

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Limbah

Definisi limbah berdasarkan Undang-undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 Tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup Pasal 1 Ayat 20 adalah sisa suatu usaha dan/atau kegiatan. Limbah merupakan buangan atau sisa yang dihasilkan dari suatu proses atau kegiatan industri maupun domestik.

Berdasarkan karakteristik dari limbah yang dihasilkan, limbah dapat dibagi menjadi 4 (empat) yaitu :

1. Limbah padat, adalah limbah yang berwujud padat. Limbah padat bersifat kering, tidak dapat berpindah kecuali ada yang memindahkannya.
2. Limbah cair, adalah limbah yang berwujud cair. Limbah cair terlarut dalam air, selalu berpindah dan tidak pernah diam.
3. Limbah gas, adalah limbah zat yang berwujud gas. Limbah gas dapat dilihat dalam bentuk asap. Limbah gas selalu bergerak sehingga penyebarannya sangat luas.
4. Limbah B3 (bahan berbahaya dan beracun), adalah sisa suatu kegiatan yang karena sifat, konsentrasi, maupun jumlahnya dapat membahayakan manusia maupun lingkungan.

2.2. Limbah Cair

Dalam Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air disebutkan bahwa limbah cair adalah sisa dari suatu hasil usaha dan atau kegiatan yang berwujud cair. Setiap orang yang melakukan usaha dan atau kegiatan berkewajiban memberikan informasi yang benar dan akurat mengenai pelaksanaan kewajiban pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air.

2.2.1. Pengolahan Limbah Cair

Sesuai dengan pernyataan yang disebutkan pada Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001, diperlukan adanya pengolahan terhadap limbah cair sehingga limbah yang dibuang ke badan air sudah sesuai dengan baku mutu. Dalam mengolah limbah cair terdapat beberapa tahapan yang dapat dilakukan

yaitu pengolahan awal (*pre-treatment*), pengolahan primer (*primary treatment*), pengolahan sekunder (*secondary treatment*), pengolahan akhir (*final treatment*), dan pengolahan lanjutan (*tertiary treatment*). Tujuan dari tahapan tersebut adalah :

1. **Pengolahan awal (*pre-treatment*)** bertujuan untuk melindungi alat-alat yang ada pada instalasi pengolah air limbah. Pada tahap ini dilakukan penyaringan, penghancuran, atau pemisahan air dari partikel-partikel yang dapat merusak alat-alat pengolahan air limbah seperti pasir, kayu, sampah, plastik dan lain-lain.
2. **Pengolahan primer (*primary treatment*)** bertujuan untuk menghilangkan partikel-partikel padat organik dan anorganik melalui proses fisika.
3. **Pengolahan sekunder (*secondary treatment*)** bertujuan untuk menghancurkan atau menghilangkan material organik yang masih ada pada air limbah dengan bantuan mikroorganisme.
4. **Pengolahan akhir (*final treatment*)** bertujuan untuk menghilangkan organisme penyebab penyakit yang ada pada air.
5. **Pengolahan lanjutan (*tertiary treatment*)** bertujuan untuk membuat komposisi air limbah sesuai dengan yang dikehendaki.

2.2.1.1 Pengolahan Secara Fisik

Dikutip dari buku Metcalf and Eddy; *Wastewater Engineering : Treatment and Reuse (fourth edition)* halaman 314 berikut adalah beberapa contoh dari pengolahan limbah cair secara fisik :

1. **Screen** : bertujuan untuk menghilangkan padatan kasar yang terdapat pada air limbah yang masuk kedalam IPLC. Prinsip kerja *screen* adalah menghilangkan padatan kasar yang dapat membahayakan IPLC dan berpotensi mengurangi efektivitas proses pengolahan. Saringan halus biasanya ditempatkan setelah *screen* untuk mencegah lolosnya padatan seperti biosolid.
2. **Comminutor** : bertujuan untuk mencacah padatan menjadi berukuran 6-20 mm tanpa menghilangkan cacahan tersebut dari aliran air limbah.
3. **Bak equalisasi** : bertujuan untuk menghomogenkan limbah. Prinsip kerja bak equalisasi adalah menghomogenkan aliran agar tidak terjadi *shock loading*.

4. **Mixing dan flokulasi** : bertujuan untuk mencampurkan berbagai macam substansi membentuk flok pada air limbah. Prinsip kerja dari *mixing* adalah mencampurkan bahan kimia dengan air limbah, sedangkan flokulasi adalah proses pembentukan flok dari pencampuran partikel dan bahan kimia. *Mixing* dan flokulasi dapat meningkatkan %removal TSS dan BOD.
5. **Sedimentasi I** : bertujuan untuk menghilangkan partikel diskrit dan TSS. Untuk mengetahui kinerja sedimentasi I dapat digunakan *settling column* sebagai percobaan.
6. **Grit chamber** : bertujuan untuk menghilangkan padatan yang mengandung pasir, batuan dan material yang berat lainnya yang memiliki kecepatan dan *specific gravity* lebih besar dari partikel organik.
7. **Flotasi** : bertujuan untuk menghilangkan partikel tersuspensi dan mengonsentrasikan padatan biologi. Prinsip kerja flotasi adalah mengumpulkan partikel yang melayang atau muncul dipermukaan.
8. **Aerasi** : bertujuan untuk menyuplai udara atau oksigen murni pada air limbah menggunakan difuser.
9. **Filtrasi** : bertujuan untuk menghilangkan TSS.

2.2.1.2 Pengolahan Secara Kimia

Dikutip dari buku Metcalf and Eddy; *Wastewater Engineering : Treatment and Reuse (fourth edition)* halaman 477 berikut adalah beberapa contoh dari pengolahan limbah cair secara kimia :

1. **Oksidasi** : bertujuan untuk mengubah bentuk dari komponen organik seperti menghilangkan BOD, amonia dan menghancurkan mikroorganisme.
2. **Koagulasi** : bertujuan untuk menstabilkan partikel pada air limbah untuk membuatnya menjadi flok perikinetik dan orthokinetik.
3. **Desinfeksi** : bertujuan untuk mengontrol tumbuhnya bakteri pada saluran, biasanya menggunakan desinfektan klorin, komponen klorin, bromin, ozon.
4. **Netralisasi** : bertujuan untuk mengontrol pH.
5. **Presipitasi** : bertujuan untuk menghilangkan TSS dan BOD pada sedimentasi I, selain itu juga dapat menghilangkan fosfor, logam berat dan sebagai pengontrol korosi yang disebabkan H₂S.
6. **Stabilisasi kimia** : bertujuan untuk menstabilkan keluaran limbah.

7. **Ion exchange** : bertujuan untuk menghilangkan amonia, logam berat, TDS dan komponen organik.

2.2.1.3 Pengolahan Secara Biologi

Dikutip dari buku Metcalf and Eddy; *Wastewater Engineering : Treatment and Reuse (fourth edition)* halaman 552 berikut adalah beberapa contoh dari pengolahan limbah cair secara biologi :

1. **Activated sludge** : prinsip kerja *activated sludge* adalah menumbuhkan bakteri aerobik secara bebas (*suspended growth*), bertujuan untuk menghilangkan BOD dan melakukan proses nitrifikasi.
2. **Trickling filter dan RBC (rotating biological contactors)**: prinsip kerja *trickling filter* dan RBC yaitu menumbuhkan bakteri pada suatu media (*attached growth*), bertujuan untuk menghilangkan BOD dan melakukan nitrifikasi.
3. **Kolam aerobik** : merupakan kolam yang digunakan untuk menampung limbah dengan mikroorganisme aerobik yang bertujuan untuk mendegradasi BOD.
4. **Kolam anaerobik** : merupakan kolam yang digunakan untuk menampung limbah dengan mikroorganisme anaerobik yang bertujuan untuk mendegradasi BOD dan menyetabilisasi limbah.
5. **Kolam fakultatif** : merupakan kolam yang digunakan untuk menampung limbah dengan mikroorganisme fakultatif yang bertujuan untuk mendegradasi BOD.

2.2.2. Karakteristik Beban Pencemar Pada Industri Pakan Ternak

Limbah pada industri pakan ternak berasal dari proses pembakaran dengan ketel uap (*boiler*) yang menggunakan bahan bakar batu bara dan gas alam yang mengandung banyak kontaminan yang dapat mencemari lingkungan baik badan air maupun udara. Beban pencemar yang dihasilkan ini diatur pada Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 Tentang Kegiatan Industri Lainnya.

Tabel 2.1 Baku Mutu Kegiatan Industri Lain

No	PARAMETER	SATUAN	GOLONGAN BAKU MUTU AIR LIMBAH	
			I	II
FISIK				
1	Temperatur	der.C	38	40
2	Zat padat larut (TDS)	mg/L	2000*	4000
3	Zat padar tersuspensi	mg/L	200	400
KIMIA				
1	pH		6,0 sampai 9,0	
2	Besi terlarut (Fe)	mg/L	5	10
3	Mangan terlarut (Mn)	mg/L	2	5
4	Barium (Ba)	mg/L	2	3
5	Tembaga (Cu)	mg/L	2	3
6	Seng (Zn)	mg/L	5	10
7	Krom Heksavalen(Cr+6)	mg/L	0,1	0,5
8	Krom Total (Cr)	mg/L	0,5	1
9	Cadmium (Cd)	mg/L	0,05	0,1
10	Raksa (Hg)	mg/L	0,002	0,005
11	Timbal (Pb)	mg/L	0,1	1
12	Stanium (St)	mg/L	2	3
13	Arsen (Ar)	mg/L	0,1	0,5
14	Selenium (Si)	mg/L	0,05	0,5
15	Nikel (Ni)	mg/L	0,2	0,5
16	Kobalt (Co)	mg/L	0,4	0,6
17	Sianida (CN)	mg/L	0,05	0,5
18	Sulfida (H ₂ S)	mg/L	0,05	0,1
19	Fluorida (F)	mg/L	2	3
20	Klorin bebas (Cl ₂)	mg/L	1	2
21	Amonia bebas (NH ₃ -N)	mg/L	1	5
22	Nitrat (NO ₃ -N)	mg/L	20	30
23	Nitrit (NO ₂ -N)	mg/L	1	3
24	BOD ₅	mg/L	50	150
25	COD	mg/L	100	300
26	Senyawa aktif biru metilen	mg/L	5	10
27	Fenol	mg/L	0,5	1
28	Minyak Nabati	mg/L	5	10
29	Minyak Mineral	mg/L	10	50
30	Radioaktivitas **)	mg/L	-	REF

(Sumber : Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013)

Keterangan :

- Golongan I = syarat bagi air limbah yang dibuang ke badan air penerima kelas I, II, III dan air laut.
- Golongan II = syarat bagi air limbah yang dibuang ke badan air penerima kelas IV.

2.3. Pengenalan Boiler

Boiler merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk menghasilkan steam (uap) dalam berbagai keperluan. Air di dalam boiler dipanaskan oleh panas dari hasil pembakaran bahan bakar (sumber panas lainnya) sehingga terjadi perpindahan panas dari sumber panas tersebut ke air yang mengakibatkan air tersebut menjadi panas atau berubah wujud menjadi uap. Air yang lebih panas memiliki berat jenis

yang lebih rendah dibanding dengan air yang lebih dingin, sehingga terjadi perubahan berat jenis air di dalam boiler. Air yang memiliki berat jenis yang lebih kecil akan naik, dan sebaliknya air yang memiliki berat jenis yang lebih tinggi akan turun ke dasar. (Djokosetyardjo,,M.J.1990)

Sistem boiler terdiri dari: sistem air umpan, sistem steam dan sistem bahan bakar. Sistem air umpan menyediakan air untuk boiler secara otomatis sesuai dengan kebutuhan steam. Berbagai kran disediakan untuk keperluan perawatan dan perbaikan. Sistem steam mengumpulkan dan mengontrol produksi steam dalam boiler. Steam dialirkan melalui sistem pemipaan ke titik pengguna. Pada keseluruhan sistem, tekanan steam diatur menggunakan kran dan dipantau dengan alat pemantau tekanan. Sistem bahan bakar adalah semua peralatan yang digunakan untuk menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan. Peralatan yang diperlukan pada sistem bahan bakar tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan pada sistem.

Jenis-jenis boiler dibedakan menjadi beberapa macam, antara lain:

I. Berdasarkan bahan bakar.

Jenis boiler berdasarkan bahan bakar dapat dikelompokkan menjadi :

- Boiler bahan bakar padat
- Boiler bahan bakar cair
- Boiler bahan bakar gas

II. Berdasarkan posisi air dan gas panas

Jenis boiler berdasarkan posisi air dan gas panas dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

- Boiler pipa air (water tube)
- Boiler pipa api (fire tube)
- Boiler kombinasi

III. Berdasarkan tekanan

Jenis boiler berdasarkan tekanan dapat dibagi menjadi :

- Boiler tekanan rendah
- Boiler tekanan sedang
- Boiler tekanan tinggi

IV. Berdasarkan sirkulasi

Jenis boiler berdasarkan sirkulasi air dapat dibagi atas :

- Boiler sirkulasi alami
- Boiler sirkulasi paksa

2.3.1. Kondisi Air Umpan Boiler

Air yang digunakan pada proses pengolahan dan air umpan boiler diperoleh dari air sungai, air waduk, sumur bor dan sumber mata air lainnya. Kualitas air tersebut tidak sama walaupun menggunakan sumber air sejenis, hal ini dipengaruhi oleh lingkungan asal air tersebut. Sumber mata air sungai umumnya sudah mengalami pencemaran oleh aktivitas penduduk dan kegiatan industri, oleh sebab itu perlu dilakukan pemurnian. (Santika,Sri.1984).

Air umpan boiler harus memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan agar tidak menimbulkan masalah-masalah pada pengoperasian boiler. Air tersebut harus bebas dari mineral-mineral yang tidak diinginkan serta pengotor-pengotor lainnya yang dapat menurunkan efisiensi kerja dari boiler.

Feed water harus memenuhi prasyarat tertentu seperti yang diuraikan dalam tabel di bawah ini :

Tabel 2.2 Batas Beban Tercegar Air Umpan

Parameter	Satuan	Pengendalian Batas
pH	Unit	10.5 – 11.5
Conductivity	µmhos/cm	5000, max
TDS	Ppm	3500, max
P – Alkalinity	Ppm	-
M – Alkalinity	Ppm	800, max
O – Alkalinity	Ppm	2.5 x SiO ₂ , min
T. Hardness	Ppm	-
Silica	Ppm	150, max
Besi	Ppm	2, max
Phosphat residual	Ppm	20 – 50
Sulfite residual	Ppm	20 – 50
pH condensate	Unit	8.0 – 9.0

2.3.2. Masalah-Masalah Pada Boiler

Suatu boiler atau pembangkit uap yang dioperasikan tanpa kondisi air yang baik, cepat atau lambat akan menimbulkan masalah-masalah yang berkaitan dengan kinerja dan kualitas dari sistem pembangkit uap. Banyak masalah-masalah yang ditimbulkan akibat dari kurangnya penanganan dan perhatian khusus terhadap penggunaan air umpan boiler.

Akibat dari kurangnya penanganan dan pengolahan terhadap air umpan boiler akan menimbulkan masalah-masalah sebagai berikut :

1. Pembentukan kerak
2. Peristiwa korosi
3. Pembentukan deposit
4. Terjadinya terbawanya uap (steam carryover)

2.4. Proses Pengolahan Limbah Cair Pada Industri Pakan Ternak

Proses pengolahan limbah cair yang berasal dari proses pembakaran dengan ketel uap (*boiler*) yang menggunakan bahan bakar batu bara dan gas alam, digunakan untuk membuang padatan tersuspensi, padatan terlarut (terutama ion kalsium dan magnesium yang merupakan penyebab utama pembentukan kerak) dan gas-gas terlarut (oksigen dan karbon dioksida). Proses pengolahan yang ada adalah :

- Koagulasi dan Flokulasi
- Sedimentasi
- Filtrasi
- Demineralisasi
- Softening
- Deaerasi

Metode pengolahan awal adalah sedimentasi sederhana dalam tangki pengendapan atau pengendapan dalam *clarifiers* dengan bantuan koagulan dan flokulan. Penyaring pasir bertekanan, dengan aerasi untuk menghilangkan karbon dioksida dan besi.

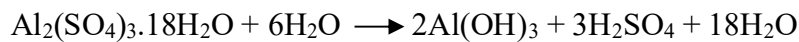
1. Koagulasi dan Flokulasi

Koagulasi dan flokulasi yaitu proses pemberian bahan-bahan koagulan dan flokulan ke dalam air umpan *boiler* dengan cara penginjeksian. Koagulasi

merupakan proses netralisasi muatan sehingga partikel-partikel dapat saling berdekatan satu dengan yang lainnya. Flokulasi merupakan proses penyatuan antar partikel-partikel yang sudah saling berdekatan satu dengan yang lain sehingga partikel-partikel akan saling menarik dan membentuk flok. Untuk menurunkan *turbidity* pada inlet *clarifier* diinjeksikan bahan kimia, yaitu :

a. Alum Sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$)

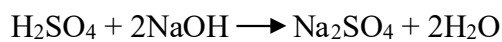
Berfungsi untuk membentuk gumpalan dari partikel yang tersuspensi dalam air. Bila alum dikontakkan dengan air maka akan terjadi hidrolisa yang menghasilkan aluminium hidroksida dan asam sulfat. Penambahan alum tergantung pada *turbidity* dan laju alir air. Reaksi yang terjadi adalah :



$\text{Al}(\text{OH})_3$ yang berupa koloid akan mengendap bersama kotoran lain yang terikat ke dalam air sedangkan H_2SO_4 akan mengakibatkan air bersifat asam.

b. *Caustik Soda* (NaOH)

Berfungsi untuk menetralkan asam akibat reaksi pada proses sebelumnya, konsentrasi *caustik soda* yang ditambahkan bergantung pada keasaman larutan. pH diharapkan antara 6-8. Reaksi yang terjadi adalah :



c. Klorin (Cl_2)

Penambahan klorin ini bertujuan untuk mematikan mikroorganisme dalam air, disamping itu juga untuk mencegah tumbuhnya lumut pada dinding *clarifier* yang dapat mengganggu proses selanjutnya.

d. *Coagulant Aid (Polymer)*

Berfungsi untuk mempercepat proses pengendapan, karena penambahan bahan ini akan mengikat partikel-partikel yang menggumpal sebelumnya menjadi gumpalan yang lebih besar (*flok*) sehingga lebih mudah dan cepat mengendap.

2. Sedimentasi

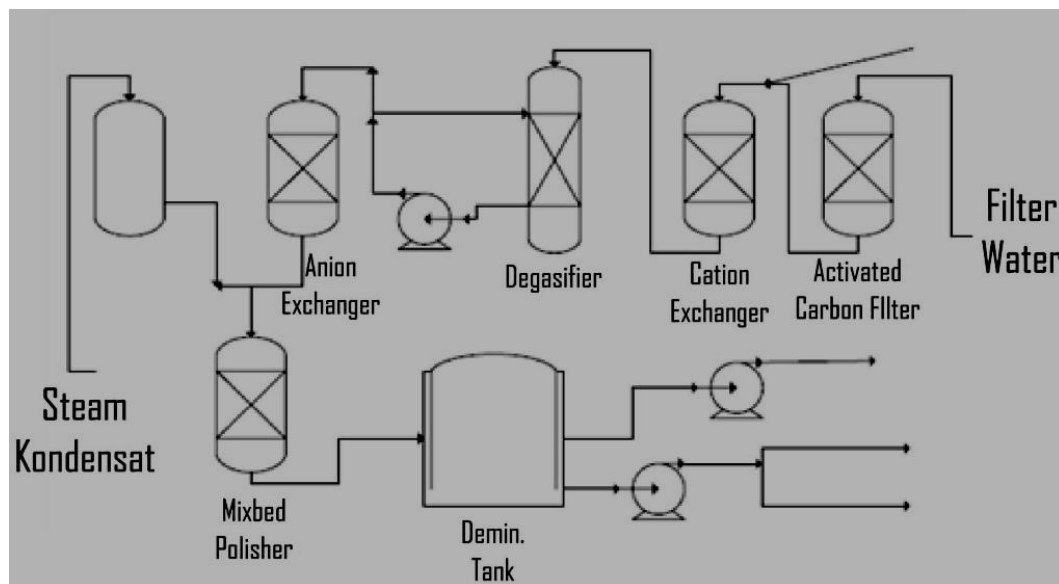
Tujuan sedimentasi adalah memberikan kesempatan kepada partikel-partikel besar untuk mengendap dan partikel yang lebih halus akan membutuhkan waktu endap yang lebih lama.

3. Filtrasi

Pengolahan dengan cara filtrasi dapat dilakukan dengan cara penyaringan zat padat tersuspensi didalam air sebelum air diisikan ke dalam *boiler*. Efisiensi saringan paling baik bila unit beroperasi pada kecepatan aliran terkecil, padatan akan melalui media membawa padatan bersamanya. Demikian pada tekanan yang tinggi dapat memecahkan media akan keluar pada saat dilakukan *backwash*.

4. Demineralisasi

Demineralisasi berfungsi untuk membebaskan air dari unsur-unsur silika, sulfat, *chloride* (klorida) dan karbonat dengan menggunakan resin. Diagram Alir proses seperti gambar dibawah ini :



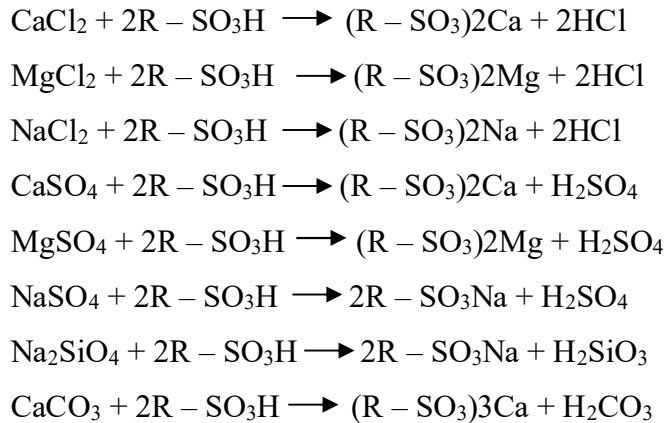
Gambar 2.1 Diagram Alir Demineralizer

(Sumber :

<http://repository.usu.ac.id/bitstream/handle/123456789/20329/Chapter%20II.pdf;jsessionid=F6A0870CEB02AE38B5AB98F3B01BA344?sequence=3>, diakses 20 Juli 2017)

a. *Cation Tower*

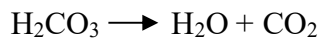
Proses ini bertujuan untuk menghilangkan unsur-unsur logam yang berupa ion-ion positif yang terdapat dalam air dengan menggunakan resin kation $R-SO_3H$ (type *Dowex Upcore Mono A-500*). Proses ini dilakukan dengan melewati air melalui bagian bawah, dimana akan terjadi pengikatan logam-logam tersebut oleh resin. Resin $R-SO_3H$ ini bersifat asam kuat, karena itu disebut asam kuat *cation exchanger* resin. Reaksi yang terjadi adalah :



Proses ini menghasilkan asam seperti asam seperti HCl, H₂SO₄ dan asam-asam lain. Keasaman berkisar antara pH 2,8-3,5. Untuk memperoleh resin aktif kembali, dilakukan regenerasi dengan menambahkan H₂SO₄ pada resin tersebut.

b. *Degasifier*

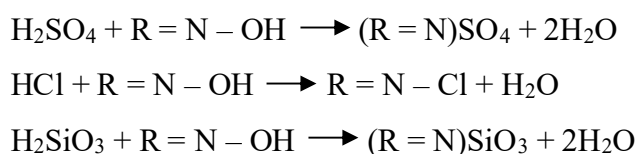
Dari *cation tower* air dilewatkan ke *degasifier* yang berfungsi untuk menghilangkan gas CO₂ yang terbentuk dari asam karbonat pada proses sebelumnya. Reaksi yang terjadi adalah :

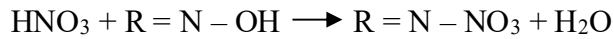
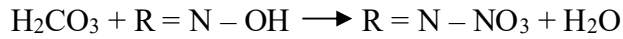


Proses di *degasifier* ini berlangsung pada tekanan vakum 740 mmHg dengan menggunakan *steam ejector*, didalam tangki ini terdapat *netting ring* sebagai media untuk memperluas bidang kontak sehingga air yang masuk terlebih dahulu diinjeksikan dengan *steam*. Sedangkan keluaran *steam ejector* dikondensasikan dengan menginjeksi air dari bagian atas dan selanjutnya ditampung dalam *seal pot* sebagai umpan *recovery tank*, maka CO₂ akan terlepas sebagai fraksi ringan dan air akan turun ke bawah sebagai fraksi berat.

c. *Anion Tower*

Berfungsi untuk menyerap atau mengikat ion-ion negatif yang terdapat dalam kandungan air yang keluar dari *degasifier*. Resin pada *anion exchanger* adalah R = NOH (Tipe *Dowex Upcore Mono C-600*). Reaksi yang terjadi adalah :



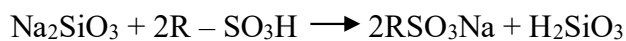


Reaksi ini menghasilkan H_2O , oleh karena itu air demin selalu bersifat netral. Selanjutnya air *outlet anion tower* masuk ke *mix bed polisher* dari bagian atas. Air keluar tangki ini memiliki pH 7,5-8,5. Untuk memperoleh resin aktif kembali, dilakukan regenerasi dengan menambahkan NaOH pada resin tersebut.

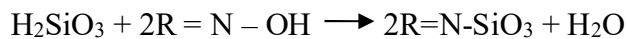
d. *Mix Bed Polisher*

Berfungsi untuk menghilangkan sisa-sisa logam atau asam dari proses sebelumnya, sehingga diharapkan air yang keluar dari *mix bed polisher* telah bersih dari kation dan anion. Di dalam *mix bed polisher* digunakan dua macam resin yaitu resin kation dan resin anion yang sekaligus keduanya berfungsi untuk menghilangkan sisa kation dan anion, terutama natrium dan sisa asam sebagai senyawa silika, dengan reaksi sebagai berikut :

Reaksi kation :



Reaksi anion :



Air yang telah bebas mineral tersebut dimasukkan ke *polish water tank* dan digunakan untuk air umpan *boiler*. Air yang keluar dari *mix bed polisher* ini memiliki pH antara 6-7. (Anonymous. 1994)

5. Deaerasi

Dalam de-aerasi, gas terlarut, seperti oksigen dan karbon dioksida, dibuang dengan pemanasan awal air umpan sebelum masuk ke *boiler*. Seluruh air alam mengandung gas terlarut dalam larutannya. Gas-gas tertentu seperti karbon dioksida dan oksigen, sangat meningkatkan korosi. Bila dipanaskan dalam sistem *boiler*, karbon dioksida (CO_2) dan oksigen (O_2) dilepaskan sebagai gas dan bergabung dengan air (H_2O) membentuk asam karbonat (H_2CO_3).

Penghilangan oksigen, karbon dioksida dan gas lain yang tidak dapat terembunkan dari air umpan *boiler* sangat penting bagi umur peralatan *boiler* dan juga keamanan operasi. Asam karbonat mengkorosi logam menurunkan

umur peralatan dan pemipaan. Asam ini juga melarutkan besi (Fe) yang jika kembali ke *boiler* akan mengalami pengendapan dan menyebabkan terjadinya pembentukan kerak pada *boiler* dan pipa. Kerak ini tidak hanya berperan dalam penurunan umur peralatan tapi juga meningkatkan jumlah energi yang diperlukan untuk mencapai perpindahan panas.