

VI . UTILITAS DAN PENGOLAHAN LIMBAH

Utilitas merupakan unit penunjang utama dalam memperlancar jalannya suatu proses produksi. Dalam suatu pabrik, utilitas memegang peranan yang penting. Karena suatu proses produksi dalam suatu pabrik tidak akan berjalan dengan baik jika utilitas tidak ada. Oleh sebab itu, segala sarana dan prasarananya harus dirancang sedemikian rupa sehingga dapat menjamin kelangsungan operasi suatu pabrik.

Berdasarkan kebutuhannya, utilitas pada pabrik pembuatan asam salisilat dari fenol dan sodium hidroksida adalah sebagai berikut:

1. Kebutuhan air
2. Sistem Penyediaan *Steam*
3. Unit Penyedia Udara Instrumen
4. Unit Pembangkit Tenaga Listrik
5. Unit Pengadaan Bahan Bakar
6. Unit CO₂ *Plant*
7. Laboratorium
8. Pengolahan Limbah

A. Kebutuhan Air

Dalam proses produksi, air memegang peranan penting, baik untuk kebutuhan proses maupun kebutuhan domestik. Adapun kebutuhan air pada pabrik pembuatan Asam salisilat ini adalah sebagai berikut:

1. Air untuk keperluan umum dan sanitasi

Air untuk keperluan umum adalah air yang dibutuhkan untuk sarana dalam pemenuhan kebutuhan pegawai seperti untuk mandi, cuci, kakus (MCK) dan untuk kebutuhan kantor lainnya, serta kebutuhan rumah tangga. Air sanitasi diperlukan untuk pencucian atau pembersihan peralatan pabrik, utilitas, laboratorium, dan lainnya.

Beberapa persyaratan untuk air sanitasi adalah sebagai berikut :

- a. Syarat fisis; di bawah suhu kamar, tidak berwarna, tidak berasa, dan tidak berbau, tingkat kekeruhan $< 1 \text{ mg SiO}_2/\text{Liter}$.
- b. Syarat kimia; tidak mengandung zat organik dan anorganik yang terlarut dalam air, logam-logam berat lainnya yang beracun.
- c. Syarat biologis (bakteriologis); tidak mengandung kuman/bakteri terutama bakteri patogen.

Tabel 6.1. Standar Air untuk Kebutuhan Domestik

No.	Parameter	Satuan	Batas Minimum	Batas Maksimum
1	Daya Hantar Listrik	Mikroohms/cm	500	500
2	Kekeruhan	NTU	< 100	150
3	Suhu	⁰ C	Normal	Normal
4	Warna	Scala Pt-Co	< 50	100
5	Material Terlarut	mg/l	< 500	500
6	Amonia	mg/l	0,01	2
7	Air Raksa	mg/l	0,0005	0,001
8	Arsen	mg/l	0	0,05
9	Barium	mg/l	0	1
10	Besi	mg/l	< 1	2
11	Boron	mg/l	< 1	1
12	Flourida	mg/l	0,5	0,5
13	Hidrogen Sulfida	mg/l	0	0
14	Kadmium	mg/l	0	0,01
15	Klorida	mg/l	25	100
16	Krom	mg/l	0	0,02
17	Kesadahan	mg/l	100	100
18	Mangan	mg/l	0,05	1
19	Nikel	mg/l	0,1	0,1
20	Nitrat	mg/l	5	10
21	Nitrit	mg/l	0	2
22	Perak	mg/l	0	0
23	pH	mg/l	6-8,5	6-8,5
24	Fosfat	mg/l	0,5	0,5
25	Selenium	mg/l	0	0
26	Seng	mg/l	1	1
27	Sulfat	mg/l	< 50	100
28	Tembaga	mg/l	0	0,1
29	Timbal	mg/l	0,05	0,1
30	Ekstrak Karbon	mg/l	0,04	0,04
31	Senyawa Aktif Biru	mg/l	0	1
	Metilen			
32	Minyak & Lemak	mg/l	0	0
33	Sianida	mg/l	0	0,05
34	Fenol	mg/l	0,001	0,05
35	Pestisida	mg/l	0	0
36	BOD	mg/l	5	10
37	COD	mg/l	10	20
38	DO	mg/l	> 3	> 3
39	Zat Tersuspensi	mg/l	100	150

(Sumber : Keputusan Gubernur Kepala Daerah Khusus Ibukota Jakarta, Nomor : 1608 tahun 1988, Tanggal : 26 September 1988, et. al. Sugiharto, 1987)

Air yang diperlukan untuk keperluan umum ini adalah sebesar :

- Air untuk kantor

Kebutuhan air untuk karyawan = 12 L/org/hr

Air untuk kebutuhan karyawan = 184 org x 12 L/org/hari

$$= 2,21 \text{ m}^3/\text{hari}$$

- Air untuk laboratorium

Air untuk keperluan ini diperkirakan = 10 m³/hari

- Air untuk kebersihan dan pertamanan

Air untuk keperluan ini diperkirakan = 7,2 m³/hari

- Air untuk perumahan pabrik

- Perumahan pabrik = 20 rumah

- Rumah dihuni 4 orang, untuk 1 rumah = 500 L/hari

Air untuk keperluan ini diperkirakan = 10 m³/hari

- Air keperluan Lainnya (Masjid) = 0,25 m³/hari

Sehingga total kebutuhan air untuk keperluan umum sebesar

Totalair keperluan umum = 29,6580 m³/hari

$$= 1.226,9225 \text{ kg/jam}$$

2. Air pendingin

Air pendingin yang digunakan ialah air olahan yang berasal dari air Sungai Bengawan Solo dengan debit 1.800 m³/s (CDMP Study, 2001). Air pendingin merupakan air yang digunakan sebagai pendingin peralatan proses dan pertukaran/perpindahan panas dalam *heat exchanger* dengan tujuan untuk memindahkan panas suatu zat di

dalam aliran ke dalam air. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam penyediaan air untuk keperluan pendinginan sebagai berikut :

1. Kesadahan air yang dapat menyebabkan terjadinya *scale* (kerak) pada sistem perpipaan.
2. Bahan-bahan penyebab korosi dan bahan-bahan penyebab penurunan efisiensi perpindahan panas seperti senyawa asam kuat.

Kualitas standar air pendingin yaitu :

- *Ca hardness* sebagai CaCO_3 : < 150 ppm
- *Mg hardness* sebagai MgCO_3 : < 100 ppm
- Silika sebagai SiO_2 : < 200 ppm
- Turbiditas : < 10
- Cl^- dan SO_4^{2-} : < 1000 ppm
- pH : 6 – 8
- Ca^{2+} : max. 300 ppm
- Silika : max. 150 ppm
- TDS : max 2500 ppm

Total air pendingin yang diperlukan sebesar 268.293,7638 kg/jam. Tabel 6.2. menunjukkan kebutuhan air pendingin untuk kebutuhan di unit proses.

Tabel 6.2. Kebutuhan air pendingin

No	Kebutuhan	Jumlah	Satuan
1	<i>Dissolving Tank I</i> (DT – 101)	80.919,0824	kg/jam
2	<i>Reactor I</i> (RE – 301)	22.587,8300	kg/jam
3	<i>Barometric Condensor</i> (CD – 301)	4.583,8206	kg/jam
4	<i>Crystallizer</i> (CR – 301)	30.164,2342	kg/jam
5	<i>Condensor</i> (CD-701)	130.038,7965	kg/jam
	Total	268.293,7638	kg/jam
	Over Design 10%	295.123,1402	kg/jam
	Recovery 90%, make up	29.512,3140	kg/jam

Air pendingin diproduksi oleh menara pendingin (*Cooling Tower*), yang mengolah air dengan proses pendinginan dari suhu 45°C menjadi 30°C, untuk dapat lagi digunakan sebagai air untuk proses pendinginan pada alat proses yang membutuhkan pendinginan.

Air pendingin yang telah keluar dari media-media perpindahan panas di area proses akan disirkulasikan dan didinginkan kembali seluruhnya di dalam *Cooling Tower*. Penguapan dan kebocoran air akan terjadi di dalam *Cooling Tower* ini. Oleh karena itu, untuk menjaga jumlah air pendingin harus ditambah air *make up* yang jumlahnya sesuai dengan jumlah air yang hilang. Jumlah *make-up water* untuk *Cooling Tower* sebesar 29.512,3140 kg/jam.

Sistem air pendingin terutama terdiri dari *Cooling Tower* dan basin, pompa air pendingin untuk peralatan proses, sistem injeksi bahan kimia, dan *induce draft fan*. Sistem injeksi bahan kimia disediakan untuk mengolah air pendingin untuk mencegah korosi, mencegah

terbentuknya kerak dan pembentukan lumpur diperalatan proses, karena akan menghambat atau menurunkan kapasitas perpindahan panas.

Pengolahan air pada *Cooling Tower* dilakukan dengan menginjeksikan zat kimia pada basin, antara lain sebagai berikut: (nadhori.blogspot.com, 25 Oktober 2015, 22:40 WIB):

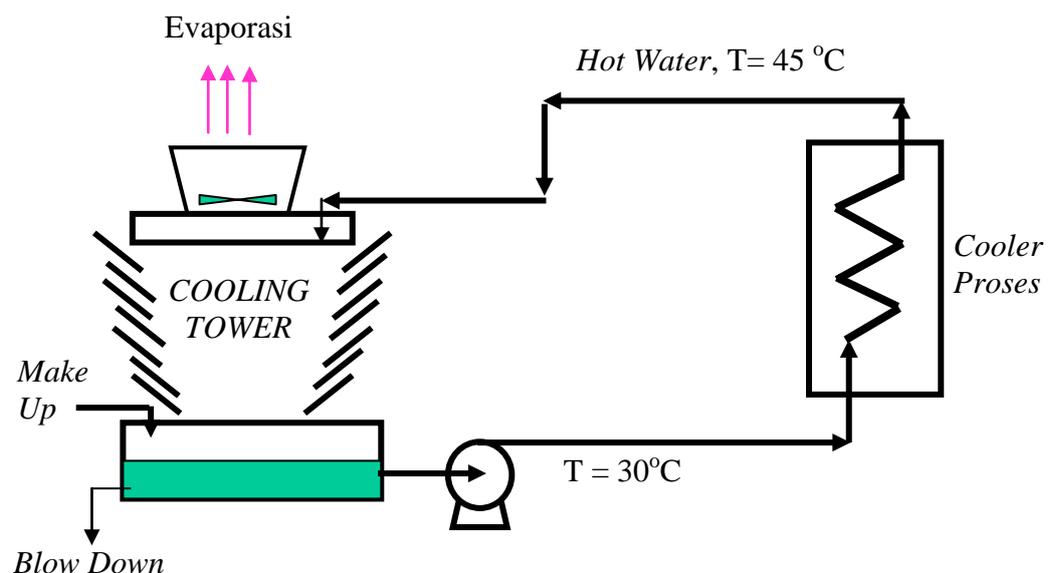
- *Corrosion inhibitor*, yaitu berupa natrium fosfat yang berfungsi untuk mencegah korosi pada peralatan.
- *Scale inhibitor*, berupa dispersant yang berfungsi untuk mencegah pembentukan kerak pada peralatan yang disebabkan oleh senyawa-senyawa terlarut.
- Penetral pH, berupa asam sulfat dengan konsentrasi 4% v/v. Asam sulfat ini diberikan untuk menetralkan pH air yang berasal dari proses agar sesuai pH air (± 7) ketika keluar dari *Cooling Tower*.

Sistem resirkulasi yang dipergunakan bagi air pendingin ini adalah sistem terbuka. Sistem ini akan memungkinkan berbagai penghematan dalam hal biaya penyediaan utilitas khususnya untuk air pendingin. Udara bebas akan digunakan sebagai pendingin dari air panas yang terbentuk sebagai produk dari proses perpindahan panas.

Proses pendinginan di *cooling tower* :

- *Cooling Water* yang telah menyerap panas proses pabrik dialirkan kembali ke *Cooling Tower* untuk didinginkan.

- Air dialirkan ke bagian atas *Cooling Tower* kemudian dijatuhkan ke bawah dan akan kontak dengan aliran udara yang dihisap oleh *Induce Draft (ID) Fan*.
- Akibat kontak dengan aliran udara terjadi proses pengambilan panas dari air oleh udara dan juga terjadi proses penguapan sebagian air dengan melepas panas laten yang akan mendinginkan air yang jatuh ke bawah.
- Air yang telah menjadi dingin tersebut dapat ditampung di Basin dan dapat dipergunakan kembali sebagai cooling water
- Air dingin dari Basin dikirim kembali untuk mendinginkan proses di pabrik menggunakan pompa sirkulasi Cooling water.
- Pada proses pendinginan di cooling tower sebagian air akan menguap dengan mengambil panas laten, oleh karena itu harus ditambahkan air *make-up* dari *Water Treatment Plant*.



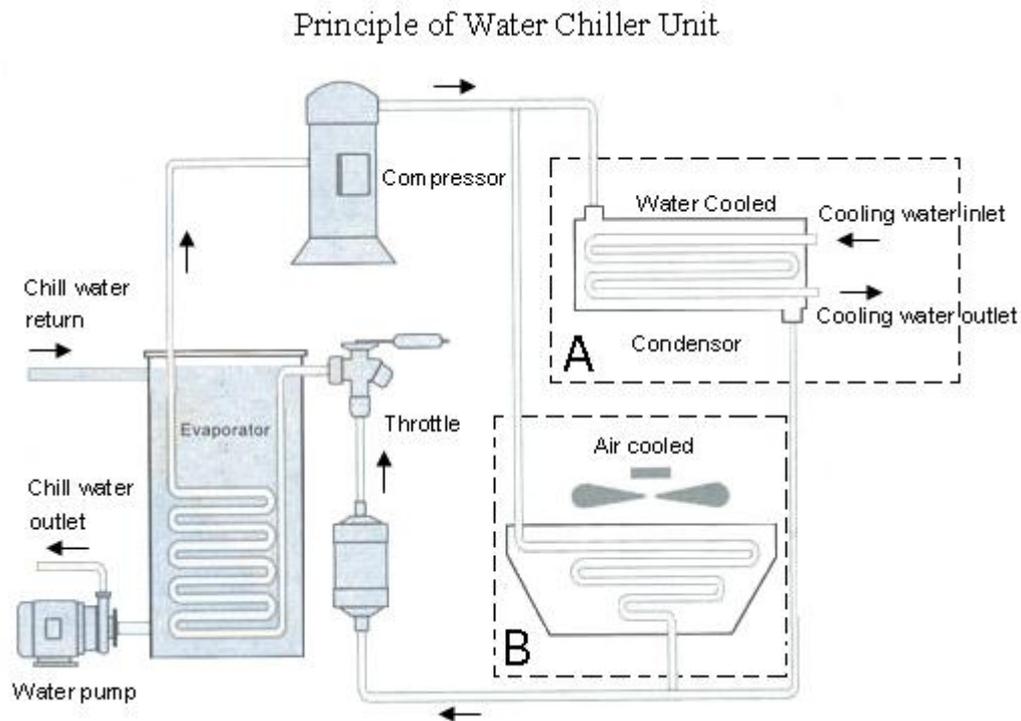
Gambar 6.1. Diagram *Cooling Water System*

Chilled Water

Dalam sistem proses produksi terutama di unit kristalisasi dibutuhkan air pendingin dengan temperatur sebesar 10°C, agar diperoleh produk kristal *sodium phenolate trihydrate* yang maksimum. Untuk itu suplai air baku pendingin harus ditreatment terlebih dahulu di *water chiller unit* sebelum digunakan sebagai fluida pendingin.

Pada *Water Chiller Unit*, air baku pendingin tersebut akan ditreatment menggunakan bantuan *refrigerant* sehingga temperaturnya akan turun dari 30°C menjadi 10°C. *Water chiller unit* ini merupakan satu kesatuan unit refrigerasi yang terdiri dari beberapa alat yang berfungsi untuk mensirkulasikan *refrigerant* sehingga dapat mendinginkan air baku pendingin sebelum didistribusikan ke area proses.

Prinsip kerja dari *Water Chiller Unit* secara sederhana dapat dilihat pada Gambar 6.2. Air masuk ke dalam *cooler (evaporator)* dan didinginkan oleh cairan *refrigerant* yang menguap pada temperatur rendah. Uap *refrigerant* dihisap masuk ke kompresor dan tekanannya dinaikkan sehingga dapat mencair kembali pada temperatur tinggi di kondenser. Pada proses ini temperatur medium pendingin kondenser (pada gambar A: menggunakan air dan B: menggunakan udara) mengalami kenaikan. *Refrigerant* cair tersebut kemudian mengalir ke *evaporator* melalui alat kontrol *refrigerant* (katup ekspansi). Siklus refrigerasi akan terus berulang seperti semula.



Gambar 6.2. Mekanisme Siklus Refrigerasi Pada *Water Chiller Unit*

3. Air umpan boiler

Air ini digunakan sebagai umpan boiler yang akan memproduksi steam. Steam jenuh yang dihasilkan boiler merupakan steam memiliki suhu 150°C dengan tekanan $475,8\text{ kPa}$.

Kebutuhan air proses dan air umpan boiler dipenuhi dari Sungai Bengawan Solo, Jawa Tengah. Air yang berasal dari Sungai Bengawan Solo belum memenuhi persyaratan untuk digunakan sebagai air umpan boiler, sehingga harus menjalani proses pengolahan terlebih dahulu. Adapun peralatan-peralatan yang membutuhkan steam dapat dilihat pada Tabel 6.3 berikut ini :

Tabel 6.3. Kebutuhan air umpan *boiler*

No	Kebutuhan	Jumlah	Satuan
1	<i>Evaporator</i> (EV 301/302/303)	1.443,3913	kg/jam
2	<i>Heat Exchanger I</i> (HE – 301)	1.290,5942	kg/jam
3	<i>Reactor III</i> (RE -302)	72,4232	kg/jam
4	<i>Dissolving Tank II</i> (DT – 501)	1.967,7851	kg/jam
5	<i>Heat Exchanger II</i> (HE – 501)	1.429,8161	kg/jam
	Total	6.204,0099	kg/jam
	Over Design 10%	6.824,4108	kg/jam
	Recovery 90%, make up	682,4441	kg/jam

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam penanganan air umpan *boiler* :

1. Zat-zat penyebab korosi

Korosi yang terjadi di dalam ketel disebabkan air pengisi mengandung larutan asam dan gas-gas terlarut, seperti O₂, CO₂, H₂S, NH₃.

2. Zat-zat penyebab *foaming*

Air yang diambil kembali dari proses pemanasan bisa menyebabkan *foam* (busa) pada *boiler*. Karena adanya zat-zat organik, anorganik, dan zat-zat yang tidak terlarut dalam jumlah besar. Efek pembusaan terutama terjadi pada alkalinitas yang tinggi.

3. Zat-zat yang menyebabkan *scale foaming*

Pembentukan kerak disebabkan adanya kesadahan dan suhu tinggi yang bisa berupa garam-garam karbonat dan silika.

Persyaratan umum air umpan *boiler* adalah :

a. Kandungan silika = 0,01 ppm maksimum

b. Konduktivitas = 1 (μ s/cm)

c. O₂ terlarut kurang dari 10 ppm

d. pH = 8,8 – 9,2

4. Air Proses

Air proses merupakan salah satu kebutuhan pabrik. Air ini harus memenuhi persyaratan tertentu sehingga dapat dipergunakan sebagai air proses. Dengan demikian diperlukan suatu unit deaerasi, desinfektasi, pelunakkan, dan demineralisasi yang bertugas untuk menjaga kualitas dari air proses ini agar tetap masuk memenuhi persyaratan yang telah ditentukan. Jumlah air yang diperlukan adalah 96.456,2324 kg/jam

Tabel 6.4. Kebutuhan air proses

No	Kebutuhan	Jumlah	Satuan
1	<i>Dissolving Tank</i> I (DT – 101)	1.959,9410	kg/jam
2	<i>Dissolving Tank</i> II (DT – 301)	17.165,4433	kg/jam
3	<i>Reactor</i> IV (RE – 401)	1.193,3643	kg/jam
4	<i>Dissolving Tank</i> III (DT – 501)	76.137,4839	kg/jam
	Total	96.456,2324	kg/jam
	Over Design 10%	106.101,8857	kg/jam

5. Air Pemadam Kebakaran

Salah satu bagian dari utilitas pabrik ini adalah air pemadam kebakaran. Kebutuhan air untuk seksi ini sangat diperlukan jika suatu saat terjadi musibah kebakaran yang menimpa salah satu bagian dari pabrik. Jadi penggunaan air untuk keperluan ini tidak dilakukan secara rutin dan kontinyu, tetapi hanya bersifat insidental.

Dalam praktiknya, kebutuhan air ini disalurkan melalui pipa *hydran* yang tersambung melalui saluran yang melintasi seluruh lokasi pabrik. Pipa-pipa *hydran* terutama dipersiapkan pada lokasi pabrik yang cukup strategis dengan pertimbangan utama adalah pada kemudahan pencapaian pada semua lokasi pabrik. Perkiraan jumlah air yang dibutuhkan untuk pemadam kebakaran sekitar $1 \text{ m}^3/\text{jam}$ yang akan ditampung dalam bak penampung.

Untuk menjamin kelangsungan penyediaan air, maka di lokasi pengambilan air dibangun fasilitas penampungan air (*water intake*) yang juga merupakan tempat pengolahan awal air sungai. Pengolahan ini meliputi penyaringan sampah dan kotoran yang terbawa bersama air. Selanjutnya air dipompakan ke lokasi pabrik untuk diolah dan digunakan sesuai dengan keperluannya.

Pengolahan air di pabrik terdiri dari beberapa tahap, yaitu :

1. Screening

Tahap *screening* merupakan tahap awal dari pengolahan air. Adapun tujuan *screening* adalah (Degremont, 1991):

- Menjaga struktur alur dalam utilitas terhadap objek besar yang mungkin merusak fasilitas unit utilitas.
- Memudahkan pemisahan dan menyingkirkan partikel-partikel padat yang besar yang terbawa dalam air sungai.

Pada tahap ini, partikel yang besar akan tersaring tanpa bantuan bahan kimia. Sedangkan partikel-partikel yang lebih kecil akan terikut bersama air menuju unit pengolahan selanjutnya.

2. Sedimentasi

Setelah air disaring pada tahap *screening*, di dalam air tersebut masih terdapat partikel-partikel padatan kecil yang tidak tersaring pada *screening*. Untuk menghilangkan padatan-padatan tersebut, maka air yang sudah disaring tadi dimasukkan ke dalam bak sedimentasi untuk mengendapkan partikel-partikel padatan yang tidak terlarut.

3. Koagulasi dan Flokulasi

Koagulasi dan flokulasi merupakan proses penghilangan kekeruhan di dalam air dengan cara mencampurkannya dengan larutan $Al_2(SO_4)_3$, Na_2CO_3 (soda abu), dan klorin. Jumlah aliran bahan kimia yang masuk dikontrol secara otomatis sebanding dengan jumlah air yang masuk.

Semua air alam mengandung bermacam-macam jenis dan jumlah pengotor. Kotoran ini dapat digolongkan sebagai :

a. Padatan yang terlarut

Zat-zat padat yang terlarut terdiri dari bermacam-macam komposisi mineral-mineral seperti kalsium karbonat, magnesium karbonat, kalsium sulfat, magnesium sulfat, silika, sodium klorida, sodium sulfat dan sejumlah kecil besi, mangan, florida, aluminium, dan lain-lain.

b. Gas-gas yang terlarut

Gas-gas yang terlarut biasanya adalah komponen dari udara walaupun biasanya jarang, seperti hidrogen sulfida, metana, oksigen dan CO₂.

c. Zat yang tersuspensi

Dapat berupa kekeruhan (*turbidity*) yang terjadi dari bahan organik, mikro organik, tanah liat dan endapan lumpur, warna yang disebabkan oleh pembusukan tumbuh-tumbuhan, dan lapisan endapan mineral seperti minyak. Untuk menyempurnakan proses flokulasi dan penjernihan, digunakan bahan kimia koagulasi yaitu :

- Larutan Alum (aluminium sulfat)

Berupa tepung berwarna putih, dapat larut dalam air, stabil dalam udara, tidak mudah terbakar, tidak dapat larut dalam alkohol dan dapat dengan cepat membentuk gumpalan. Alum berfungsi sebagai bahan penggumpal (*floculant*) untuk menjernihkan air. Pembentukan flok terbaik pada pH 6,5 – 7,5. Jumlah alum yang diinjeksikan sebanyak 0,06% dari air umpan dengan konsentrasi 17% volum.

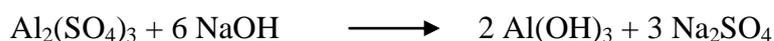
- Soda kaustik (NaOH)

Diinjeksikan untuk mengatur pH atau memberikan kondisi basa pada air sungai sehingga mempermudah pembentukan flok oleh alum karena air sungai cenderung bersifat asam. Jumlah soda abu yang diinjeksikan sebanyak 0,05% dari air umpan dengan konsentrasi 11% volum.

- Kaporit

Berfungsi untuk membunuh bakteri, jamur, dan mikroorganisme. Jumlah kaporit yang diinjeksikan sebanyak 1,2 % dari umpan dengan konsentrasi 33 % volum.

Reaksi yang terjadi :



Proses koagulasi , flokulasi, dan penjernihan :

- Zat-zat pengotor dalam bentuk senyawa suspensi koloidal tersusun dari ion-ion bermuatan negatif yang saling tolak-menolak.
- Aluminium Sulfat dalam air akan larut membentuk ion Al^{3+} dan OH^- serta menghasilkan asam sulfat sebagai berikut:



- Ketika ion yang bermuatan positif dalam koagulan (Alum, Al^{3+}) bertemu/kontak dengan ion negatif tersebut pada kondisi pH tertentu maka akan terbentuk *floc* (butiran gelatin).
- Butiran partikel *floc* ini akan terus bertambah besar dan berat sehingga cenderung akan mengendap ke bawah.
- Pada proses pembentukan *floc*, pH cenderung turun (asam) karena terbentuk juga H_2SO_4 . Untuk mengontrol pH, diinjeksikan NaOH.
- Untuk menjamin koagulasi yang efisien pada dosis bahan kimia yang minimal maka *koagulant* harus dicampur secara cepat dengan

air. Proses pencampuran bahan kimia ini dilakukan di *Premix Tank / Flocculator*.

- Tahap selanjutnya adalah menjaga pembentukan *floc* (flokulasi) dan mengendapkan partikel *floc* sambil memperhatikan pembentukan lapisan lumpur (*sludge blanket*) dengan pengadukan pelan, sehingga air yang jernih akan terpisah dari endapan *floc*. Proses ini terjadi di *Clarifier / Floctreator*.
- Lapisan lumpur juga berfungsi menahan *floc* yang baru terbentuk, oleh karena itu harus dijaga tetap ada.
- Untuk menjaga supaya lumpur merata dan tidak terlalu padat dilakukan pengadukan lambat.
- Level lapisan lumpur dijaga dengan melakukan *blowdown*

4. Penyaringan (*Filtration*)

Air yang dipersiapkan sebagai bahan baku untuk proses pertukaran ion (*ion exchanger*) harus disaring untuk mencegah *fouling* di penukar ion yang disebabkan oleh kotoran yang terbawa. Bahan yang akan disaring termasuk bahan organik, warna, dan bakteri. Selama operasi dari filter, kotoran yang masih terbawa pada air setelah mengalami proses penjernihan akan terlepas oleh filter dan terkumpul pada permukaan *bed*. Penyaringan ini menggunakan media pasir atau *sand filter* berbentuk silinder vertikal yang terdiri dari *fine sand* dan *coarse sand*.

Bila *sand filter* ini telah jenuh maka perlu dilakukan regenerasi, dengan cara cuci aliran balik (*backwash*) dengan aliran yang lebih tinggi dari

aliran filtrasi, hal ini dilakukan untuk melepaskan kotoran (*suspended matters*) dari permukaan filter dan untuk memperluas bidang penyaringan. Setelah di-*backwash* dan filter dioperasikan kembali, air hasil saringan untuk beberapa menit pertama dikirim ke pembuangan, hal ini dilakukan untuk membersihkan sistem dari benda-benda padat yang masih terbawa dan setelah itu dibuang. *Backwash* filter secara otomatis terjadi bila hilang tekan tinggi (*high pressure drop*) tercapai atau waktu operasi (*duration time*) tercapai. Larutan kaporit diinjeksikan untuk mencegah tumbuhnya mikroorganisme pada produk air filter yang masuk ke tangki penyimpanan air filter. Dari tangki air filter air didistribusikan ke perumahan, unit demineralisasi, dll.

5. Demineralisasi

Demineralisasi berfungsi mengambil semua ion yang terkandung di dalam air. Air yang telah mengalami proses ini disebut air demin (*deionized water*). Sistem demineralisasi disiapkan untuk mengolah air filter dengan penukar ion (*ion exchanger*) untuk menghilangkan padatan yang terlarut dalam air dan menghasilkan air demin sebagai air umpan ketel (*boiler feed water*) untuk membangkitkan *steam* dan sebagai air pendingin.

Unit penyediaan air bebas mineral terdiri dari *cation exchanger*, dan *anion exchanger*. Pada penukar kation diisi dengan penukar ion asam lemah berupa metilen akrilat.

Resin ini dirancang untuk menghilangkan/mengikat ion-ion logam dari air atau ion-ion positif seperti K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , dan Al^{3+} . Resin akan melepaskan ion H^+ sehingga air yang dihasilkan akan bersifat asam dengan pH 3,2–3,3. Apabila pH air yang keluar melebihi batas yang dibolehkan, berarti resin yang ada telah jenuh dan perlu diregenerasi. Hal tersebut dilakukan dengan melarutkan asam sulfat sehingga ion H^+ dari asam sulfat akan menggantikan ion logam dalam resin dan selanjutnya resin dapat digunakan kembali. Penyerapan ion positif mutlak dilakukan agar tidak membentuk kerak.

Penukar anion berisi penukar ion basa lemah berupa resin amino polistirena $NH(CH_2)OH$). Resin ini dirancang untuk menghilangkan ion asam dari air atau ion-ion negatif seperti karbonat, bikarbonat, sulfat, sulfit, nitrat, nitrit, silika, dan lain-lain.

Air bebas mineral pada *cation* dan *anion exchanger* selanjutnya akan dialirkan ke Tangki air Proses. Air yang keluar dari *cation* dan *anion exchanger* ini memiliki pH 6 – 7.

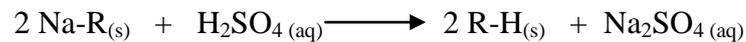
Penukar kation-anion berisi campuran resin kation dan anion untuk pengolahan akhir air. Semua penukar ion dioperasikan dengan aliran air yang kontinyu. Resin yang diisikan ke penukar ion diregenerasi bila kemampuannya menukar ion telah habis. Regenerasi terdiri dari tiga langkah yaitu cuci balik (*backwash*), regenerasi awal dengan bahan kimia dan pencucian (*rinse*).

Bahan kimia yang dipakai untuk regenerasi dari penukar ion dan netralisasi air bekas regenerasi adalah :

1. Asam sulfat (H_2SO_4)
2. Natrium hidroksida (NaOH)

Reaksi yang terjadi pada saat regenerasi adalah :

- a. Pada penukar kation



- b. Pada penukar anion



Air yang telah bebas mineral tersebut dimasukkan ke tangki penampungan air demin dan digunakan untuk air umpan *boiler*.

B. Sistem Penyediaan *Steam*

Sistem penyediaan *steam* terdiri dari deaerator dan *steam generator*. *Steam* dibutuhkan untuk menyuplai panas ke proses.

1. Deaerasi

Proses deaerasi terjadi dalam deaerator berfungsi untuk membebaskan air bebas mineral (*demin water*) dari komponen udara melalui *spray*, *sparger* yang berkontak secara *counter current* dengan *steam*. *Demin water* yang sudah bebas dari komponen udara ditampung dalam drum dari *deaerator*. *Deaerator* memiliki waktu tinggal 15 menit. Larutan hidrazin diinjeksikan ke dalam deaerator untuk menghilangkan oksigen terlarut dalam air bebas mineral.

Persyaratan umum air umpan *boiler* adalah :

- Kandungan silika = 0,01 ppm maksimum
- Konduktivitas = 1 ($\mu\text{s}/\text{cm}$)
- O_2 terlarut kurang dari 10 ppm
- pH : 8,8 – 9,2

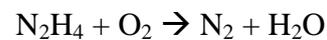
Proses pengolahan air umpan *boiler*

- Air demin sebelum menjadi air umpan *boiler* harus dihilangkan dulu gas-gas terlarutnya terutama oksigen dan CO_2 melalui proses deaerasi.
- Oksigen dan CO_2 dapat menyebabkan korosi pada perpipaan dan *tube-tube boiler*.
- Proses deaerasi dilakukan dalam *daerator* dalam 2 tahap

Mekanis : proses *stripping* dengan steam LS

dapat menghilangkan Oksigen sampai 0,007 ppm

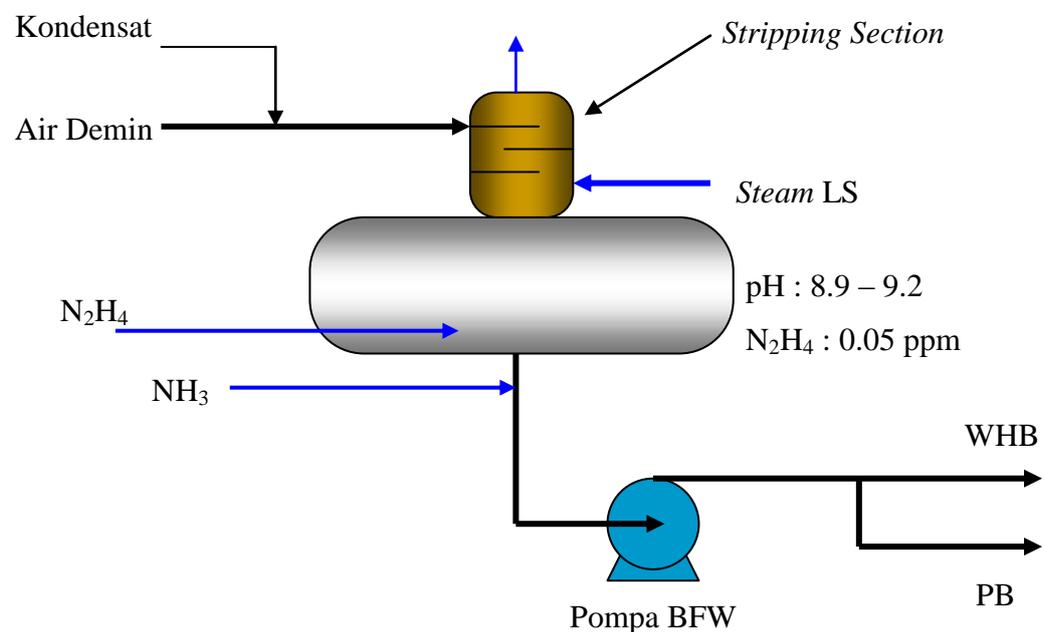
Kimia : reaksi dengan N_2H_4 (hydrazine) dapat menghilangkan sisa oksigen



N_2H_4 juga bereaksi dengan besi:



- Proses Deaerasi
 - ✓ Air demin + kondensat dihilangkan kandungan O_2 dan gas-gas terlarut (CO_2) melalui proses *stripping* dengan LS dan reaksi dengan *Hydrazine* (N_2H_4)
 - ✓ pH dinaikkan menjadi 9.0 dengan injeksi NH_3
 - ✓ Keluaran *deaerator* disebut *Boiler Feed Water* (BFW)

Gambar 6.3. *Deaerator*

2. *Steam generator*

Pembentukan *steam* terjadi di dalam *boiler* (*steamgenerator*). Pada umumnya ada dua jenis *boiler*, pertama, *fire tube boiler* yang mirip dengan *shell and tube heat exchanger* dengan gas pembakar mengalir melalui tube. *Fire tube boiler* digunakan untuk membangkitkan *steam* dengan tekanan maksimal 1.553

kPa dan temperatur 200°C. Kedua, *water tube boiler* dengan air umpan *boiler* melalui tube dan terjadi pembentukan *steam* pada *tube*. Sementara pembakaran terjadi dalam kotak *chamber* terbuka.

C. Unit Penyedia Udara Proses dan *Instrument (Compressed Air System)*

Unit ini berfungsi untuk menyediakan atau menyuplai kebutuhan udara proses yang digunakan pada RD-301 dan RD-501 serta menyuplai udara instrumen, yang berfungsi untuk menggerakkan *control valve*. Sedangkan udara instrumen yang dibutuhkan disesuaikan dengan jumlah *control valve* yang digunakan. Udara tekan yang digunakan pada *control valve*, memiliki spesifikasi tertentu seperti memiliki kondisi yang kering dan bersih serta memiliki tekanan yang berkisar antara 15 – 20 psig (Kern, 1950; hal.768).

D. Unit Pembangkit Tenaga Listrik

Tenaga listrik dibangkitkan menggunakan *Gas Turbine Generator (GTG)* dengan bahan bakar LNG. Gas buang dari unit ini kemudian dimanfaatkan sebagai bahan bakar untuk pembuatan kukus pada *waste heat boiler (WHB)*. Listrik yang dihasilkan digunakan untuk menjalankan pabrik. Kebutuhan listrik total sebesar 929,665 kW. Selain listrik yang dibangkitkan oleh GTG induk, juga disediakan *Diesel Emergency Generator* yang berfungsi sebagai sumber listrik cadangan apabila terjadi *total failure*.

E. Laboratorium

Laboratorium merupakan bagian yang sangat penting dalam menunjang kelancaran proses produksi dan menjaga mutu produksi. Dengan data yang diperoleh dari laboratorium maka proses produksi akan selalu dapat dikendalikan dan kualitas produk dapat dijaga sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan. Disamping itu juga berperan dalam pengendali pencemaran lingkungan. Laboratorium mempunyai tugas pokok antara lain :

1. Sebagai pengendali kualitas bahan baku dan pengendali kualitas produk.
2. Sebagai pengendali terhadap proses produksi dengan melakukan analisa terhadap pencemaran lingkungan yang meliputi polusi udara, limbah cair dan limbah padat yang dihasilkan unit-unit produksi.
3. Sebagai pengendali terhadap mutu air proses, air pendingin, airumpan *boiler*, *steam*, dan lain-lain yang berkaitan langsung dengan proses produksi.

F. Instrumentasi dan Pengendalian Proses

Pengoperasian suatu pabrik kimia harus memenuhi beberapa persyaratan yang ditetapkan dalam perancangannya. Persyaratan tersebut meliputi keselamatan, spesifikasi produk, peraturan mengenai lingkungan hidup, kendala operasional, dan faktor ekonomi. Pemenuhan persyaratan tersebut berhadapan dengan keadaan lingkungan yang berubah-ubah, yang dapat mempengaruhi

jalannya proses atau yang disebut disturbance (gangguan) (Stephanopoulos, 1984). Adanya gangguan tersebut menuntut pemantauan secara terus-menerus maupun pengendalian terhadap jalannya operasi suatu pabrik kimia untuk menjamin tercapainya tujuan operasional pabrik. Pengendalian atau pemantauan tersebut dilaksanakan melalui penggunaan peralatan dan engineer (sebagai operator terhadap peralatan tersebut) sehingga kedua unsur ini membentuk satu sistem kendali terhadap pabrik.

Instrumentasi adalah peralatan yang dipakai di dalam suatu proses kontrol untuk mengatur jalannya suatu proses agar diperoleh hasil sesuai dengan yang diharapkan. Fungsi instrumentasi adalah sebagai pengontrol, penunjuk, pencatat, dan pemberi tanda bahaya. Peralatan instrumentasi biasanya bekerja dengan tenaga mekanik atau tenaga listrik dan pengontrolannya dapat dilakukan secara manual atau otomatis. Penggunaan instrumen pada suatu peralatan proses tergantung pada pertimbangan ekonomi dan sistem peralatan itu sendiri. Pada pemakaian alat-alat instrumen juga harus ditentukan apakah alat-alat tersebut dipasang diatas papan instrumen dekat peralatan proses (kontrol manual) atau disatukan dalam suatu ruang kontrol yang dihubungkan dengan bangsal peralatan (kontrol otomatis) (Peters, et.al., 2004).

Sistem pengendalian di pabrik asam salisilat ini menggunakan *Distributed Control System* (DCS). Sistem ini mempergunakan komputer mikroprosesor yang membagi aplikasi besar menjadi sub-sub yang lebih kecil. Data yang diperoleh dari elemen-elemen sensor diolah dan disimpan. Pengendalian dilakukan dalam *Programmable Logic Controller* dengan cara mengubah

data-data tersebut menjadi sinyal elektrik untuk pembukaan atau penutupan *valve-valve*. Untuk melakukan perhitungan matematis yang rumit dan kompleks dibutuhkan *Supervisor Control System (SCS)*.

Beberapa kemampuan yang dimiliki oleh SCS adalah :

1. Kalkulasi termodinamik.
2. Prediksi sifat/komposisi produk dan kontrol.
3. Menyimpan data dalam jangka waktu yang panjang.

Model hierarki pengendalian meliputi empat tingkat kebutuhan informasi dan sistem pengendalian. *Computer Integrated Manufacturing (CIM)* dicapai dengan pengkoordinasian dan penggunaan secara efektif aliran informasi melalui seluruh tingkatan. Keempat tingkatan ini diperlihatkan pada Tabel 6.5.

Tabel 6.5. Tingkatan Kebutuhan Informasi dan Sistem Pengendalian

Tingkatan	Fungsi
1. <i>Regulatory and Sequential Control</i>	Memantau, mengendalikan, dan mengatur berbagai aktuator dan perangkat lapangan yang berhubungan langsung dengan proses.
2. <i>Supervisory Control System</i>	- Mengkoordinasikan kegiatan satu atau lebih DCS - Menyediakan plantwide summary dan <i>plantwide process overview</i> .
3. Sistem informasi yang dibutuhkan oleh <i>Local Plant Management</i>	Pengaturan operasi hari ke hari, seperti penjadwalan produk, pemantauan operasi, laboratorium jaminan kualitas, akumulasi data produksi–biaya, dan <i>tracking shipment</i> .
4. <i>Management Information System</i>	Mengkoordinasikan informasi keuangan, penjualan, dan pengembangan produk pada tingkat perusahaan.

Variabel-variabel proses yang biasanya dikontrol/diukur oleh instrumen adalah (Considine, 1985):

1. Variabel utama, seperti temperatur, tekanan, laju alir, dan level cairan.
2. Variabel tambahan, seperti densitas, viskositas, panas spesifik, konduktivitas, pH, humiditas, titik embun, komposisi kimia, kandungan kelembaban, dan variabel lainnya.

Pada dasarnya sistem pengendalian terdiri dari (Considine,1985):

1. Sensing Elemen/Elemen Perasa (*Primary Element*)

Elemen yang merasakan (menunjukkan) adanya perubahan dari harga variable yang diukur.

2. Elemen pengukur (*Measuring Element*)

Elemen pengukur adalah suatu elemen yang sensitif terhadap adanya perubahan temperatur, tekanan, laju aliran, maupun tinggi fluida. Perubahan ini merupakan sinyal dari proses dan disampaikan oleh elemen pengukur ke elemen pengontrol.

3. Elemen pengontrol (*Controlling Element*)

Elemen pengontrol yang menerima sinyal kemudian akan segera mengatur perubahan-perubahan proses tersebut sama dengan nilai set point (nilai yang diinginkan). Dengan demikian elemen ini dapat segera memperkecil ataupun meniadakan penyimpangan yang terjadi.

4. Elemen pengontrol akhir (*Final Control Element*)

Elemen ini merupakan elemen yang akan mengubah masukan yang keluar dari elemen pengontrol ke dalam proses sehingga variabel yang diukur tetap berada dalam batas yang diinginkan dan merupakan hasil yang dikehendaki.

Pengendalian peralatan instrumentasi dapat dilakukan secara otomatis dan semi otomatis. Pengendalian secara otomatis adalah pengendalian yang dilakukan dengan mengatur instrumen pada kondisi tertentu, bila terjadi penyimpangan variabel yang dikontrol maka instrumen akan bekerja sendiri untuk mengembalikan variabel pada kondisi semula, instrumen ini bekerja

sebagai controller. Pengendalian secara semi otomatis adalah pengendalian yang mencatat perubahan-perubahan yang terjadi pada variabel yang dikontrol. Untuk mengubah variabel-variabel ke nilai yang diinginkan dilakukan usaha secara manual, instrumen ini bekerja sebagai pencatat (*recorder*).

Hal-hal yang diharapkan dari pemakaian alat-alat instrumentasi adalah :

- Kualitas produk dapat diperoleh sesuai dengan yang diinginkan
- Pengoperasian sistem peralatan lebih mudah
- Sistem kerja lebih efisien

Instrumentasi yang umum digunakan dalam pabrik adalah (Considine, 1985):

1. Untuk variabel temperatur:

- *Temperature Controller* (TC) adalah instrumentasi yang digunakan untuk mengamati *temperature* suatu alat dan bila terjadi perubahan dapat melakukan pengendalian
- *Temperature Indicator Controller* (TI) adalah instrumentasi yang digunakan untuk mengamati *temperature* dari suatu alat

2. Untuk variabel tinggi permukaan cairan

- *Level Controller* (LC) adalah instrumentasi yang digunakan untuk mengamati ketinggian cairan dalam suatu alat dan bila terjadi perubahan dapat melakukan pengendalian.
- *Level Indicator Controller* (LI) adalah instrumentasi yang digunakan untuk mengamati ketinggian cairan dalam suatu alat.

3. Untuk variabel tekanan

- *Pressure Controller* (PC) adalah instrumentasi yang digunakan untuk mengamati tekanan operasi suatu alat dan bila terjadi perubahan dapat melakukan pengendalian.
- *Pressure Indicator Controller* (PI) adalah instrumentasi yang digunakan untuk mengamati tekanan operasi suatu alat.

4. Untuk variabel aliran cairan

- *Flow Controller* (FC) adalah instrumentasi yang digunakan untuk mengamati laju alir larutan atau cairan yang melalui suatu alat dan bila terjadi perubahan dapat melakukan pengendalian.
- *Flow Indicator Controller* (FI) adalah instrumentasi yang digunakan untuk mengamati laju aliran atau cairan suatu alat.

Tabel 6.6. Daftar Instrumentasi Alat

No	Nama Alat	Jenis Instrumen
1	Tempat Penampungan (<i>Storage</i>)	<i>Level Indicator</i> (LI)
2	Tangki Pencampur (<i>Mixer</i>)	<i>Level Indicator</i> (LI)
3	Reaktor	<i>Temperature Indicator</i> (TI) <i>Level Indicator</i> (LI)
4	<i>Crystallizer</i>	<i>Temperature Indicator</i> (TI) <i>Level Indicator</i> (LI)
5	<i>Evaporator</i>	<i>Pressure Indicator</i> (PI) <i>Temperature Indicator</i> (TI)
6	<i>Centrifuge</i>	<i>Level Indicator</i> (LI)
7	<i>Rotary Dryer</i>	<i>Temperature Indicator</i> (TI)
8	<i>Heat Exchanger</i>	<i>Temperature Indicator</i> (TI)
9	<i>Compressor</i>	<i>Pressure Controller</i> (PC)
10	<i>Screw Conveyor</i>	<i>Flow Controller</i> (FC)
11	<i>Belt Conveyor</i>	<i>Flow Controller</i> (FC)
12	<i>Fan</i>	<i>Flow Controller</i> (FC)
13	Pompa	<i>Flow Controller</i> (FC)

G. Pengolahan Limbah

Beberapa limbah yang dihasilkan dari pabrik asam salisilat sebagai berikut:

a. Air buangan sanitasi

Air buangan sanitasi yang berasal dari seluruh toilet di kawasan pabrik, pencucian, dan dapur dapat langsung dibuang ke pembuangan umum, sedangkan kotoran yang berasal dari toilet dibuang ke tempat pembuangan khusus *septic tank*.

b. Air buangan dari peralatan proses

Air buangan ini mengandung bahan organik yang mungkin disebabkan oleh:

- Kebocoran dari suatu peralatan.
- Kebocoran karena tumpah pada saat pengisian.
- Pencucian atau perbaikan peralatan.

Pada pabrik asam salisilat, limbah cair berasal dari aktifitas domestik seperti MCK, perkantoran, dan aktifitas industri seperti air pencucian, pembilasan, sisa pelarutan, dan *blowdown*.

Proses pengolahan limbah, terutama limbah cair, dapat diolah menggunakan tiga macam proses yaitu, secara fisika, kimia, dan biologis. Pada pabrik asam

salisilat, digunakan pengolahan limbah secara fisik dan kimia, dengan pertimbangan limbah yang dihasilkan tidak terlalu berbahaya.

- Pengolahan Secara Fisika

Tujuan : Memisahkan bahan-bahan yang berukuran besar dan terapung

Tahapan pengolahannya antara lain :

- a. Penyaringan: cara yang efisien dan murah untuk menyisihkan bahan tersuspensi yang berukuran besar
- b. Flotasi: digunakan untuk menyisihkan bahan-bahan yang mengapung (minyak, lemak) agar tidak mengganggu proses pengolahan berikutnya
- c. Filtrasi: menyisihkan sebanyak mungkin partikel tersuspensi dari dalam air agar tidak mengganggu proses pengolahan berikutnya
- d. Adsorpsi: menyisihkan kemungkinan adanya senyawa aromatik (fenol) dan senyawa organik terlarut lainnya

- Pengolahan Secara Kimia

Tujuan: Menghilangkan partikel-partikel yang tidak mudah mengendap seperti koloid

Tahapan pengolahannya berupa penambahan koagulan dan flokulan. Pada pengolahan limbah, terdapat kolam ekualisasi, dimana kolam tersebut berfungsi sebagai pengatur laju alir limbah agar pengolahan limbah dapat berjalan dengan baik.

Tabel 6.7. Syarat-Syarat Kualitas (Mutu) Air Limbah

No.	Parameter	Satuan	Batas Minimum	Batas Maksimum
1	Arsen	mg/l	0	0,05
2	Barium	mg/l	0	0,05
3	Besi	mg/l	0	1,0
4	Bor	mg/l	0	1,0
5	Krom (6+)	mg/l	0	0,05
6	Krom (3+)	mg/l	0	0,5
7	Kadmium	mg/l	0	0,01
8	Kobalt	mg/l	0	1,0
9	Mangan	mg/l	0	0,5
10	Nikel	mg/l	0	0,1
11	Perak	mg/l	0	0,05
12	Raksa	mg/l	0	0,005
13	Selesium	mg/l	0	0,01
14	Seng	mg/l	0	1,0
15	Tembaga	mg/l	0	1,0
16	Timbal	mg/l	0	0,05
17	Amonia	mg/l	0,01	0,5
18	Klorida	mg/l	25	600
19	Klor Bebas	mg/l	0	0
20	Flourida	mg/l	0	1,5
21	Kesadahan	⁰ D	5	0
22	Nitrat dan Nitrit	mg/l	0	10
23	Sulfat	mg/l	50	400
24	Sulfida	mg/l	0	0
25	Uranyl	mg/l	0	5
26	Ekstrak Karbon	mg/l	0,01	0,5
	Kloroform			
27	Herbisida	mg/l	0	0,1
28	Minyak dan Lemak	mg/l	0	-
29	Fenol	mg/l	0	0,002
30	Pestisida			
	a. Aldrin	mg/l	0	0,017
	b. Klordane	mg/l	0	0,003
	c. DDT	mg/l	0	0,042
	d. Dieldrin	mg/l	0	0,017
	e. Endriana	mg/l	0	0,001
	f. Heptaklor	mg/l	0	0,018
	g. Heptaklor Eposit	mg/l	0	0,018
	h. Lindane	mg/l	0	0,056
	i. Metoksi Klor	mg/l	0	0,035
31	Sianida	mg/l	0	0,1
32	Gross Beta	mg/l	100	1000
33	Radium 226	mg/l	1	3
34	Strontium -90	mg/l	2	10

(Sumber : NOMOR : 173/Men.Kes/Per/VIII/1977 et. al. Sugiharto, 1977)

H. Unit CO₂ plant

Unit ini berfungsi untuk memproduksi gas karbondioksida (CO₂) yang digunakan sebagai bahan baku pada Reaktor (RE-301). Bahan baku dari unit ini adalah *Flue Gas* keluaran dari boiler .

Adapun spesifikasi peralatan yang digunakan pada unit penyedia CO₂ ini adalah sebagai berikut :

- Absorber 701 : Menyerap gas CO₂ yang terdapat pada *flue gas* dengan menggunakan larutan *benfield*.
- Stripper 701 : Untuk memisahkan gas CO₂ yang terdapat pada larutan *benfield*
- Reboiler : Untuk memanaskan kembali dan menguapkan kembali sebagian produk bawah kolom stripper dan dikembalikan lagi ke dalam kolom stripper