

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sumber-sumber Air

Sumber sumber air biasanya dikelompokkan menjadi 4 golongan, yaitu:

2.1.1. Air laut

Air laut mempunyai sifat asin. Hal ini dikarenakan air laut mengandung garam NaCl. Kadar garam NaCl yang ada di dalam air laut sekitar 3%.

2.1.2. Air Atmosfer

Air atmosfer adalah air hujan. Dalam keadaan berubah karena adanya pengotoran udara bersih, namun keadaan berubah karena adanya pengotoran udara yang disebabkan oleh kotoran-kotoran industri/debu dan lain sebagainya. Sehingga air hujan bisa mempunyai sifat agresif terutama terhadap pipa-pipa penyalur maupun bak-bak reservoir sehingga hal ini akan mempercepat terjadinya korosi.

2.1.3. Air Permukaan

Air permukaan adalah air yang mengalir di permukaan bumi. Umumnya air permukaan ini akan mendapat pengotor selama mengalir misalnya alioeh lumpur, batang-batang kayu, daun-daun, kotoran industri kota, dan sebagainya.

Beberapa pengotor ini, untuk masing-masing air permukaan akan berbeda-beda, tergantung pada daerah aliran permukaan ini. Jenis pengotornya merupakan pengotor fisik, kimia, dan biologi. Air permukaan ini sendiri dibagi menjadi dua, yakni:

2.1.3.1. Air Sungai

Air sungai pada umumnya memiliki derajat pengotor yang tinggi. Hal ini karena pada saat mengalir, partikel-partikel padat seperti lumpur ikut terbawa arus sungai. Selain itu juga banyak bakteri serta kandungan bahan-bahan organik lainnya.

2.1.3.2. Air rawa

Kebanyakan air rawa ini berwarna yang disebabkan oleh adanya zat-zat organik yang telah membusuk, misalnya asam humus yang larut dalam air yang menyebabkan warna kuning coklat. Dengan adanya pembusukan kadar zat organik ini, maka umumnya kadar Fe dan Mn akan tinggi pula dan dalam keadaan kelarutan O₂ yang kurang sekali (anaerob). Kemudian pada air akan tumbuh lumut karena adanya sinar matahari dan oksigen.

2.1.3.3. Air tanah

Air tanah terbagi atas 3 golongan, yaitu:

1. Air tanah dangkal

Air tanah terjadi karena proses peresapan air dari permukaan tanah. Lumpur akan tertahan, demikian pula dengan sebagian bakteri sehingga air tanah akan jernih tetapi lebih banyak mengandung garam-garam terlarut. Hal ini dikarenakan pada proses peresapan, air ini melalui lapisan tanah yang mempunyai unsur-unsur kimia tertentu untuk masing-masing lapisan tanah. Lapisan tanah ini sebagai filter. Disamping penyaringan, pengotoran juga masih terus berlangsung, terutama pada permukaan air yang dekat dengan muka tanah. Setelah melewati lapisan kedap air, air ini akan terkumpul menjadi air tanah dangkal. Air inilah yang bias dimanfaatkan melalui sumur dangkal. Air tanah dangkal ini terletak pada kedalaman sampai 15 m.

2. Ait tanah dalam

Air tanah dalam terdapat setelah lapisan kedap air yang pertama. Pengambilan air tanah dalam ini tak semudah pad air tanah dangkal. Dalam hal ini harus digunakan bor dan memasukkan pipa ke dalamnya. Biasanya pada kedalaman antara 100-300m akan didapatkan suatu lapisan air.

Kualitas air tanah dalam pada umumnya lebih baik daripada air tanah dangkal karena penyaringannya lebih sempurna dan bebas dari bakteri. Susunan unsur-unsur kimiannya tergantung pada lapisan-lapisan tanah yang dilalui. Jika melalui tanah kapur maka air itu akan menjadi sadah karena mengandung $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ dan $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$. Jika melalui batuan granit maka air itu lunak dan agresif karena mengandung gas CO_2 dan $\text{Mn}(\text{HCO}_3)_2$.

Untuk mengurnangi kadar Fe yang menyebabkan korosi maka harus diadakan pengolahan dengan jalan aerasi yaitu memberikan kontak dengan udara sebanyak-banyaknya agar $\text{Fe}(\text{OH})_3$ mengendap dan kemudian disaring. Kemudian untuk mengurangi kesadahan dilakukan dengan proses ion exchange.

3. Mata air

Mata air adalah air tanah yang keluar dengan sendirina ke permukaan tanah. Mata air yang berasal dari tanah dalam hampir tidak terpengaruh oleh musim dan kualitasnya sama dengan keadaan air tanah dalam. Berdasarkan keluarnya ke permukaan tanah, maka air terbagi atas:

- Rembesan, dimana air keluar dari lereng-lereng
- Umbul, dimana air keluar ke permukaan pada suatu dataran.

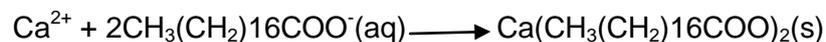
(Sri Wahyuningrum, 2010).

2.2. Kesadahan

Kesadahan atau *hardness* adalah salah satu sifat kimia yang dimiliki oleh air. Penyebab air menjadi sadah adalah karena adanya ion-ion Ca^{2+} , Mg^{2+} , atau dapat juga disebabkan karena adanya ion-ion lain dari polyvalent metal (logam bervalensi banyak) seperti Al, Fe, Mn, Sr dan Zn dalam bentuk garam sulfat, klorida dan bikarbonat dalam jumlah kecil.

Kesadahan air adalah kemampuan air mengendapkan sabun, dimana sabun ini diendapkan oleh ion-ion yang telah sebutkan diatas. Karena penyebab dominan/utama kesadahan adalah Ca^{2+} dan Mg^{2+} , khususnya Ca^{2+} , maka arti dari kesadahan dibatasi sebagai sifat/karakteristik air yang menggambarkan konsentrasi jumlah dari ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} , yang dinyatakan sebagai CaCO_3 .

Air sadah menyebabkan sabun sukar berbuih karena ion-ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} mengendapkan sabun. Reaksi air sadah menyebabkan air sukar berbuih adalah sebagai berikut:

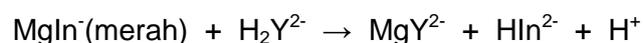
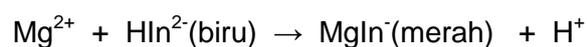


Kesadahan air adalah kandungan mineral-mineral tertentu di dalam air, umumnya ion kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) dalam bentuk garam karbonat. Air sadah atau air keras adalah air yang memiliki kadar mineral yang tinggi, sedangkan air lunak adalah air dengan kadar mineral yang rendah, misalnya air hujan. Selain ion kalsium dan magnesium, penyebab kesadahan juga bisa merupakan ion logam lain maupun garam-garam bikarbonat dan sulfat. Kesadahan air total dinyatakan dalam satuan ppm berat per volume (w/v) dari CaCO_3 (Fauzan M.B,dkk, 2012).

2.2.1. Analisis Kesadahan Air

Cara paling mudah untuk mengetahui air yang selalu anda gunakan adalah air sadah atau bukan dengan menggunakan sabun. Ketika air yang anda gunakan adalah air sadah, maka sabun akan sukar berbuih, walaupun berbuih, berbuihnya sedikit. Kemudian untuk mengetahui jenis kesadahan air adalah dengan pemanasan. Jika ternyata setelah dilakukan pemanasan, sabun tetap sukar berbuih, berarti air yang anda gunakan adalah air sadah tetap.

Cara yang lebih kompleks adalah melalui titrasi. Baik kalsium atau magnesium dapat bereaksi dengan EDTA membentuk senyawa kompleks. Apabila dalam suatu sampel air terdapat ion-ion magnesium saja kemudian ditambahkan indikator EBT maka ion magnesium (II) akan mengikat indikator EBT. (H₃In) menghasilkan kompleks berwarna merah (Mg-In), apabila larutan magnesium dititrasi dengan EDTA maka kompleks Mg-In akan terputus dan membentuk kompleks Mg-EDTA yang lebih stabil daripada kompleks Mg-In, sedangkan In berada dalam keadaan bebas berwarna biru. Titrasi dihentikan ketika warna biru jelas telah terbentuk, Reaksinya adalah sebagai berikut:



Ion kalsium(II) juga dapat bereaksi dengan EBT menghasilkan kompleks Ca-In, tetapi kompleks ini kurang stabil jika dibandingkan dengan kompleks Mg-In. Sebaliknya kompleks Ca-EDTA lebih stabil jika dibandingkan dengan kompleks Mg-EDTA. Ini berarti bahwa jika dalam larutan hanya terdapat ion kalsium (II), dan kemudian dititrasi dengan EDTA maka perubahan warna akan terjadi jauh sebelum titik akhir tercapai. Untuk mengatasi kekurangan ini maka

pada analisis kalsium ditambahkan sedikit magnesium yang akan mengikat indikator lebih stabil.

2.2.2. Jenis-jenis Kesadahan Air

Air sadah digolongkan menjadi dua jenis, berdasarkan jenis anion yang diikat oleh kation (Ca^{2+} atau Mg^{2+}), yaitu air sadah sementara dan air sadah tetap.

2.2.2.1. Air sadah sementara

Air sadah sementara adalah air sadah yang mengandung ion bikarbonat (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 Ca^{2+} dan atau Mg^{2+}

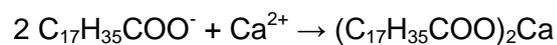
2.2.2.2. Air sadah tetap

Air sadah tetap adalah air sadah yang mengandung anion selain ion bikarbonat, misalnya dapat berupa ion Cl^- , NO_3^- dan SO_4^{2-} . Berarti senyawa yang terlarut boleh jadi berupa kalsium klorida (CaCl_2), kalsium nitrat ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), kalsium sulfat (CaSO_4), magnesium klorida (MgCl_2), magnesium nitrat ($\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$), dan magnesium sulfat (MgSO_4). Air yang mengandung senyawa-senyawa tersebut disebut air sadah tetap, karena kesadahannya tidak bisa dihilangkan hanya dengan cara pemanasan (Fauzan M.B,dkk, 2012).

2.2.3. Dampak Kesadahan

Air sadah tidak begitu berbahaya untuk diminum, namun dapat menyebabkan beberapa masalah. Air sadah dapat menyebabkan mineral yang menyumbat saluran pipa dan keran. Air sadah juga menyebabkan pemborosan

sabun di rumah tangga, dan air sadah yang bercampur sabun tidak dapat membentuk busa, tetapi malah membentuk gumpalan *soap scum* (sampah sabun) yang sukar dihilangkan. Efek ini timbul karena ion $2+$ menghancurkan sifat surfaktan dari sabun dengan membentuk endapan padat (sampah sabun tersebut). Komponen utama dari sampah tersebut adalah kalsium stearat, yang muncul dari stearat natrium, komponen utama dari sabun adalah sebagai berikut:



(Fauzan M.B,dkk, 2012).

2.2.4. Cara mengatasi Kesadahan

Pelunakan kesadahan air adalah suatu proses untuk menghilangkan atau mengu-rangi kandungan kation Ca^{2+} dan Mg^{2+} dari dalam air. Kation penyebab kesadahan dapat dikurangi atau dihilangkan dengan proses-proses sebagai berikut :

1. Pemanasan,
2. Proses pengendapan atau proses kapur soda,
3. Pertukaran ion (Ion Exchange).

2.2.4.1. Pemanasan

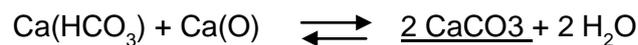
Garam MgCO_3 bersifat larut dalam air dingin, namun semakin tinggi temperatur air, kelarutan MgCO_3 semakin kecil, bahkan hingga menjadi tidak larut dan dapat mengendap. Garam CaCO_3 kelarutannya lebih kecil dari pada MgCO_3 , sehingga pada air dinginpun sebagian CaCO_3 mengendap, pada air panas pengendapannya akan lebih banyak lagi. Berdasarkan sifat ini, kesadahan yang disebabkan oleh kation Mg^{2+} dan Ca^{2+} dapat dihilangkan dengan cara pemanasan. Dikarenakan sifat ini maka air sadah tidak dikehendaki pada air

industri karena dapat menimbulkan endapan/kerak pada peralatan pemanas seperti boiler dan lain sebagainya.

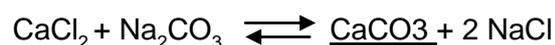
2.2.4.2. Proses Kapur Soda

Pada proses ini tujuannya adalah untuk membentuk garam-garam kalsium dan magnesium menjadi bentuk garam-garam yang tidak larut, sehingga dapat diendapkan dan dapat dipisahkan dari air. Bentuk garam kalsium dan magnesium yang tidak larut dalam air adalah Kalsium Karbonat (CaCO_3) dan Magnesium Hidroksida (Mg(OH)_2).

Untuk menghilangkan kesadahan sementara kalsium, ditambahkan kapur. Sehingga reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Untuk menghilangkan kesadahan tetap kalsium, ditambahkan soda abu. Sehingga reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :

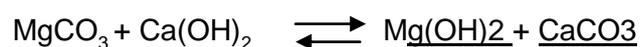


Untuk menghilangkan kesadahan magnesium sementara, ditambahkan kapur + kapur. Sehingga reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:

Tahap 1 :

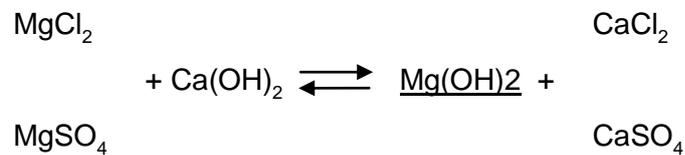


Tahap 2 :

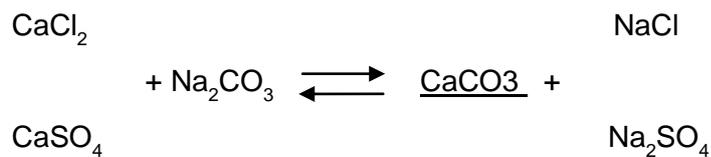


Untuk menghilangkan kesadahan magnesium tetap ditambahkan kapur + soda abu. Sehingga reaksinya adalah sebagai berikut:

Tahap 1 :



Tahap 2 :



2.2.4.3. Pertukaran Ion

Proses pertukaran ion, ion kalsium dan magnesium ditukar dengan ion sodium. Pertukaran ini berlangsung dengan cara melewatkan air sadah ke dalam unggun butiran yang terbuat dari bahan yang mempunyai kemampuan menukarkan ion. Terdapat beberapa bahan penukar ion yaitu : Bahan penukar ion alam yang disebut greensand atau zeolit, kemudian bahan penukar ion zeolit buatan dan yang saat ini sering digunakan adalah bahan penukar ion yang disebut resin penukar ion.

Resin penukar ion umumnya terbuat dari partikel cross-linked polystyrene. Terdapat beberapa resin penukar ion yang diproduksi oleh berbagai pabrik dan dipasarkan masing-masing mempunyai nama dagang tersendiri. Untuk proses penghilangan kesadahan atau pelunakan, resin yang digunakan adalah resin penukar kation yang mengandung Sodium (Rusliasih Marsidi, 2001)

2.3. Ion Exchanger

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:

1. Pada penukar kation:

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

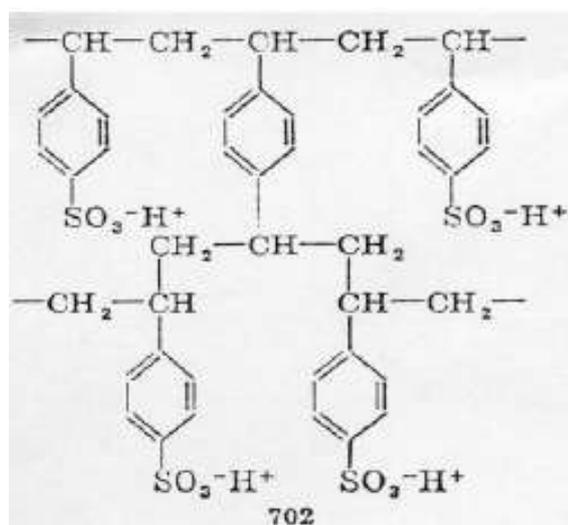
2. Pada penukar anion:

Kelompok-kelompok amonium kuartener – $\text{N}^+ (\text{CH}_3)_3 \text{OH}^-$ (dengan sebuah ion OH^- yang dapat ditukar) (C. Pujiastuti, 2008).

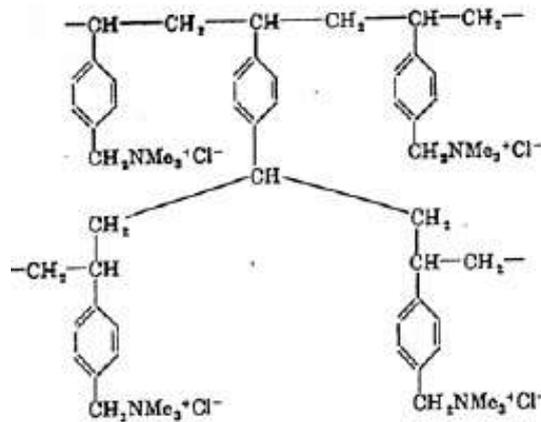
2.4. Resin Penukar Ion

Resin adalah senyawa hidrokarbon terpolimerisasi sampai tingkat yang tinggi yang mengandung ikatan-ikatan hubung silang (*cross-linking*) serta gugusan yang mengandung ion-ion yang dapat dipertukarkan.

Berdasarkan gugus fungsionalnya, resin penukar ion terbagi menjadi dua yaitu resin penukar kation dan resin penukar anion. Resin penukar kation, mengandung kation yang dapat dipertukarkan. sedang resin penukar anion, mengandung anion yang dapat yang dapat dipertukarkan. Secara umum rumus struktur resin penukar ion yang dapat merupakan resin penukar kation dapat dilihat pada Gambar 1 dan resin penukar anion dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 1. Resin Penukar Kation



Gambar 2. Resin Penukar Anion

2.4.1. Sifat Resin Penukar Ion

Sifat-sifat Penting Resin Penukar Ion adalah sebagai berikut:

1. Kapasitas Penukaran ion

Sifat ini menggambarkan ukuran kuantitatif jumlah ion-ion yang dapat dipertukarkan dan dinyatakan dalam mek (milliekivalen) per gram resin kering dalam bentuk hydrogen atau kloridanya atau dinyatakan dalam milliekivalen tiap milliliter resin (meq/ml).

2. Selektivitas

Sifat ini merupakan suatu sifat resin penukar ion yang menunjukkan aktifitas pilihan atas ion tertentu. Hal ini disebabkan karena penukar ion merupakan suatu proses stoikiometrik dan dapat balik (*reversible*) dan memenuhi hukum kerja massa. Faktor yang menentukan selektivitas terutama adalah gugus ionogenik dan derajat ikat silang. Secara umum selektivitas penukaran ion dipengaruhi oleh muatan ion dan jari-jari ion. Selektivitas resin penukar ion akan menentukan dapat atau tidaknya suatu ion dipisahkan dalam suatu larutan apabila dalam larutan tersebut terdapat ion-ion bertanda muatan sama, demikian juga dapat atau tidaknya ion yang telah terikat tersebut dilepaskan.

3. Derajat ikat silang (*crosslinking*)

Sifat ini menunjukkan konsentrasi jembatan yang ada di dalam polimer. Derajat ikat silang tidak hanya mempengaruhi kelarutan tetapi juga kapasitas pertukaran, perilaku mekaran, perubahan volume, selektivitas, ketahanan kimia dan oksidasi.

4. Porositas

Nilai porositas menunjukkan ukuran pori-pori saluran-saluran kapiler. Ukuran saluransaluran ini biasanya tidak seragam. Porositas berbanding langsung derajat ikat silang, walaupun ukuran saluran-saluran kapilernya tidak seragam. Jaringan resin penukar mengandung rongga-rongga, tempat air terserap masuk. Porositas mempengaruhi kapasitas dan selektivitas. Bila tanpa pori, hanya gugus ionogenik di permukaan saja yang aktif.

5. Kestabilan resin

Kestabilan penukar ion ditentukan juga oleh mutu produk sejak dibuat. Kestabilan fisik dan mekanik terutama menyangkut kekuatan dan ketahanan gesekan. Ketahanan terhadap pengaruh osmotik, baik saat pembebanan maupun regenerasi, juga terkait jenis monomernya. Kestabilan termal jenis makropori biasanya lebih baik daripada yang gel, walau derajat ikat silang serupa. Akan tetapi lakukan panas penukar kation makropori agak mengubah struktur kisi ruang dan porositasnya (Diyah E.L, Setyo B.U, 2007).

2.4.2. Jenis-jenis Resin Penukar Ion

Dalam perkembangannya, penukar ion berawal dari bahan anorganik industri, tetapi sekarang kedudukannya diambil alih oleh resin. Berbagai resin itu tersedia dan terus meningkat jumlah serta mutunya. Namun demikian bahan anorganik, karena kuatnya sifat mekanis - termal - kimia serta penyingkapannya atas gejala-gejala dalam tanah, dalam dasawarsa belakangan kembali tampil

kokoh. Ada juga penukar ion dekstran, penukar ion basis karbon, penukar ion cair dan sebagainya dengan peluang teknologis hebat. Membran penukar ion pun makin marak piawai. Berbagai jenis penukar ion tersebut antara lain :

2.4.2.1. Penukar Ion Sintetik

Sifatnya berpangkal pada tiga faktor: bahan mentah kerangka/matriks, jembatan pengikatsilang, serta jenis dan jumlah ionnya. Ada yang berjenis kation, anion, maupun amfoter. Pembuatannya banyak secara polimerisasi, memberikan stabilitas termal dan kimia lebih baik dari pada polikondensasi.

Pada jenis penukar kuat, misalnya stirena bersama divinil benzen (DVB) dipolimerisasi, sedangkan untuk penukar kation asam lemah memakai DVB dan asam akrilat/metakrilat. Resin polikondensasi sering kali tersusun atas fenol dan formaldehida.

2.4.2.2. Resin Jenis Gel

Pada polimerisasi pembentukan kerangka penukar ion, dapat diperoleh gel, suatu jalinan seragam elastik ber kandungan pelarut. Bila pembentuk ikat silangnya relatif sedikit, ia akan mekar hebat dalam pelarut (dan kuat mekanisnya juga terpengaruh). Pengertian porositasnya bersifat terpendam atau laten.

2.4.2.3. Resin Makropori (makroretikuler)

Pada polimerisasinya digunakan pelarut, maka struktur matriksnya berpori, berpermukaan luas, dapat disulfonasi banyak, lebih tahan kejutan osmotik. Ukuran pori dapat beratus nanometer dengan luas permukaan beratus meter persegi tiap gram. Karena porositas internal besar, perbedaan penukaran dalam pelarut mengutub dan nirkutub kecil, kurang mengerut saat kering, dan lebih tahan oksidasi. Molekul besarpun lebih mudah menembus. Ekonomi jenis

makropori dibatasi kapasitas kecil dan lebih mahalnya regenerasi, namun jenis ini sangat memadai untuk tujuan katalitik.

2.4.2.4. Resin Isopori

Penukar ion ini berstruktur pori serta ikat silang diubah sehingga ukuran pori seragam. Pengikatsilangan agak melambat tetapi seragam, kapasitas lebih besar, regenerasi lebih efisien, biaya kinerja murah. Juga sesuai sebagai penukar anion untuk membuang silikat dari larutan.

Penyidikan atas pilihan penukar ion berdasarkan porositas dapat sesuai monomer yang dipakai, porositasnya merupakan fungsi kapasitas penahan air bentuk kloridanya, serta gugus ionogeniknya. Dapat pula pilihan berdasarkan bentuk dan ukuran partikel resinnya. Resin hasil proses polimerisasi biasanya jenis bulat, sedangkan yang kondensasi berjenis bubuk tak teratur. Bentuk *bead* lazim dijumpai tetapi yang granul berpermukaan serta rongga kolom lebih besar. Sementara itu disesuaikan maksud penggunaannya.

2.4.2.5. Penukar Ion "jangat"

Resin sintetik dapat dibuat dalam bentuk selain *bead* dan granul, yaitu film, serat, kain, pipa, busa, plat dsb. Bagi keperluan khromatografi khusus, dibuat resin pelikuler (jangat) yang terdiri atas lapis tipis yang tertaut dalam bead gelas. Dengan demikian, bahan tahan tekanan tinggi dan penukar ionnya berkinerja kinetik cepat dan pemisahannya cepat. Pembuatannya tidak sukar dan ukuran bead gelasnya sekitar 50 mikron.

2.4.2.6. Resin Penukar Ionogenik Parsial

Walau gagasan pertamanya sudah terlontar sejak 1952 (D.K Hale) namun pengembangan khromatografi penukar ion baru berarti pada tahun 1969 (Skafi & Lieser) yakni dalam resin tersulfonasi basis kopolimer S-DVB ikat silang,

sehingga difusi partikel ditekan dan kesetimbangan tercapai cepat. Kemudian dikembangkan jenis makropori tersulfonasi parsial, yang stabil, dimana kandungan cairan sama tak tergantung jenisnya, dan yang sesuai untuk khromatografi aliran-bertekanan moderen. Khromatografi ion berkembang seiring dengan terciptanya resin berkapasitas penukar kation amat rendah (ikat silang 2%). Suhu dan waktu sulfonasi mempengaruhi kapasitas bahan, dan dengan optimisasinya dengan kandungan DVB resin maka kinerjanya terjamin. Efisiensi khromatografi penukar ion ditingkatkan dengan menambah panjang jejak ion ke daerah serapan (sorpsi). Caranya dengan memperkecil ukuran granul, menggunakan penukar ion lapisan permukaan dan penukar berpori difusi cepat, akibat kecilnya ukuran mikro granul penyerap (nirgerak oleh pengikat) serta besarnya pori.

2.4.2.7. Penukar Kation Asam Kuat Jenis Sulfonat

Jenis penukar kation sulfonat bermatriks stirena-DVB (ikat silang) penting karena dalam industri digunakan untuk penghilangan kesadahan air. Produksinya tidak sederhana, termasuk persyarat bead sempurna tanpa retakan. Pembuatan reaksi sulfonasi menghasilkan ion hidrogen sebagai ion lawan. Dengan perlakuan larutan NaOH, penukar ion diubah menjadi bentuk Na. Pengubahan ini harus sempurna, sebab sisa ion hidrogen didalamnya memicu korosi. +

2.4.2.8. Penukar Kation Asam Lemah Jenis Karboksilat.

Gugus karboksilatnya terdiri atas komponen kopolimer, yakni asam akrilat/metakrilat yang terikat silang – DVB. Karena selektif ion kalsium dan magnesium, regenerasinya memakai NaCl tidak efektif. Penukar ini sesuai untuk menghilangkan kation dari larutan basa atau memecah garam alkali lemah,

kation bervalensi banyak. Dengan mengubah struktur, ia dapat memecah garam kalium dan natrium pula. Jenis akrilat lebih asam kuat daripada metakrilat, maka bermanfaat bagi perlakuan air terutama pengurangan alkalinitas.

2.4.2.9. Penukar Kation Berarsen dan Fosfor

Walaupun jenis ini tak terlalu banyak terapan industrinya, katakana yang bergugus asam fosfonat, forfonit, fosfinat, fosfat, lagipula memang agak mahal, namun ada pemakaian penting yakni pada pemisahan unsur tanah jarang.

2.4.2.10. Penukar Kation Jamak Fungsi

Penukar kation berion banyak ini bergugus ionik yang berbeda dua atau lebih namun muatannya sama (misal sulfonat dan karboksilat). Penjelasan atasnya lebih bernuansa akademik daripada komersial, walaupun Rusia memproduksinya untuk penggunaan khusus (Kation KBU-1).

2.4.2.11. Penukar Anion Amonium Kuartener Basa Kuat

Penukar ion ini dibuat dengan cara khlorometilasi kopolimer S-DVB lalu diubah dengan amina tersier. Produknya amat stabil dan berkapasitas besar, bahkan karena berupa basa kuat maka dapat bertukar silika dan karbonat. Jenis ini mudah diubah (regenerasi) dari khlorida menjadi hidroksida memakai NaOH, tetapi agak sukar dengan NaCOdan nyaris mustahil memakai amonia. Resin jenis ini baik untuk terapan suhu tinggi (panas). Dikenal pula yang bermatriks akrilamida yang setidaknya sama hebat dengan jenis tersebut.

2.4.2.12. Penukar Anion Jenis Amino

Resin jenis ini sangat beraneka ragam produk, komposisi dan sifatnya. Gugus ionorganiknya dapat berupa amina primer, sekunder maupun tersier (yang terakhir itu polifungsi). Penukar ion basa lemah klasik, hanya mampu bertukar anion kuat semisal HCl dan H₂SO₄ namun tidak dengan SiO₂ atau HCO₃⁻.

Namun penukar begini dapat diubah kebentuk hidroksil oleh basa lemah. Produk komersial bentuk kloridanya mudah terhidrolisis dan gugus ionogenik basa lemah tak bertukar dengan anion garam netral.

2.4.2.13. Penukar Anion Jenis Piridin

Polimer berjenis gel bergugus aktif piridin merupakan penukar anion basa lemah. Bahan demikian tahan kimia, termal dan radiasi, juga bagus ciri kinetiknya. Penukar anion poli (vinil piridin) makropori lebih stabil mekanik dan osmotik, sifat kinetiknya lebih baik daripada yang gel. Jenis polifungsi baik sebagai penyerap ekstraktif logam molibdenum, wolfram, emas dsb (kapasitas tinggi dan tahan kimia) serta selaku katalis. Resin bergugus piridin dikembangkan bagi tujuan khusus.

Penukar ion dapat berada dalam aneka bentuk khas, dapat diubah-ubah dari satu ke lainnya, sesuai komposisi larutan, perlakuan dan selektivitas yang dikehendaki, menurut masalah dan terapannya. Tetapi sering kali hal itu tak mudah dilakukan, maka pemilihan bentuk terbaik merupakan cara penting yang perlu dilakukan kalangan industri. (Konrad Dorfner, anton. J. Hartomo, 1995). (Alfian Rosadi, 2011)

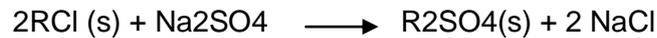
2.5. Prinsip Pertukaran Ion (Ion Exchanger)

Pertukaran ion adalah sebuah proses fisika-kimia. Pada proses tersebut senyawa yang tidak larut, dalam hal ini resin, menerima ion positif atau negatif tertentu dari larutan dan melepaskan ion lain ke dalam larutan tersebut dalam jumlah ekuivalen yang sama. Jika ion yang dipertukarkan berupa kation, maka resin tersebut dinamakan resin penukar kation, dan jika ion yang dipertukarkan berupa anion, maka resin tersebut dinamakan resin penukar anion. Contoh reaksi pertukaran kation dan reaksi pertukaran anion disajikan pada reaksi :

Reaksi pertukaran kation :



Reaksi pertukaran anion :



Reaksi (pertukaran kation) menyatakan bahwa larutan yang mengandung CaCl_2 diolah dengan resin penukar kation NaR, dengan R menyatakan resin. Proses penukaran kation yang diikuti dengan penukaran anion untuk mendapatkan air demin (*demineralized water*). Tahap terjadinya reaksi pertukaran ion disebut tahap layanan (*service*). Jika resin tersebut telah mempertukarkan semua ion Na^+ yang dimilikinya, maka reaksi pertukaran ion akan terhenti. Pada saat itu resin dikatakan telah mencapai titik habis (*exhausted*), sehingga harus diregenerasi dengan larutan yang mengandung ion Na^+ seperti NaCl. Tahap regenerasi merupakan kebalikan dari tahap layanan. Reaksi yang terjadi pada tahap regenerasi merupakan kebalikan reaksi (pertukaran kation). Resin penukar kation yang mempertukarkan ion Na^+ tahap tersebut di atas dinamakan resin penukar kation dengan siklus Na. Resin penukar kation dengan siklus H akan mempertukarkan ion H^+ pada tahap layanan dan regenerasi (Alfonsina A.A.T, dkk, 2012).

2.5. 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. Pertukaranion 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 bahan-bahan dari kationir dan anionir masing-masing.

Persamaan kesetimbangan:

$$K = \frac{[B_2^+][R^- \cdot B_1^+]}{[B_1^+][R^- \cdot B_2^+]}$$

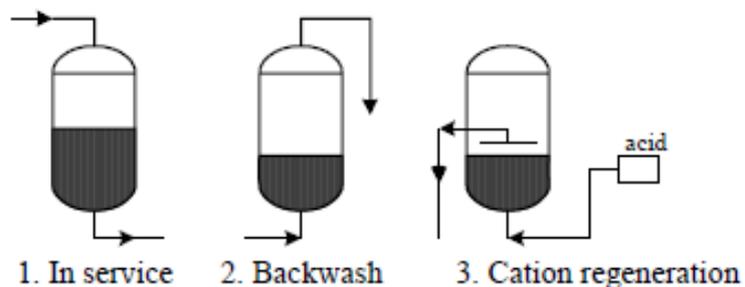
K = Konstanta kesetimbangan (C. Pujiastuti, 2008).

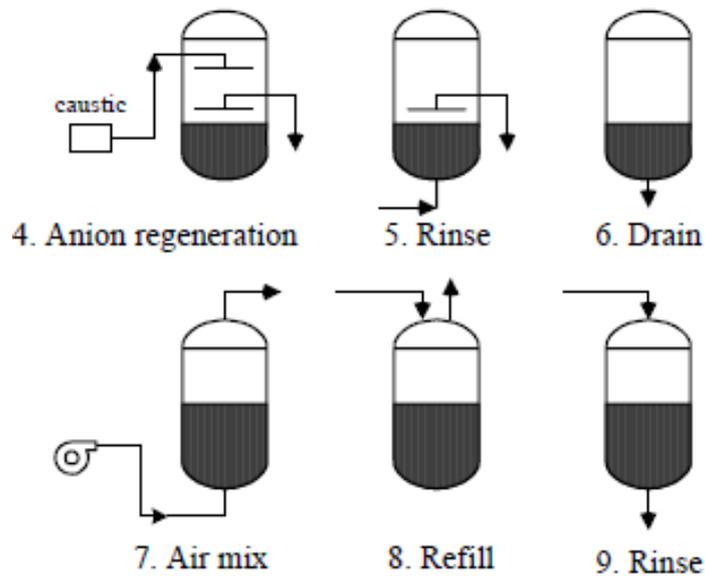
2.6. Operasi Sistem Pertukaran Ion

Operasi sistem pertukaran ion dilaksanakan dalam empat tahap, yaitu :

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

Tahapan-tahapan tersebut dapat pula dilihat pada Gambar 3





Gambar 3. Tahapan-tahapan operasi dalam sistem pertukaran ion

2.6.1. Tahap Layanan

Tahap layanan adalah tahap dimana terjadi reaksi pertukaran ion. Tahap layanan ditentukan oleh konsentrasi ion yang dihilangkan terhadap waktu, atau volume air produk yang dihasilkan. Hal yang penting pada tahap layanan adalah kapasitas (teoritik dan operasi) dan beban pertukaran ion (*ion exchange load*). Kapasitas pertukaran teoritik didefinisikan sebagai jumlah ion secara teoritik yang dapat 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*).

2.6.2. 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 partikel halus yang terperangkap dalam ruang antar resin
3. penghilangan kantong-kantong gas dalam reaktor, dan
4. pembentukann ulang lapisan resin

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

2.6.3. Tahap Regenerasi

Tahap regenerasi adalah operasi penggantian ion yang terserap dengan ion awal yang semula berada dalam matriks resin dan pengembalian 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 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. Upaya tersebut berarti bahwa regenerasi ditentukan oleh tingkat regeneras yang diinginkan. Tingkat regenerasi dinyatakan sebagai jumlah larutan regenerasi yang digunakan per volume resin. Perbandingan kapasitas

operasi yang dihasilkan pada tingkat regenerasi tertentu dengan kapasitas pertukaran yang secara teoritik yang dapat dihasilkan pada tingkat regenerasi itu disebut efisiensi regenerasi. 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. Besaran untuk menyatakan tingkat efisiensi penggunaan larutan regenerasi adalah nisbah regenerasi (*regeneration ratio*) yang didefinisikan sebagai berat larutan regenerasi dinyatakan dalam ekivalen atau gram $CaCO_3$ dibagi dengan beban pertukaran ion yang dinyatakan dalam satuan yang sama. Semakin rendah nisbah regenerasi, semakin efisien penggunaan larutan regenerasi. Harga nisbah regenerasi merupakan kebalikan harga efisiensi regenerasi. Operasi regenerasi dilakukan dengan mengalirkan larutan regenerasi dari atas.

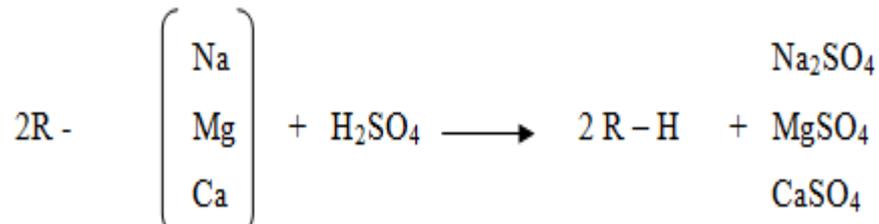
Proses regenerasi unit dilakukan dengan menginjeksi regeneran pada masing-masing unit. Regeneran untuk cation adalah HCl dan untuk anion NaOH.

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 menghilangkan regeneran dalam resin
- *Fast rinse*, yaitu membilas unit dengan laju yang lebih cepat untuk menghilangkan sisa regeneran sebelum operasi.

2.6.3.1. Regenerasi kation

Regenerasi kation dilakukan dengan cara mengganti kembali ion H^+ yang telah jenuh dengan merekasikannya dengan H_2SO_4 .



Ada beberapa tahapan yang dilakukan pada proses regenerasi kation :

1. *Backwash* adalah suatu proses yang bertujuan untuk membuang/menghilangkan deposit kotoran yang menempel di resin.
2. Pemberian asam tahap 1 yaitu dengan menginjeksikan H_2SO_4 1,75%
3. Pemberian asam tahap 2 yaitu dengan menginjeksikan H_2SO_4 3,5%
4. Pemberian asam tahap 3 yaitu dengan menginjeksikan H_2SO_4 5,25%
5. *Slow rinse* dimaksudkan untuk pembilasan dan pengangkatan kotoran yang telah di proses.
6. *Fast rince* sama dengan *slow rinse* hanya saja melakukannya dengan debit air yang besar.

2.6.3.2. Regenerasi anion

Regenerasi resin penukar anion sama dengan regenerasi kation, jika sudah jenuh maka dapat dikembalikan ke keadaan dengan menggunakan alkali. Soda kaustik dipakai sebagai penukar anion dari basa kuat.



Sama dengan regenerasi pada kation, pada anion juga terdapat beberapa tahapan. Tahap-tahap yang dilakukan pada proses regenerasi anion :

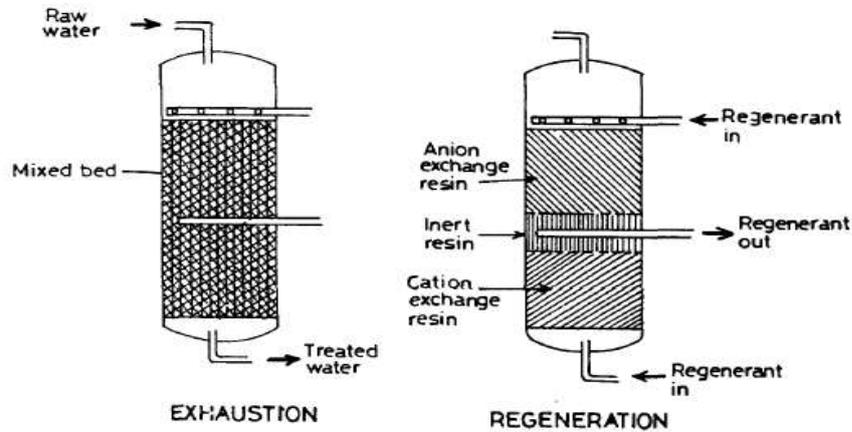
1. *Backwash* adalah suatu proses yang bertujuan untuk membuang/menghilangkan deposit kotoran yang menempel di resin.
2. *Preheat bed*

3. *Caustic injection* yaitu penambahan kaustik dengan cara menginjeksikan NaOH 4%.
4. *Slow rinse* dimaksudkan untuk pembilasan dan pengangkatan kotoran yang telah di proses.
5. *Fast rince* sama dengan *slow rinse* hanya saja melakukannya dengan debit air yang besar.

Selama proses regenerasi, limbah air yang dihasilkan ditampung pada bak penampung regenerasi (*neutral basin*) untuk dinetralkan sebelum akhirnya dibuang ke sungai.

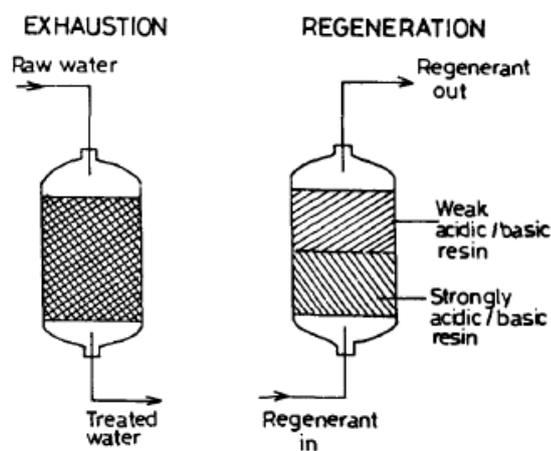
Biasanya regenerasi dilakukan dengan melewati regeneran melalui bed resin penukar ion pada arah yang sama dengan air baku yang diolah; proses ini disebut regenerasi '*co-current*'. Jika regenerasi *co-current* (aliran ke bawah) terjadi, lapisan bawah kolom diregenerasi dengan buruk, kecuali jika digunakan regeneran asam atau basa dalam jumlah yang sangat besar. Di sisi lain, jika regenerasi dilakukan *counter-current* (dengan arah yang berlawanan), lapisan bawah resin yang jenuh lebih efektif diregenerasi. Proses ini terjadi pada pengurangan kebocoran natrium (pada penukar kation) dan silika (pada penukar anion) hingga tingkat pengurangannya sangat rendah selama siklus pertukaran.

Pada studi lebih lanjut, teknik fluidisasi telah digunakan untuk demineralisasi. Pada proses ini, air mentah diolah dengan mengalirkan ke atas dan regenerasi dilakukan oleh regeneran (zat peregenerasi) melalui aliran ke bawah. Diagram Skematis Sistem 3 - Resin Mixed Bed dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Diagram Skematis Sistem 3-Resin Mixed Bed

Dalam produksi air deionisasi dapat dicapai dengan menggunakan bed bertingkat yang terdiri dari lapisan resin yang ditumpangkan dengan polaritas yang sama. Salah satu diantaranya asam atau basa lemah, sementara lainnya asam atau basa kuat. Selama regenerasi, resin asam lemah, yang lebih ringan dari resin asam kuat ditempatkan pada atas bed (Gambar 3). Aliran counter-current regeneran kemudian menuju ke atas melalui bed dan bertemu pertama kali dengan resin asam kuat, diikuti resin asam lemah. Sehingga regenerasi terjadi secara menyeluruh. Diagram skematis bed bertingkat dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Diagram Skematis Bed Bertingkat

Dibandingkan dengan penukar tunggal (lemah atau kuat), regenerasi dengan aliran counter-current, bed bertingkat memiliki kapasitas pemasangan operasi per liter lebih besar. Resin kurang, karena itu diperlukan pengolahan volume air yang sama, dan efisiensi proses ditingkatkan dalam pengurangan konsumsi regenerasi.

Rasio volume resin asam lemah (karboksilat) dengan volume bed total (pada Bed Bertingkat) akan lebih besar, waktu siklus yang lebih singkat dan semakin tinggi alkalinitas/zat padat terlarut dan rasio kesadahan total. Kinerja Bed Bertingkat juga bergantung pada pemisahan yang baik antara dua penukar. Ini berarti bahwa pola aliran dalam kolom harus optimum agar pemisahan antara dua resin selama regenerasi terlihat jelas, yang mana ukuran partikel dari dua resin dipilih dengan hati-hati.

Beberapa kasus khusus ditemui di mekanisme demineralisasi. Pada unit aliran counter-current, hal yang sangat penting untuk menjaga kekompakan resin sepanjang waktu selama regenerasi dan lebih baik juga selama proses layanan. Pengganggu lainnya dari kation bed selalu mengarah ke kebocoran natrium. Unit aliran counter-current harus dioperasikan sedemikian rupa sehingga titik akhir natrium dan silika untuk unit kation dan anion tidak berlebih. Hal ini penting karena umpan untuk pabrik demineralisasi setelah pengolahan awal harus bebas dari berbagai residu klorin.

2.6.4. 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 dua 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.

2.5.5. Penghilangan Gas (Deaerator)

Penghilangan gas dilakukan sebelum air keluaran kolom kation diolah di kolom resin penukar anion dimaksudkan untuk mengurangi beban pertukaran pada kolom penukar anion, yang berarti juga mengurangi penggunaan larutan regenerasi. Air yang diolah di kolom *degasifier* mengandung karbon dioksida yang ekuivalen dengan alkalinitas bikarbonat ditambah dengan jumlah karbon dioksida yang larut dalam air tersebut. Kandungan CO₂ dalam air menggunakan udara yang dihembuskan oleh *blower* atau secara vakum. Pemakaian kolom *degasified* dapat mengurangi kandungan karbon dioksida menjadi 5 mg/l. (Alfonsina A.A.T, dkk, 2012)

2.6. Jenis-jenis Proses Dalam Ion Exchanger

Pemilihan alat proses ion exchange sangat bergantung dari kualitas air yang diinginkan, kondisi operasi proses, dan analisis ekonom. Untuk memperoleh hasil yang diinginkan secara efektif, maka harus selektif dalam pemilihan proses dan resin yang digunakan, merancang alat yang akan digunakan, pengoperasian dan perawatan alat yang digunakan.

Berdasarkan sistem regenerasinya, jenis-jenis proses pada ion exchange:

2.6.1. Counter Current Regeneration System

Pada jenis ini aliran regenerasi resin berlawanan arah dengan arah aliran air yang diproses. Jenis ini memiliki beberapa kelebihan diantaranya aliran air yang diproses. Jenis ini memiliki beberapa kelebihan diantaranya dengan

menggunakan counter Current dapat mengurangi konsumsi bahan kimia (untuk regenerasi) sehingga limbah yang dihasilkan lebih sedikit, dapat menghilangkan kesadahan lebih baik daripada co-current system sehingga dapat meningkatkan kualitas air yang dihasilkan.

Konduktivitas air yang dihasilkan dapat mencapai lebih rendah dari 2 micromhos/cm. Serta dapat mengurangi kadar silica dalam air hingga mencapai 0,002-0,005 ppm SiO₂. Normalnya dapat mencapai 4 micromhos/cm. Hal ini tergantung kualitas air yang diproses. Terdapat 2 tipe counter current system yaitu:

1. Blocked system

Dengan memasukkan udara bertekanan, air bertekanan, dan inert mass. Arah aliran air yang diproses ke bawah sedangkan arah aliran regenerasi ke atas. Untuk menghindari gangguan pada resin polishing zone pada bagian bawah vessel selama proses regenerasi, resin bed ditekan dengan menggunakan udara bertekanan. Kemudian aliran regenerasi naik ke atas dan keluar pada bagian tengah dari vessel. Pada jenis ini membutuhkan diameter vessel yang lebih besar seperti pada sistem co-current dibandingkan packed bed system untuk mempermudah selama proses regenerasi resin bed.

2. Packed bed system

Arah aliran air yang diproses ke bawah sedangkan arah aliran regenerasi ke atas maupun sebaliknya arah aliran air yang diproses ke atas sedangkan arah aliran regenerasi ke bawah.

2.6.2. Co-Current regeneration system

Merupakan sistem yang sederhana, dimana arah aliran air dari arah aliran regenerasinya searah (ke bawah). Sistem ini menghasilkan kualitas yang lebih

rendah dibandingkan dengan counter current system. Selain itu, sistem ini memerlukan diameter ekspansi dari resin bed selama proses regenerasi (backwashing) untuk menghilangkan suspended solid yang terdapat pada resin yang telah digunakan selama proses. (Ferdianto W.S, 2010)