilangkan dengan pemanasan, namun dengan cara diendapkan menggunakan garam karbonat Na_2CO_3 , $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ sehingga garam kalsium dan magnesium dapat dipisahkan dari air



Metode Pengolahan Air

Koagulasi - Flokulasi

- Memisahkan padatan yang tersuspensi dalam air melalui penambahan koagulan ($Al_2(SO_4)_3$, $Fe_2(SO_4)_3$, PAC) disertai pengadukan berkecepatan rendah untuk membentuk flok.
- Menambahkan bahan kimia ke dalam air agar partikel yang sulit mengendap saling berikatan membentuk flok yang lebih besar dan berat
- Hampir semua logam mengendap dalam suasana basa, kecuali logam alkali dan alkali tanah

Sedimentasi - Filtrasi

- Proses pengendapan padatan secara gravitasi, yang terjadi setelah mengalami proses koagulasi dan flokulasi.
- Pengotor yang terlepas dari suspensi cairan akan mengendap menjadi sedimen, sedangkan air dipisahkan dengan cara penyaringan

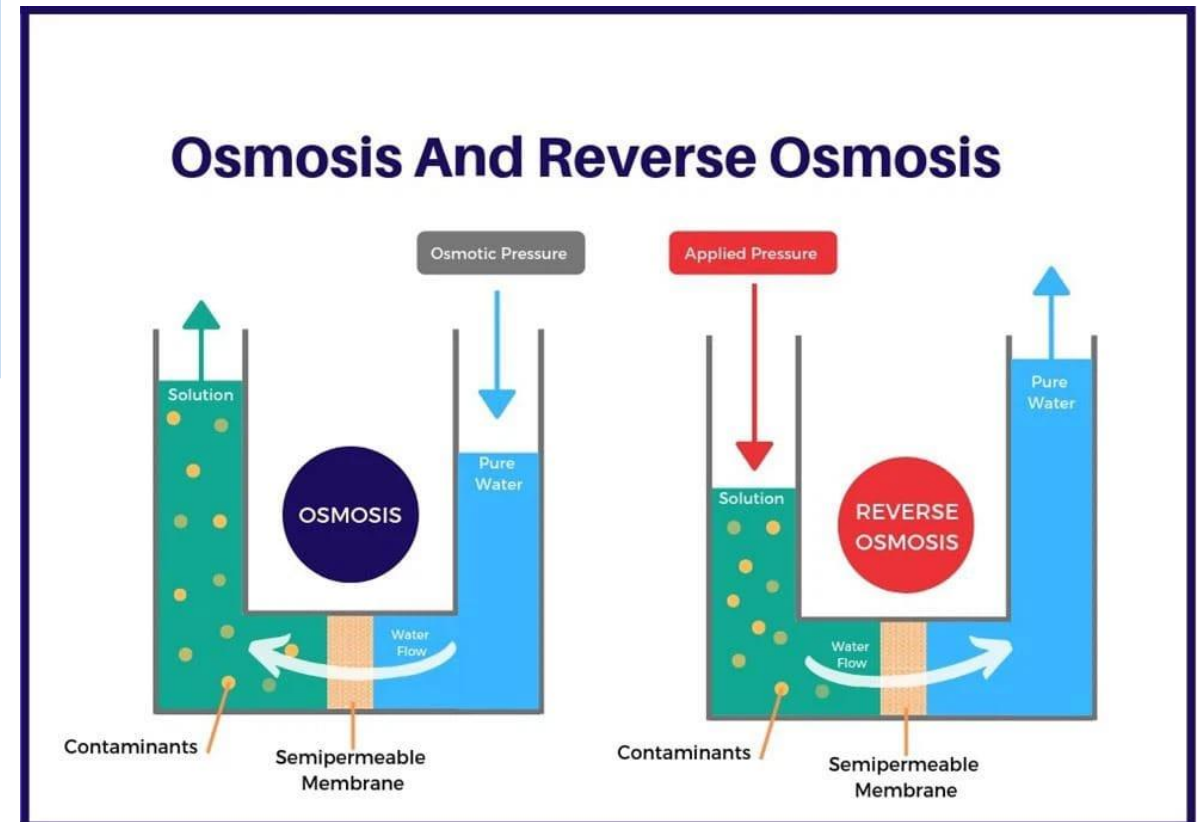
Metode Pengolahan Air

Pelunakan : proses menghilangkan mineral-mineral penyebab kesadahan (Ca & Mg)

Osmosis : *solvent* (biasanya air) akan mengalir dari daerah **berkonsentrasi rendah** ke daerah **berkonsentrasi tinggi** melalui sebuah **membran semipermeabel**

Reverse Osmosis (Osmosis Terbalik) :

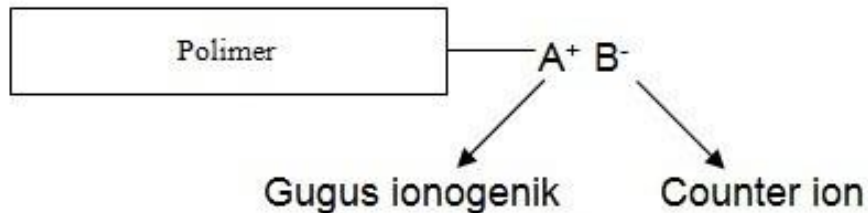
- proses pemaksaan sebuah *solvent* dari daerah **konsentrasi tinggi** melalui sebuah **membran** ke daerah **konsentrasi rendah** dengan menggunakan sebuah tekanan melebihi tekanan osmotik



Metode Pengolahan Air

Resin Penukar Ion

proses pertukaran ion, dimana ion yang tidak dikehendari (dari air) akan dipertukarkan oleh ion yang berasal dari resin



Gugus ionogenik : ion yang terikat pada matriks polimer

Counter ion : ion yang dipertukarkan

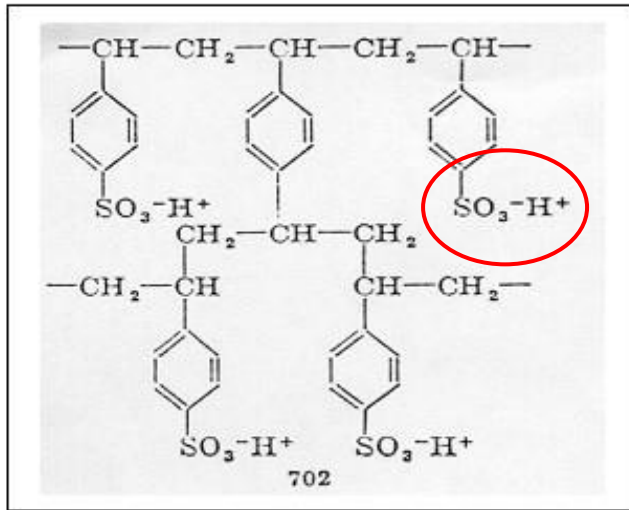
Berdasarkan gugus fungsinya :

- Resin penukar kation
- Resin penukar anion



Resin Penukar Ion

Resin Penukar Kation



Penukar kation : gugus ionogenik bermuatan negatif (anionik)

Gugus ionogenik : SO_3^-

Counter ion : H^+

Contoh gugus fungsi resin penukar kation :
sulfonik (asam kuat), karboksilat (asam lemah)

Penukar anion : gugus ionogenik bermuatan positif (kationik)

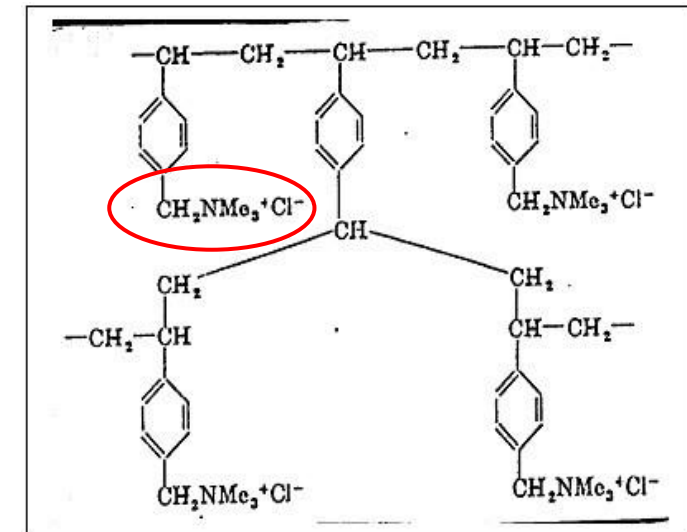
Gugus ionogenik : $\text{CH}_2\text{NMe}_3^+$

Counter ion : Cl^-

Contoh gugus fungsi resin penukar anion :

Amino (basa lemah), amino substitusi / amonium kuartener (basa kuat)

Resin Penukar Anion



Resin Penukar Ion Campuran

ROHM AND HAAS 

LENNTECH WATER TREATMENT AND Air purification

PRODUCT DATA SHEET

AMBERLITE™ IRN150 **Nuclear Grade Mixed Bed Resin**

LENNTECH

info@lenntech.com

www.lenntech.com

Tel. +31-15-261.09.00

Fax. +31-15-261.62.89

PROPERTIES

Physical form _____

Matrix _____

Shipping weight _____

Functional group _____

Ionic form as shipped _____

Spherical beads

Styrene divinylbenzene copolymer

690 g/L

Cation resin
Sulphonic acid
H⁺

Anion resin
Trimethylammonium
OH⁻

Reaksi Penukaran Ion



Reaksi Penukaran Ion

Pertukaran ion terjadi karena perbedaan **afinitas**

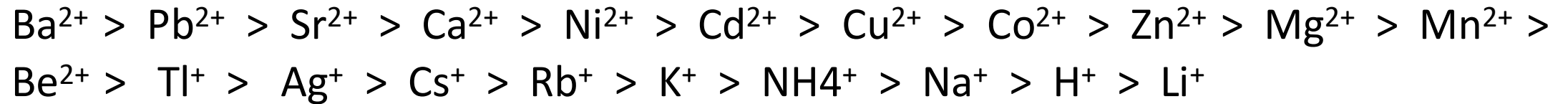
- Pada konsentrasi rendah dan temperatur kamar, **tingkat pertukaran bertambah dengan bertambahnya valensi (muatan)** dari penukar ion



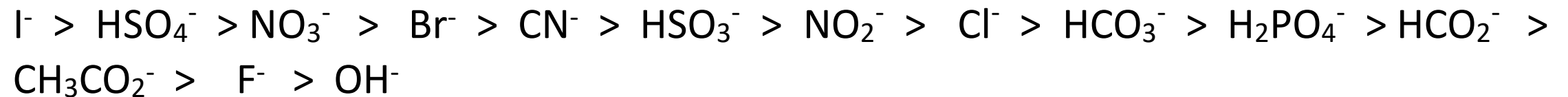
- Pada konsentrasi rendah, temperatur kamar, dan **valensi konstan**, tingkat pertukaran bertambah dengan bertambahnya nomor atom / jari-jari pada penukar ion

Perbandingan Afinitas Ion

Afinitas Ion Positif (Kation)



Afinitas Ion Negatif (Anion)



Regenerasi Resin

Jika seluruh molekul resin telah mengikat ion sasaran mereka maka resin akan mencapai titik jenuhnya sehingga perlu dilakukan regenerasi

PRODUCT DATA SHEET

AMBERLITE™ IRI20 Na
Industrial Grade Strong Acid Cation Exchanger

Regeneration

Regenerant _____	HCl	H ₂ SO ₄	NaCl
Level (g/L) _____	50 to 150	60 to 240	80 to 250
Concentration (%) _____	5 to 8	0.7 to 6	10
Minimum contact time _____	30 minutes		

AMBERLITE® IRA402 OH

Strong Base Anion Exchanger

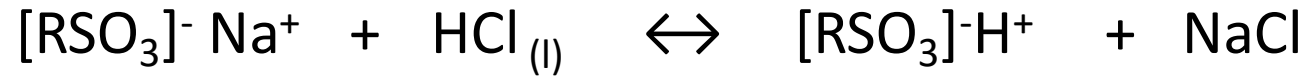
PRODUCT DATA SHEET

Regenerant (100% basis) _____
 Flow rate _____
 Concentration _____
 Level _____
 Minimum contact time _____

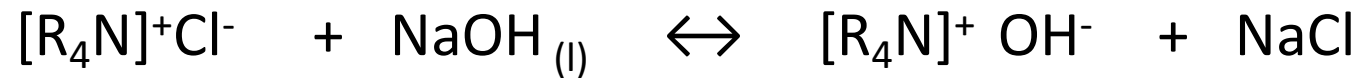
NaOH
 0.25 to 0.5 gpm/ft³
 2 to 4 %
 2 to 12 lbs/ft³
 30 minutes

Reaksi Regenerasi

Regenerasi kation exchanger



Regenerasi anion exchanger

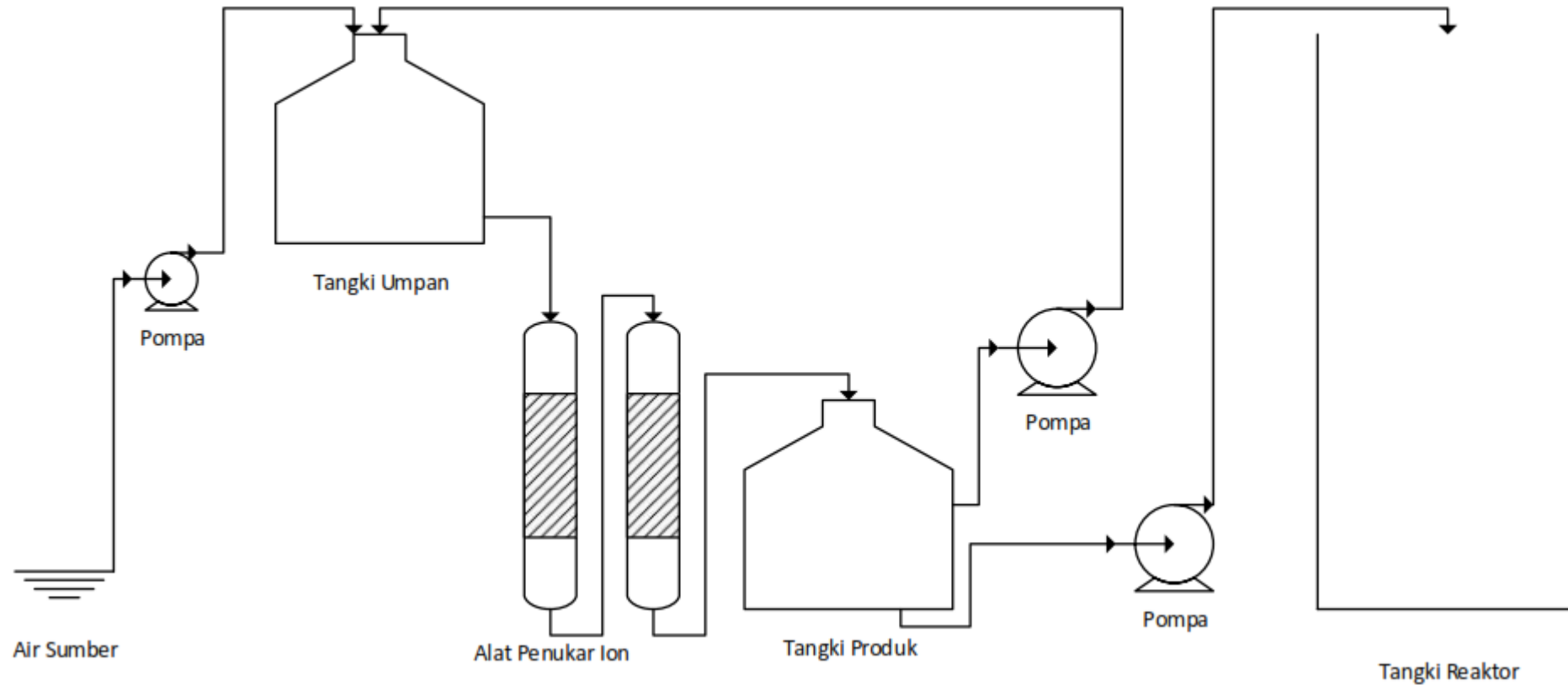


PRODUCT DATA SHEET

AMBERLITE™ IRN150
Nuclear Grade Mixed Bed Resin

AMBERLITE IRN150 resin is recommended in any non-regenerable mixed bed application where reliable production of the highest quality water is required and where the "as supplied" resin must have an absolute minimum of ionic and non-ionic contamination.





Gambar Instalasi Produksi Air Pendingin Primer Reaktor Kartini

Handling Resin

Yang perlu diperhatikan saat menangani resin :

To maintain the high purity of nuclear grade resins,

- deionized water should be used for all resin handling.
- Contact of the resin with air should also be minimized to avoid CO₂ pickup and subsequent loss of capacity of the anion resin.



Permasalahan Pada Sistem Air Pendingin

Korosi

Kerusakan atau degradasi logam akibat reaksi reduksi-oksidasi yang terjadi antara logam dengan lingkungannya yang menghasilkan senyawa-senyawa tidak dikehendaki



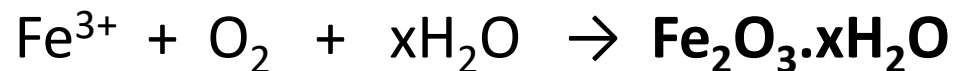
Oksidasi : besi



Reduksi : oksigen



Oksidasi



Karat

Faktor yang Mempengaruhi Terjadinya Korosi

Konsentrasi H₂O dan O₂

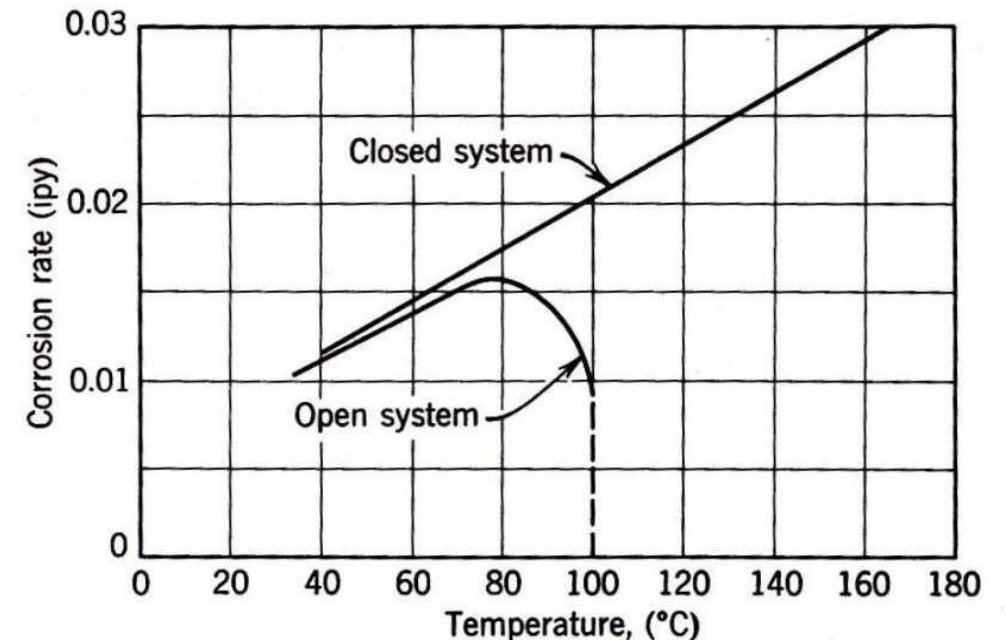
- Semakin tinggi kelembapan udara dan semakin banyak kandungan O₂ di udara maka semakin cepat laju korosi

Temperatur

- Kenaikan suhu akan menyebabkan kenaikan laju korosi
- Pengaruh suhu terhadap laju korosi pada suatu logam akan memberikan hasil yang berbeda tergantung jenis lingkungannya

Contoh :

Pengaruh suhu terhadap laju korosi pada korosi yang dikendalikan adanya oksigen



Faktor yang Mempengaruhi Terjadinya Korosi

pH

- Suasana asam akan mempercepat terjadinya korosi

Kecepatan aliran air

- Kecepatan aliran air yang tinggi dapat merusak lapisan pelindung oksida pada permukaan logam
- Laju korosi bertambah dengan adanya kenaikan kecepatan aliran air

Garam terlarut

- Keberadaan garam terlarut akan meningkatkan konduktivitas air
- Garam terlarut meningkatkan laju korosi (garam klorida dan sulfat)
- Garam terlarut menghambat laju korosi (ion karbonat dan bikarbonat)

Jenis – Jenis Korosi

Korosi General

Korosi yang terjadi secara merata pada permukaan logam.

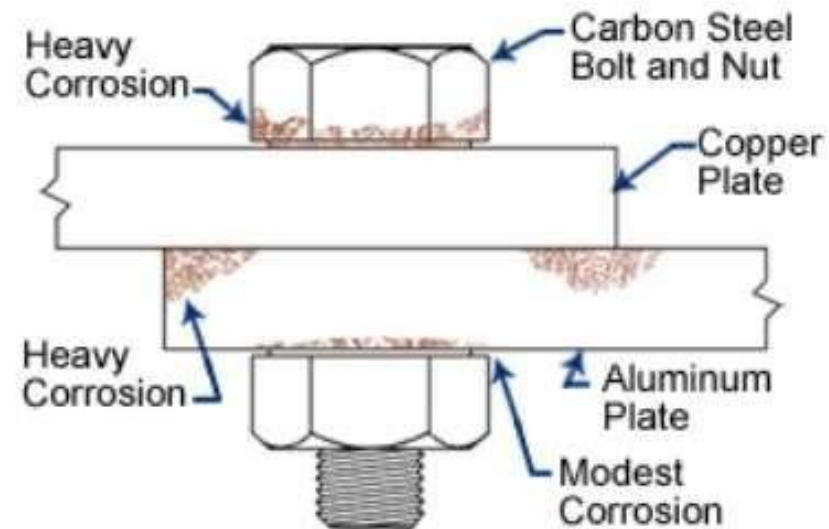
Hal ini terjadi karena proses oksidasi dan reduksi telah menyerang seluruh permukaan



Jenis – Jenis Korosi

Korosi Galvanik

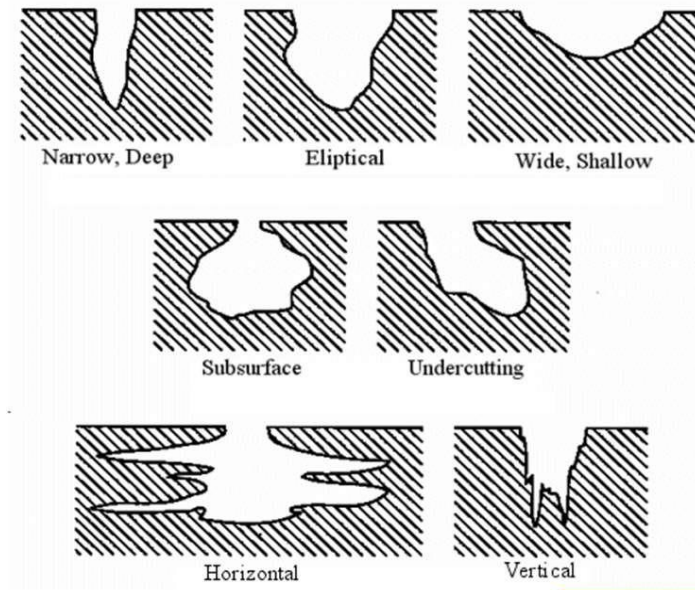
Korosi yang terjadi karena adanya 2 logam yang berbeda bersentuhan di lingkungan elektrolit, jenis logam yang lebih mudah teroksidasi akan lebih cepat terkorosi



Jenis – Jenis Korosi

Pitting Corrosion (Korosi Sumur)

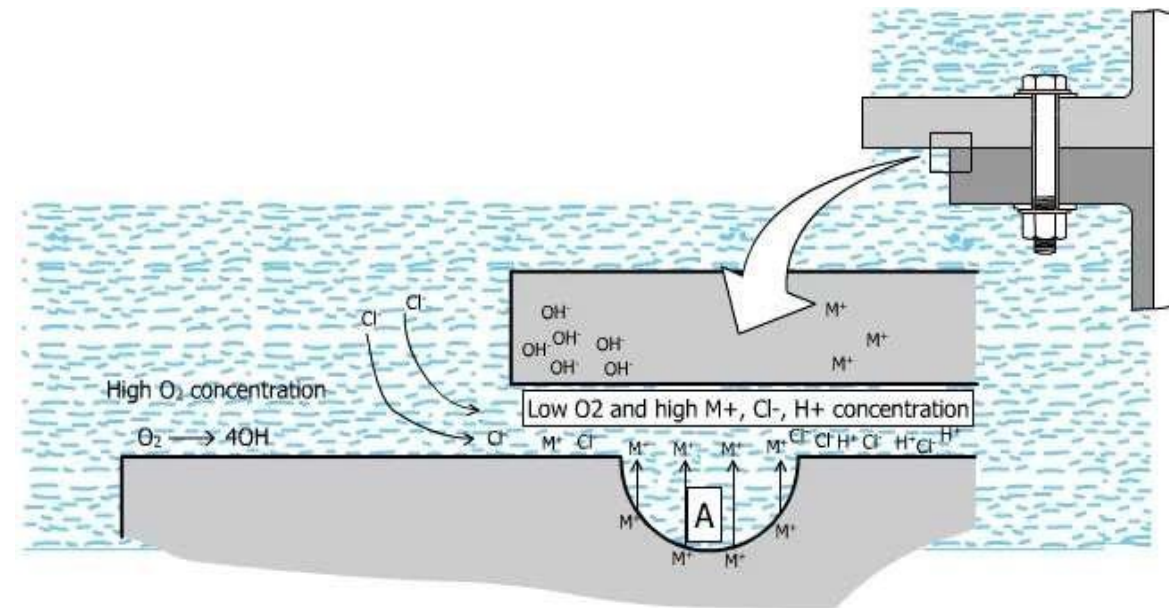
Korosi yang disebabkan karena komposisi logam yang tidak homogen, dimana pada daerah batas timbul korosi yang berbentuk sumur



Jenis – Jenis Korosi

Crevice Corrosion (Korosi Celah Sempit)

Korosi yang terjadi pada logam yang berdempetan dengan logam lain, terjadi karena adanya perbedaan konsentrasi oksigen



Mechanism of crevice corrosion.

Korosi pitting dan crevice merupakan bahaya mayor pada fasilitas nuklir karena penetrasi pada metal secara cepat namun dengan overall loss of mass yang sedikit

Untuk meminimalkan terjadinya Korosi pitting dan crevice dapat dilakukan upaya sebagai berikut:

1. Menghindari kondisi stagnan dan arus yang lambat
2. Menggunakan logam dan alloys yang lebih tahan korosi
3. Menghindari penyebab korosi pada media yang menyebabkan pitting korosi (contoh : klorida dan oksigen)
4. Merancang sistem dan komponen yang tidak menyebabkan adanya crevice korosi

Metode Pengendali Korosi

Perlindungan Katodik / Pengorbanan Anoda

- Melapisi besi dengan logam lain yang lebih mudah teroksidasi (ex : Mg, Zn)

Pelapisan / Coating

- Penggunaan lapisan pelindung untuk mencegah kontak langsung dengan air (H_2O) dan udara (O_2)
ex. Pengecatan, Melumuri dengan oli

Pemaduan Logam / Alloy

- Memadukan 2 logam atau lebih untuk mendapatkan sifat logam baru yang lebih tahan korosi

Water Treatment

- Melakukan treatment pada air sehingga logam yang berinteraksi dengan air terkontrol dari pengaruh korosi

Deret Volta

Li K Ba Sr Ca Na Mg Al Mn Zn Cr Fe Cd Co Ni Sn Pb H Sb Bi Cu Hg Ag Pt Au

← E^0 kecil ; mudah dioksidasi

→ E^0 besar ; mudah direduksi

Korosi Paduan Aluminium

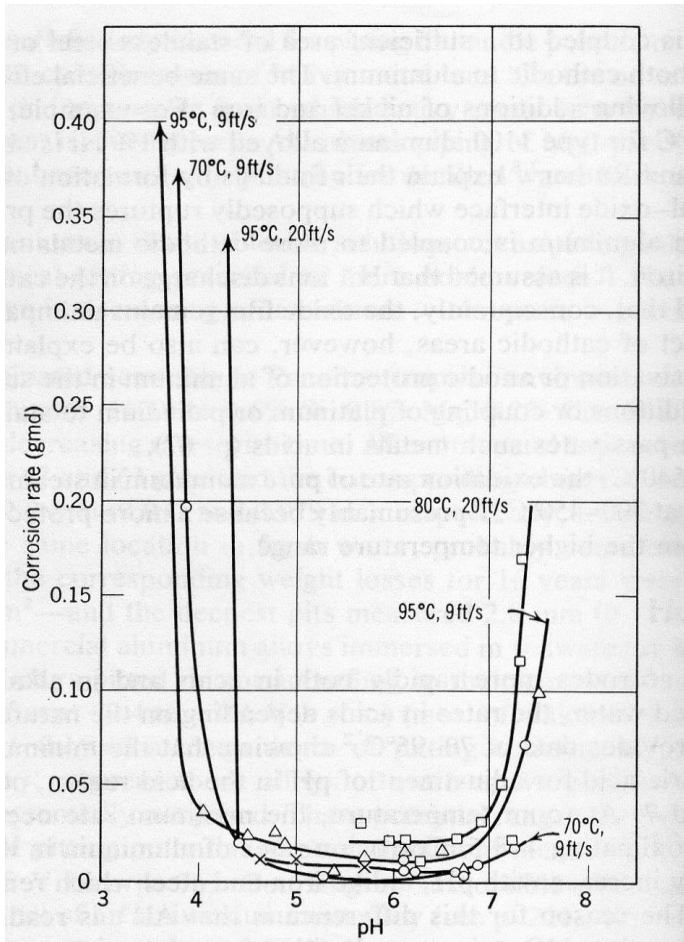
Aluminium adalah logam yang ringan dan mempunyai ketahanan yang baik terhadap korosi. Lebih baik daripada besi

Hal ini karena adanya fenomena pasivasi (proses pembentukan lapisan aluminium oksida Al_2O_3 pada permukaan logam aluminium segera setelah logam terpapar oleh udara bebas/ oksigen). Lapisan oksida ini sangat kuat sehingga mencegah proses korosi lebih lanjut

namun

Aluminium dapat mengalami korosi jika berada pada lingkungan dan kondisi tertentu

Korosi Paduan Aluminium



Faktor korosi pada Aluminium

- pH
- *Impurities* (pengotor padat)
- Kotoran organik

Kondisi yang dapat menekan laju korosi pada Aluminium dalam media air :

1. Menjaga pH pada kondisi sedikit asam
2. Menghilangkan oksigen terlarut
3. Menghilangkan pengotor padat dan terlarut
4. Menjaga kontak dengan pengotor organik
5. Menjaga air pada kondisi murni

Efek pH terhadap korosi pada aluminium murni (1100) di dalam aerated solution dan diukur pada temperatur ruang

Korosi Stainless Steel

Stainless Steel tidak tahan terhadap :

1. HCl, HBr, HF pekat atau encer, dan garam yang terhidrolisis menjadi asam tersebut
2. Klorida pengoksidasi (ex. FeCl_3 , HgCl_2 , CuCl_2 , NaOCl)
3. Air laut, kecuali untuk periode yang singkat atau bila dilindungi secara katodik
4. Beberapa asam organik, termasuk asam oksalat, asam format, dan asam laktat
5. Paduan austenitik bertekanan (misal tipe 304) di perairan yang mengandung Cl^- plus O_2 pada suhu di atas $60 - 80^\circ\text{C}$

Permasalahan Pada Sistem Air Pendingin

Kerak

Dalam sistem pendingin, kerak terbentuk karena ion pembentuk kerak dalam air terlampaui jenuh dan bereaksi membentuk garam berupa kerak.

Komponen pembentuk kerak yang dijumpai pada sistem air pendingin :

1. Kalsium karbonat (CaCO_3)
2. Kalsium fosfat ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) ; Zink fosfat ($\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$)
3. Kalsium sulfat (CaSO_4)
4. Silika (SiO_2) ; Magnesium silikat (Mg_2Si)

Dalam sistem pendingin, kerak yang terbentuk di permukaan transfer kalor pada penukar panas (HE) akan menurunkan koefisien perpindahan panas yang menyebabkan menurunnya nilai transfer kalornya (NTU)

Faktor yang Mempengaruhi Terjadinya Kerak

Kualitas Air

- Pembentukan kerak dipengaruhi oleh konsentrasi ion-ion pembentuk kerak (kesadahan Ca dan Mg, konsentrasi fosfat), pH yang tinggi, padatan terlarut tinggi

Temperatur Air

- Komponen pembentuk kerak cenderung mengendap atau menempel sebagai kerak pada temperatur tinggi (Temperatur tinggi ; kelarutan rendah ; komponen pembentuk kerak tinggi)
- Laju pergerakan mulai meningkat pada temperatur air 50⁰C atau lebih (kadang problem terjadi pada temperatur di atas 60⁰C)

Laju Alir Air

- Laju alir sistem rendah maka laju pembentukan kerak meningkat
- Dalam kondisi tanpa pemakaian penghambat kerak, sistem dengan laju alir 0.6 m/detik maka laju pembentukan kerak hanya seperlima dibanding pada laju alir air 0.2 m/detik

Metode Pengendali Kerak

Pengendalian pH

- Injeksi asam (HCl, H₂SO₄) untuk pencegahan pengerasan oleh garam kalsium, garam bivalen, garam fosfat

Peningkatan Kondisi Operasi Alat Penukar Panas

- Untuk menghambat terbentuknya kerak pada penukar panas

Pelunakan dan Pembebasan Mineral Air Make-up

- Untuk mencegah terjadinya kerak pada air makeup maka diperlukan pemakaian air bebas mineral

Pemakaian inhibitor kerak

- Polifosfat (mencegah terbentuknya CaCO₃), inhibitor korosi dan kerak

Permasalahan Pada Sistem Air Pendingin

Lumut / Mikroorganisme

Lumut merupakan mikroorganisme yang dominan pada pendingin sekunder. Lumut dapat berfotosintesa dengan energi matahari dan zat organik.

Lumut dapat menyebabkan turunnya koefisien panas dari alat penukar panas, juga menyebabkan korosi lokal pada peralatan dan sistem pemipaan

Faktor yang Mempengaruhi Tumbuhnya Lumut

- Zat makanan bagi mikroorganismes
- Temperatur air
- pH
- Oksigen terlarut
- Sinar matahari
- Jumlah bakteri
- Kekeruhan
- Volume lumut
- Tingkat kelekatan lumut
- Laju alir air

Bagaimana mengendalikan lumut dan korosi di sistem sekunder jika beberapa faktor diatas tetap ada?

- (Nalco-23226) → Inhibitor korosi dan kerak
- NaOCl → Pengendali lumut
- H₂SO₄ → Pengendali pH



THANK YOU FOR YOUR ATTENTION



DIREKTORAT PENGELOLAAN FASILITAS KETENAGANUKLIRAN BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL



Jl. Babarsari, Kotak Pos 6101 ykbb Yogyakarta, 55281, Indonesia



(+62 274) 488435 | Fax. (+62 274) 525 1110



ivan003@brin.go.id