

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Air Danau**

Danau adalah sejumlah air (tawar atau asin) yang terakumulasi di suatu tempat yang cukup luas, yang dapat terjadi karena mencairnya gletser, aliran sungai, atau karena adanya mata air. Biasanya danau dapat dipakai sebagai sarana rekreasi dan olah raga. Salah satu danau kecil yang terdapat di daerah kota Semarang yaitu Danau Tlogosari yang Letaknya di Jalan Tlogosari Tembalang. Manfaat air danau adalah Danau mempunyai banyak kegunaan antara lain untuk pengairan lahan pertanian (irigasi), pembangkit tenaga listrik, perikanan, rekreasi, olahraga, dan pelayaran. Pemanfaatan bergantung kepada kondisi yang dimiliki danau atau waduk tersebut. Waduk juga memiliki fungsi menampung kelebihan air, agar tidak menimbulkan banjir di daerah aliran sungai bagian hilir. (Anonim, 2015)

#### **2.2 Kesadahan**

Kesadahan air adalah kandungan mineral-mineral tertentu di dalam air, umumnya ion kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) dalam bentuk garam karbonat. Air sadah atau air keras adalah air yang memiliki kadar mineral yang tinggi, sedangkan air lunak adalah air dengan kadar mineral yang rendah. Selain ion kalsium dan magnesium, penyebab kesadahan juga bisa merupakan ion logam lain maupun garam-garam bikarbonat dan sulfat. Metode paling sederhana untuk menentukan kesadahan air adalah dengan sabun. Dalam air lunak, sabun akan

menghasilkan busa yang banyak. Pada air sadah, sabun tidak akan menghasilkan busa atau menghasilkan sedikit sekali busa. Kesadahan air total dinyatakan dalam satuan ppm berat per volume (w/v) dari  $\text{CaCO}_3$ . Air sadah digolongkan menjadi dua jenis, berdasarkan jenis anion yang diikat oleh kation ( $\text{Ca}^{2+}$  atau  $\text{Mg}^{2+}$ ), yaitu air sadah sementara dan air sadah tetap.

### 2.2.1 Air sadah sementara

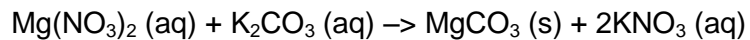
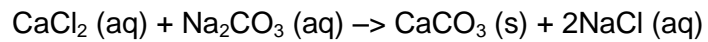
Air sadah sementara adalah air sadah yang mengandung ion bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ), atau boleh jadi air tersebut mengandung senyawa kalsium bikarbonat ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ) dan atau magnesium bikarbonat ( $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ ). Air yang mengandung ion atau senyawa-senyawa tersebut disebut air sadah sementara karena kesadahannya dapat dihilangkan dengan pemanasan air, sehingga air tersebut terbebas dari ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan atau  $\text{Mg}^{2+}$ . Dengan jalan pemanasan senyawa-senyawa tersebut akan mengendap pada dasar ketel. Reaksi yang terjadi adalah:



### 2.2.2 Air sadah tetap

Air sadah tetap adalah air sadah yang mengandung anion selain ion bikarbonat, misalnya dapat berupa ion  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  dan  $\text{SO}_4^{2-}$ . Berarti senyawa yang terlarut boleh jadi berupa kalsium klorida ( $\text{CaCl}_2$ ), kalsium nitrat ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ), kalsium sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ), magnesium klorida ( $\text{MgCl}_2$ ), magnesium nitrat ( $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ ), dan magnesium sulfat ( $\text{MgSO}_4$ ). Air yang mengandung senyawa-senyawa tersebut disebut air sadah tetap, karena kesadahannya tidak bisa dihilangkan hanya dengan cara pemanasan. Untuk membebaskan air tersebut dari kesadahan, harus dilakukan dengan cara kimia, yaitu dengan mereaksikan air tersebut dengan zat-zat kimia

tertentu. Pereaksi yang digunakan adalah larutan karbonat, yaitu  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (aq) atau  $\text{K}_2\text{CO}_3$  (aq). Penambahan larutan karbonat dimaksudkan untuk mengendapkan ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan atau  $\text{Mg}^{2+}$ . Dengan Reaksi :

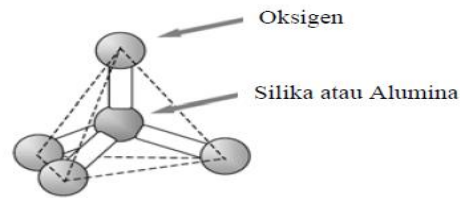


Dengan terbentuknya endapan  $\text{CaCO}_3$  atau  $\text{MgCO}_3$  berarti air tersebut telah terbebas dari ion  $\text{Ca}^{2+}$  atau  $\text{Mg}^{2+}$  atau dengan kata lain air tersebut telah terbebas dari kesadahan.

### 2.3 Zeolit

Zeolit adalah mineral kristal alumina silikat berpori terhidrat yang mempunyai stuktur kerangka tiga dimensi, terbentuk dari tetrahedral  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  dan  $[\text{AlO}_4]^-$ . Kedua tetrahedral diatas dihubungkan oleh atom-atom oksigen, menghasilkan struktur tiga dimensi terbuka dan berongga yang didalamnya diisi oleh atom-atom logam biasanya logam-logam alkali atau alkali tanah dan molekul air yang dapat bergerak bebas. (Breck,1974)

Umumnya struktur zeolit adalah suatu polimer anorganik berbentuk tetrahedral unit  $\text{TO}_4$  dimana T adalah  $\text{Si}^{4+}$  atau  $\text{Al}^{3+}$  dengan atom O berada diantara 2 atom T.



Gambar 1. Struktur kimia Zeolit

Dewasa ini dikenal 2 jenis zeolit, yakni zeolit alam dan zeolit sintesis, namun sekarang zeolit yang paling banyak digunakan adalah zeolit sintesis.

#### 2.4 Karbon Aktif

Karbon aktif adalah senyawa karbon yang telah ditingkatkan daya adsorpsinya dengan melakukan proses karbonisasi dan aktivasi. Pada proses tersebut terjadi penghilangan hidrogen, gas-gas dan air dari permukaan karbon sehingga terjadi perubahan fisik pada permukaannya. Aktivasi ini terjadi karena terbentuknya gugus aktif akibat adanya interaksi radikal bebas pada permukaan karbon dengan atom-atom seperti oksigen dan nitrogen.

Karbon aktif terdiri dari 87 - 97 % karbon dan sisanya berupa hidrogen, oksigen, sulfur dan nitrogen serta senyawa-senyawa lain yang terbentuk dari proses pembuatan. Volume pori-pori karbon aktif biasanya lebih besar dari 0,2 cm<sup>3</sup>/gram. Pada dasarnya karbon aktif dapat dibuat dari semua bahan yang mengandung karbon baik yang berasal dari tumbuh-tumbuhan, binatang maupun barang tambang seperti berbagai jenis kayu, sekam padi, tulang binatang, batu bara, kulit biji kopi, tempurung kelapa, tempurung kelapa sawit dan lain-lain. Bahan-bahan alami tersebut dipreparasi dengan cara karbonisasi dan aktivasi sehingga menghasilkan

karbon aktif. Karbon aktif digunakan pada berbagai bidang aplikasi sesuai dengan jenisnya. (Anonim, 2015)

## **2.5 Ion Exchanger**

Zat terlarut meliputi garam-garam anorganik. Fraksi terbesar dari bahan terlarut terdiri dari bahan-bahan anorganik padat. Ion-ion ini adalah klor, natrium, belerang (sebagai sulfat), magnesium, kalsium, kalium (tabel 1.2). Empat ion berikutnya menambah 0,71% berat, hingga sebelas ion bersama-sama membentuk 99,99% berat zat terlarut. (Nybakken J.W, 1992)

Salinitas dari berbagai tempat di lautan terbuka yang jauh dari daerah pantai variasinya sempit saja, biasanya antara 34-37 per seribu, dengan rata-rata 35 per seribu. Perbedaan salinitas terjadi karena perbedaan dalam penguapan dan presipitasi. (Nybakken, J. W, 1992) Salinitas lautan di daerah tropik lebih tinggi karena evaporasi lebih tinggi, sedangkan pada lautan di daerah beriklim sedang salinitasnya rendah karena evaporasi lebih rendah, di daerah pantai dan laut yang tertutup sebagian, salinitasnya lebih bervariasi dan memungkinkan mendekati 0 di mana sungai-sungai besar mengalirkan air tawar, sedangkan di Laut Merah dan Teluk Persia salinitasnya hampir 40%. (Nybakken, J.W, 1992)

Garam merupakan salah satu kebutuhan terpenting dalam kehidupan sehari-hari. Pembuatan garam sebagian besar dilakukan secara tradisional oleh petani garam rakyat disamping oleh perusahaan garam industri, dengan produksi garam di Indonesia. Menurut segi kualitas, produksi dalam negeri, khususnya kebutuhan untuk konsumsi masih belum memenuhi persyaratan kesehatan, terutama garam

yang dihasilkan dari petani garam, sebab mutu garam umumnya dibawah mutu II (menurut spesifikasi SNI/SII No.140-76).

Penukar Ion Penukar ion kebanyakan berupa bahan organik, yang umumnya dibuat secara sintetik. Bahan tersebut sering juga disebut resin penukar ion. Penukar ion mengandung bagianbagian aktif dengan ion yang dapat ditukar Bagian aktif semacam itu misalnya adalah :

- **Pada penukar kation :**

Kelompok-kelompok asam sulfo –  $\text{SO}_3 - \text{H}^+$  (dengan sebuah ion  $\text{H}^+$  yang dapat ditukar)

- **Pada penukar anion:**

Kelompok-kelompok amonium kuartener –  $\text{N}^+ (\text{CH}_3)_3 + \text{OH}^-$  (dengan sebuah ion  $\text{OH}^-$  yang dapat ditukar) (Bernasconi,1995)

Media penukar ion sering disebut dengan resin, terdapat 4 jenis resin yang sering dipergunakan dalam pengolahan air, antara lain :

**a. Resin kation asam kuat**

Resin kation asam kuat terbuat dari plastik atau senyawa polimer yang direaksikan dengan beberapa jenis asam seperti asam sulfat, asam posphat, dan sebagainya. Resin kation asam kuat ini mempunyai ion hydrogen ( $\text{R}^-\text{H}^+$ ), dengan adanya ion  $\text{H}^+$  yang bermuatan positif maka resin ini sering dipergunakan untuk mengambil ion-ion yang bermuatan positif. (Montgomery J.M,1985). Dalam operasionalnya, resin kation asam kuat ini dapat dioperasikan dengan kondisi ( $\text{R}^-\text{H}^+$ ) maupun dalam kondisi  $\text{R}^-\text{Na}^+$ . Pemilihan kondisi mana yang akan dioperasikan berpengaruh terhadap jenis ion yang diambil,

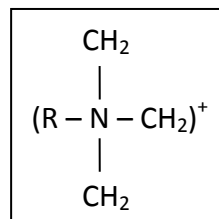
bahan kimia yang akan dihasilkan dan bahan kimia untuk pengaktifan kembali (regenerasi). (Montgomery, J.M, 1985).

**b. Resin kation asam lemah**

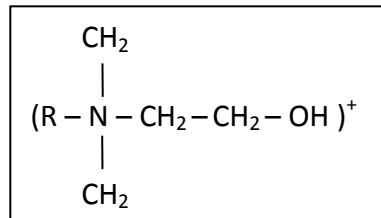
Resin kation asam lemah terbuat dari plastik atau polimer yang direaksikan dengan group asam karbonik dengan demikian Group (COOH<sup>-</sup>) sebagai penyusun resin. Resin kation asam lemah diperlukan kehadiran alkalinitis untuk melepas ion hidrogen dari resin. (Montgomery, J.M, 1985). Disamping itu, penggunaan resin kation asam lemah ini hanya terbatas pada kondisi air atau air limbah yang mempunyai derajat keasaman (pH) diatas 4 atau 5, Proses regenerasi resin kation asam lemah ini dapat dilakukan dengan larutan asam klorida (GCl) dan (H<sub>2</sub>SO<sub>2</sub>). (Montgomery, J.M, 1985)

**c. Resin anion basa kuat**

Resin anion basa kuat terbuat dari plastik atau polimer yang direaksikan dengan gugus senyawa amine atau amonium. Dua jenis resin basa kuat yang sering dipergunakan dalam pengolahan air atau air limbah adalah resin yang mempunyai tiga gugus metil sebagai berikut :



Jenis resin anion basa kuat yang lain adalah resin yang mempunyai group ethanol yang ditempatkan pada salah satu gugus metil sebagai berikut:



Resin anion basa kuat merupakan resin yang sering dipergunakan dalam mengambil ion-ion yang bermuatan negatif. Pada operasionalnya resin anion basa kuat ini dapat dioperasionalkan pada kondisi hidroksida ( $\text{R}^+ \cdot \text{Cl}^-$ ). Apabila resin anion basa kuat dioperasionalkan pada kondisi hidroksida ( $\text{R}^+ \cdot \text{OH}^-$ ), Maka resin anion basa kuat ini dapat mengambil hampir seluruh jenis ion negatif dan pada proses regenerasinya menggunakan larutan natrium hidroksida ( $\text{NaOH}$ ), sedangkan apabila resin anion basa kuat dioperasionalkan pada kondisi klorida ( $\text{R}^+ \cdot \text{Cl}^-$ ), maka ion-ion negatif yang dapat diambil seperti sulfat dan nitrat, dan pada proses regenerasinya menggunakan larutan garam ( $\text{NaCl}$ ). (Montgomery, J.M, 1985)

**d. Resin anion basa lemah**

Resin anion basa lemah dipergunakan untuk mengambil asam-asam seperti asam klorida ( $\text{HCl}$ ) atau asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) sehingga resin dikenal sebagai pengadsorpsi asam (acid adsorbers). Proses regenerasi resin anion basa lemah ini dipergunakan larutan natrium hidroksida ( $\text{NaOH}$ ), ammonium hidroksida ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) atau natrium karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). (Montgomery, J.M, 1985). Sifat-sifat penting yang diharapkan dari pemukar ion adalah daya pengambilan (kapasitas) yang besar, selektifitas yang besar, kecepatan pertukaran yang besar, ketahanan terhadap suhu, ketahanan terhadap penukar ion yang telah terbebani



dapat dilakukan dengan mudah, karena pertukaran ion merupakan suatu proses yang sangat reversibel. (Bernasconi,1995). Jenis resin-resin penukar ion (ion exchange) buatan pabrikan yang ada di Amerika Serikat ada empat pabrikan/perusahaan dengan merk dagangnya, antara lain sebagai berikut :

Duolite Internasional	: Duolit
Rohm and Haas Company	: Amberlite
Dow Chemichal Company	: Dowex
Subron Chemichal Division	: Ionac

Dan masih banyak pabrik atau perusahaan resin penukar ion (ion exchange) asing yang lain. (Montgomery, J.M, 1985)

## **2.6 Operasi Sistem Pertukaran Ion**

Operasi sistem pertukaran ion dilaksanakan dalam 4 tahap. Yaitu :

1. Tahap layanan (service)
2. Tahap pencucian balik (backwash)
3. Tahap regenerasi, dan
4. Tahap pembilasan

### **1. Tahap Layanan (service)**

Tahap layanan (service) adalah tahap dimana terjadi reaksi pertukaran ion. Tahap layanan ditentukan oleh konsentrasi ion yang dihilangkan terhadap waktu atau volume air produk yang dihasilkan. Hal lain yang penting pada tahap layanan adalah kapasitas (teoritik dan operasi) dan beban pertukaran ion (ion exchanger load).

Kapasitas pertukaran teoritik didefinisikan sebagai jumlah ion secara teoritik yang dipertukarkan oleh resin per satuan massa atau volume resin.

Kapasitas pertukaran ion teoritik ditentukan oleh jumlah gugus fungsi yang dapat diikat oleh matriks resin. Kapasitas operasi adalah kapasitas resin aktual yang digunakan untuk reaksi pertukaran pada kondisi tertentu. Beban pertukaran ion adalah berat ion yang dihilangkan selama tahap layanan dan diperoleh dari hasil kali antara volume air yang diolah selama tahap layanan dengan konsentrasi ion yang dihilangkan. Tahap layanan ini dilakukan dengan cara mengalirkan air umpan dari atas (*down flow*).

## **2. Tahap Pencucian Balik**

Tahap pencucian balik dilakukan jika kemampuan resin telah mencapai titik habis. Sebagai pencuci, digunakan air produk. Pencucian balik mempunyai sasaran sebagai berikut:

1. Pemecahan resin yang tergumpal
2. Penghilangan kantong-kantong gas dalam reaktor, dan
3. Pembentukan ulang lapisan resin

Pencucian balik dilakukan dengan pengaliran air dari bawah ke atas (*up flow*)

## **3. Tahap Regenerasi**

Tahap regenerasi adalah operasi penggantian ion yang terserap dengan ion awal yang semula berada dalam matriks resin dan pengambilan kapasitas ke tingkat awal atau ke tingkat yang diinginkan. Larutan regenerasi harus dapat menghasilkan titik puncak (mengembalikan waktu regenerasi dan jumlah larutan yang digunakan). Jika semua sistem dapat dikembalikan ke kemampuan pertukaran

awal, maka ekivalen ion yang digantikan harus sama dengan ion yang dihilangkan selama tahap layanan. Jadi secara teoritik, jumlah larutan regenerasi (dalam ekivalen) harus sama dengan jumlah ion (dalam ekivalen) yang dihilangkan (kebutuhan larutan regenerasi teoritik). Operasi regenerasi agar resin mempunyai kapasitas seperti semula sangat mahal, oleh sebab itu maka regenerasi hanya dilakukan untuk menghasilkan sebagian dari kemampuan pertukaran awal.

Efisiensi regenerasi resin penukar kation asam kuat yang diregenerasi dengan  $H_2$  anion basa kuat yang diregenerasi dengan NaOH antara 20-50%, oleh sebab itu pemakaian larutan regenerasi 2-5 kali lebih besar dari kebutuhan teoritik.

Operasi regenerasi dilakukan dengan mengalirkan larutan regenerasi dari atas, dengan menginjeksikan regeneran untuk kation adalah HCl dan untuk anion adalah NaOH. Proses regenerasi :

- Backwash, yaitu mengalirkan air bersih ke arah berlawanan melalui tangki kation atau anion sampai air keluarannya bersih.
- Melakukan slow rinse, yaitu mengalirkan air pelan-pelan untuk menghasilkan regeneran dalam resin.
- Fast rinse yaitu membilas unit dengan laju yang lebih cepat untuk menghilangkan regeneran sebelum operasi.

#### 4. Tahap pembilasan

Tahap pembilasan dilakukan untuk menghilangkan sisa larutan regenerasi yang terperangkap oleh resin, pembilasan dilakukan menggunakan air produk dengan aliran down flow dan dilaksanakan dalam 2 tingkat, yaitu:

1. Tingkat laju alir rendah untuk menghilangkan larutan regenerasi, dan

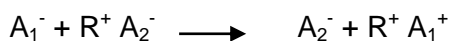
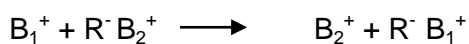
2. Tingkat laju alir tinggi untuk menghilangkan sisa ion.

Limbah pembilasan tingkat laju alir rendah digabungkan dengan larutan garam dan dibuang, sedangkan limbah pembilasan tingkat laju alir tinggi disimpan dan digunakan sebagai pelarut senyawa untuk regenerasi.

(Setiyadi, 2014)

## 2.7 Mekanisme Pertukaran Ion

Pertukaran ion dapat ditempatkan sebagai unit operasi dalam equilibrium (kesetimbangan) kimia. Pertukaran ion menyangkut salah penempatan ion yang diberikan spesies dari pertukaran material yang tidak dapat larut dengan ion-ion yang berbeda spesies ketika larutan yang terakhir dibawa sampai mengontak / berhubungan / bercampur. Pertukaran ion bisa digambarkan dengan kesetimbangan umum :



Di mana :

$B_1^+$  ,  $B_2^+$  = Kation-kation dari 2 spesies (jenis) yang berbeda.

$A_1^-$  ,  $A_2^-$  = Anion-anion dari 2 spesies (jenis) yang berbeda.

$R^-$  ,  $R^+$  = Penukaran bahanbahan dari kationir dan anionir masing-masing.

## 2.8 Selektivitas Ion

Petunjuk awal atau sebaliknya pada reaksi pertukaran ion sepenuhnya bergantung pada selektivitas resin untuk sistem ion khusus. Peneliti telah

mengamati resin-resin yang dipilih untuk ion-ion tertentu dalam kelompok-kelompok yang memiliki persamaan nilai karakteristik. Karakteristik ini telah diketahui oleh sebagian besar resin komersial dan alasan itu maka selektivitas ion telah diartikan oleh berbagai macam-macam pengamat.

Ada 2 variabel utama yang menentukan ion selektivitas, yaitu :

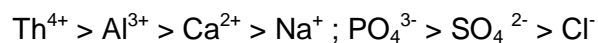
- **Harga atau nilai ion**

Harga ion berpengaruh besar pada kekuatan besar pada pertukaran ion.

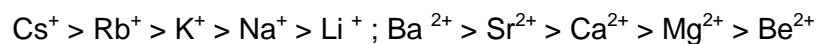
- **Ukuran ion**

Seperti yang diuraikan Kunin (Montgomery, J.M, 1985) kumpulan yang mengikuti peraturan empirik dapat digunakan sebagai selektivitas rata-rata:

- Pada konsentrasi rendah (encer) dan temperatur biasa, luas pertukaran meningkat dengan meningkatnya valensi dari pertukaran ion:



- Pada konsentrasi rendah (encer, temperatur biasa dan valensi konstan luas pertukaran meningkat dengan meningkatnya nomor atom pada luas pertukaran ion :



- Pada konsentrasi tinggi, perbedaan pada kekuatan pertukaran ion dengan perbedaan valensi ( $\text{Na}^+$  dan  $\text{Ca}^{2+}$  atau  $\text{NO}_3^-$  dan  $\text{SO}_4^{2-}$ ) berkurang dan pada kasus yang sama, pada ion dengan valensi rendah mempunyai pertukaran ion yang tinggi. (James.M. Montgomery, 1985)