

BAB IV

UNIT PENDUKUNG PROSES

Unit utilitas memiliki peranan yang sangat penting karena berfungsi menyediakan kebutuhan penunjang sehingga proses produksi dapat berlangsung dengan baik mulai dari bahan baku hingga menjadi produk akhir. Pada pabrik N-butyl asetat, utilitas yang digunakan antara lain meliputi:

1. Unit Penyediaan dan Pengolahan Air (*Water Treatment System*)
2. Unit Pembangkit *steam* (*Steam Generation System*)
3. Unit Penyedia Udara Instrumen (*Power Air System*)
4. Unit Penyedia Bahan Bakar
5. Unit Pembangkit Listrik (*Power Plant System*)
6. Unit Laboratorium
7. Unit Pengolahan Limbah

4.1 Unit Penyediaan dan Pengolahan Air (*Water Treatment System*)

Pada prarancangan pabrik butyl asetat ini, kebutuhan air untuk pabrik diperoleh dari Instalasi Pengolahan Air Bersih Kawasan *Java Integrated and Industrial Port Estate* (JIPE) Gresik.

Tabel 4. 1 Standar Kualitas Air Industri di JIPE

Jenis Air Industri	pH	Conductivity max. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TOC max. (ppm)
Air Rumah Tangga	6,5 – 8,5	< 300	< 10
Air Cooling Tower	6,5 – 8,0	< 1000	< 50
Air Demin	5,5 – 6,5	< 10	< 1
Soft Water	6,5 – 8,5	< 500	< 10
Pure Water	5,0 – 7,0	< 1,3	< 0,5

Unit penyediaan air yang terdapat di bagian utilitas berfungsi untuk menyediakan air yang dibutuhkan untuk keperluan air industri, air hidran dan sanitasi.

4.1.1 Unit Penyediaan Air

Pada perancangan pabrik butyl asetat (atau N-butyl asetat), sumber air berasal dari Instalasi Pengolahan Air Bersih Kawasan JIPE Gresik, berikut pertimbangan menggunakan air sungai sebagai sumber untuk mendapatkan air:

- Air tersedia dalam kondisi yang sudah siap digunakan (setelah pengolahan IPA).
- Lebih praktis dalam pemakaian untuk kebutuhan industri.
- Memiliki kemampuan menyerap panas yang tinggi per satuan volume.
- Tidak mudah terdekomposisi sehingga relatif aman terhadap fouling dan scaling.
- Tidak memerlukan unit pengolahan tambahan di dalam pabrik karena sudah disuplai dari IPA kawasan industri.

Pada umumnya, kebutuhan air pada pabrik digunakan untuk keperluan:

1. Air Pendingin

Air pendingin merupakan air yang melewati penukar panas untuk menyerap dan memindahkan panas. Di dalam sistem pendingin terdapat suatu sistem yang dilalui oleh aliran air pendingin, sistem ini bertujuan untuk mengatasi terjadinya *over heating* (panas yang berlebihan) sehingga mesin dapat bekerja secara stabil. Air pendingin adalah air limbah yang berasal dari aliran air yang digunakan untuk penghilang panas dan tidak berkontak langsung dengan bahan baku, produk antara dan produk akhir (KEP-49/MENLH/11/2010). Pada system sekali lewat air yang telah digunakan langsung dibuang. Pabrik N-butyl asetat ini menggunakan air pendingin *once through*. Sistem ini dipilih karena memiliki beberapa keuntungan yaitu biaya modal dan biaya operasinya lebih rendah, dan peralatan yang digunakan lebih sedikit.

Tabel 4. 2 Kualitas Air Pendingin Sistem Once Through (Setiadi, 2007)

Parameter	Nilai
Turbidinitas (NTU)	< 10
Konduktivitas (mhos/cm)	< 1000
pH	6,5 – 7,5
<i>Suspended Solid</i>	< 10
Total <i>Hardness</i> (ppm CaCO ₃)	< 100
Total Iron (ppm)	< 1,0
<i>Residual Klorin</i> (ppm)	0,5 – 1,0
<i>Silica</i> (ppm)	< 150
Total Kromate (ppm)	1,5 – 2,5

Hal- hal yang diperhatikan dalam pemilihan air pendingin

- Kesadahan (*hardness*) dan silica, dapat menyebabkan kerak

- Besi dan oksigen terlarut, dapat menimbulkan korosi
- 8 *Total Suspended Solid*, lumut yang dapat menyebabkan *fouling* (busa)

2. Air Umpan Boiler

Boiler feed water merupakan air yang digunakan untuk menghasilkan *steam* untuk kelangsungan proses. Pada proses penguapan dalam ketel uap, uap yang dihasilkan adalah uap murni dalam fasa uap (H₂O) dimana ion-ion yang terkandung dalam air boilernya tidak turut menguap sehingga konsentrasi ion-ion yang berada dalam fasa cairnya (*air boiler*) semakin lama semakin tinggi yang menyebabkan terjadinya pergerakan pada pipa-pipa boiler. Pada prarancangan pabrik Butil Asetat digunakan *steam* sebagai media pemanas pada alat penukar panas untuk memenuhi kebutuhan panas.

Agar tidak terjadi kerusakan pada *boiler*, perlu memperhatikan beberapa hal sebagai berikut:

- Kandungan yang korosifitas
- Kandungan yang dapat menyebabkan pembentukan *scaling* (kerak)
- Kandungan yang dapat menyebabkan pembentukan *fouling* (busa)

Tabel 4. 3 Kualitas Air Umpan Boiler (Fatimura, 2016)

Tekanan Boiler (psig)	Padatan Total (ppm)	Alkalinitas (ppm)	Padatan Tersuspensi (ppm)	Silika (ppm)
451 – 600	2.500	500	150	50
601 - 750	2.000	400	100	35
751 - 900	1.500	300	60	20

Pengendalian ion-ion dalam air boiler tersebut pada system boiler dilakukan dengan membuang sebagian dari air boiler secara kontinyu disebut *blow down*. Tujuan *blow down* adalah untuk menjaga agar ion-ion yang ada dalam air boiler tidak melebihi batasan- batasan yang telah ditentukan.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam penanganan air umpan boiler adalah sebagai berikut :

a. Zat-zat yang menyebabkan korosi

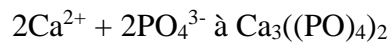
Pengertian korosi secara sederhana adalah perubahan kembali logam menjadi bentuk bijinya. Proses korosi sebenarnya merupakan proses elektrokimia yang rumit. Korosi dapat menimbulkan kerusakan yang luas

pada permukaan logam. Korosi yang terjadi di dalam boiler disebabkan karena pH yang rendah, air mengandung larutan-larutan asam dan gas-gas terlarut seperti : O₂, CO₂, H₂S, dan NH₃ serta garam-garam yang terlarut dan padatan yang tersuspensi.

b. Zat yang menyebabkan kerak (*scale forming*)

Pembentukan kerak disebabkan karena adanya kesadahan dan suhu tinggi, yang biasanya berupa garam karbonat dan silika. Untuk mencegah kerak akibat kesadahan yang masih tersisa, ditambahkan fosfat.

Reaksi :



Endapan yang terbentuk bersifat ringan, tidak menempel pada *tube* boiler, sehingga endapannya yang terbentuk dalam *disperse suspense* dalam air dapat mudah dikeluarkan lewat *blow down* dari boiler.

c. Zat yang dapat menyebabkan *foaming*

Pembentukan busa (*foaming*) adalah peristiwa pembentukan gelembung-gelembung di atas permukaan air dalam drum boiler. Penyebab timbulnya busa adalah adanya kontaminasi oleh zat-zat organik atau zat-zat kimia yang ada dalam boiler tidak terkontrol dengan baik. Busa dapat mempersempit ruang pelepasan uap panas (*steam-release space*) dan dapat menyebabkan terbawanya air serta kotoran-kotoran bersama-sama uap air. Kerugian yang bisa ditimbulkan oleh hal ini adalah terjadinya endapan dan korosi dalam logam-logam dalam sistem boiler. Untuk mencegah terjadinya foam, maka selain dengan membuang sejumlah air (*blow down*) yang tepat, juga dengan penambahan bahan anti *foam*. Sebagai anti *foam* dapat memakai polyamida atau poliglikol.

Tabel 4. 4 Persyaratan Air Umpan Boiler (Fatimura, 2016)

Parameter	Satuan	Pengendalian Batas
<i>Total Hardness</i>	Ppm as CaCO ₃	< 0,5
<i>pH</i>	<i>Value unit</i>	8,5 – 9,5
<i>Dissolved Oxygen</i>	ppm	0,01
<i>Silica</i>	ppm as SiO ₂	0,5

3. Air Konsumsi Umum dan Sanitasi

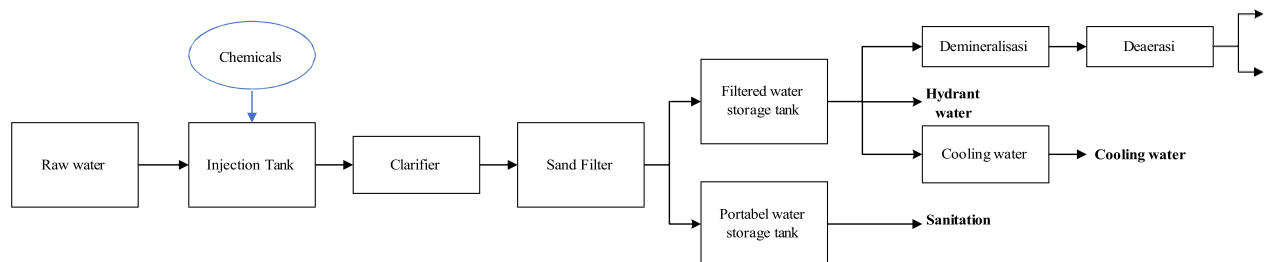
Penggunaan air tidak hanya dibutuhkan untuk proses, tetapi juga dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan umum seperti air minum, air kantor dan masjid, air laboratorium dan air perumahan. Air yang digunakan untuk kebutuhan umum dan sanitasi harus memenuhi standar yang berlaku. Standar ini meliputi standar fisik dan standar kimia. Untuk standar fisik meliputi suhu air harus sama dengan suhu lingkungan, mempunyai warna yang bening/jernih dan tidak memiliki rasa dan bau. Sedangkan, untuk standar kimia adalah tidak mengandung zat yang beracun (zat organik maupun anorganik) ataupun bakteri-bakteri terutama bakteri patogen.

4. Air Pemadam Kebakaran

Air pemadam kebakaran harus ada keberadaannya disetiap pabrik. Jika suatu waktu terjadi kebakaran pada pabrik, maka dapat diatasi dengan mudah dan cepat dengan air pemadam kebakaran. Penyaluran air hidran dilakukan melalui pipa *hydrant* yang tersambung melalui saluran yang melintasi seluruh lokasi pabrik. Pipa-pipa *hydrant* dipersiapkan pada lokasi- lokasi yang strategis disekitar pabrik, dengan pertimbangan kemudahan pencapaian padasemua lokasi pabrik.

4.1.2 Unit Pengolahan Air

Seluruh kebutuhan air untuk operasional pabrik, seperti air umpan boiler, air pendingin, air hydrant, dan air sanitasi, dipenuhi oleh Instalasi Pengolahan Air Bersih Kawasan JIPE Gresik yang telah disesuaikan dengan standar spesifikasi masing-masing penggunaan. Pada umumnya, sumber air industri dapat berasal dari air sungai maupun air laut. Agar diperoleh kualitas air yang sesuai dengan kebutuhan proses, air tersebut harus melalui beberapa tahap pengolahan. Tahapan pengolahan air sungai meliputi proses penjernihan, filtrasi, desinfeksi, demineralisasi, serta deaerasi.



Gambar 4. 1 Diagram Alir Unit Utilitas

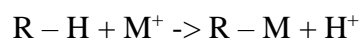
Deskripsi Pengolahan Air :

Proses pengolahan air tersebut akan menghasilkan air pendingin, air *hydrant*, air sanitasi dan air untuk unit demineralisasi yang kemudian diolah menjadi air proses dan air umpan *boiler*.

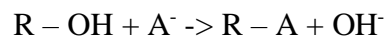
- a) Pertama *raw water* diumpankan ke dalam tangki kemudian diaduk dengan putaran tinggi sambil diinjeksikan bahan-bahan kimia (terjadi proses koagulasi):
 - Pemberian alum dan FeSO_4 berfungsi sebagai koagulan. Alum dan FeSO_4 dalam air akan membentuk $\text{Fe}(\text{OH})_3$ yang merupakan endapan tidak larut yang akan menarik partikel-partikel dalam air untuk membentuk flok-flok yang menggumpal sehingga berat jenisnya lebih besar dari air. Flok akan mengendap secara gravitasi.
 - Kalsium Hipoklorit atau Cl_2 cair yang berfungsi sebagai desinfektan.
 - b) Keluar dari tangki, air dimasukkan ke *clarifier* dimana flok-flok yang terbentuk diendapkan secara gravitasi sambil diaduk dengan kecepatan rendah. Lumpur yang diendapkan di *blow down*, sedangkan air yang keluar dari bagian atas dialirkan ke dalam tempat penampungan sementara (proses flokulasi).
 - c) Selanjutnya air diumpankan ke *sand filter*. Di *sand filter* ini, air dari tempat penampungan yang masih mengandung partikel-partikel kotoran yang halus disaring, kemudian air keluaran filter ditampung dalam dua buah tangki :
 - *Filtered water Storage Tank*, berfungsi untuk menampung air yang digunakan untuk keperluan make up air pendingin, air *hydrant*, dan umpan unit demineralisasi air.
 - *Portable Water Storage Tank*, berfungsi untuk menampung air yang digunakan untuk keperluan sehari-hari dan pemukiman.
- Air yang dapat dijadikan air pendingin, air sanitasi dan air hidran menggunakan air bersih, sedangkan untuk air proses, air umpan *boiler* menggunakan air yang telah melalui unit demineralisasi agar sesuai dengan spesifikasi air proses dan air umpan *boiler*.
- d) Unit ini berfungsi menghasilkan *demin water* untuk mengetahui kebutuhan produksi *steam*. *Demin water* merupakan air yang telah dihilangkan kandungan mineral yang ada di dalamnya, seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^-

dalam bentuk karbonat, sulfat ataupun *chloride* seperti CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^- . Pada kondisi normal, umpan unit ini terdiri dari air hasil desalinasi dan air kondensat hasil pemanfaatan *steam* yang diperoleh baik dari alat penukar panas maupun dari turbin. Kedua *feed* air tersebut diumpungkan secara parallel dengan perlakuan yang berbeda sebelum dicampurkan di dalam *pretreated water tank*. Air kondensat berasal dari kondensasi air pada unit-unit penukar panas atau kompresi yang memanfaatkan *steam* sebagai pemanas atau penggerak motor. Air kondensat tersebut perlu diolah dengan dilewatkan filter yaitu *cartridge filter*. Selanjutnya air kondensat ini dicampur dengan air hasil desalinasi dalam *pretreated water tank*. Selanjutnya, campuran ini dibawa menuju *demineralized water tank* melalui *mixed bed filter* untuk mencapai deionisasi penuh. *Mixed bed filter* terdiri dari campuran resin kation dan resin anion.

Adapun prinsip resin penukar ion positif atau kation akan menyerap ion mineral bermuatan positif (misal M^+) dan resin akan melepas ion hidrogen sesuai dengan reaksi:



Resin penukar ion negatif atau anion menyerap ion mineral bermuatan negatif (misal A^-) dan resin akan melepas hidroksi (OH^-) sesuai reaksi:



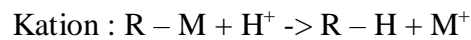
Pada proses penangkapan ion positif dan negatif tersebut akan terlepas ion H^+ (hidrogen) dan ion OH^- (hidroksil) yang bereaksi membentuk H_2O dengan reaksi:



Bila ion penukar (resin) telah jenuh dengan ion yang terikat, maka kemampuannya untuk mengikat mineral turun sehingga banyak mineral yang lolos. Kejenuhan resin ditandai dengan tingginya konduktivitas air yang dihasilkan. Oleh karena itu perlu diadakan regenerasi dengan menggunakan asam kuat dan basa kuat untuk menghilangkan mineral-mineral yang terikat pada resin penukar ion tersebut. Resin kation diregenerasi menggunakan asam sulfat (H_2SO_4) dan resin anion diregenerasi menggunakan kaustik soda (NaOH). Alat ini juga sering disebut *softener* yang berfungsi untuk melunakkan air menggunakan anion/kation *exchanger*. Jenis resin pada

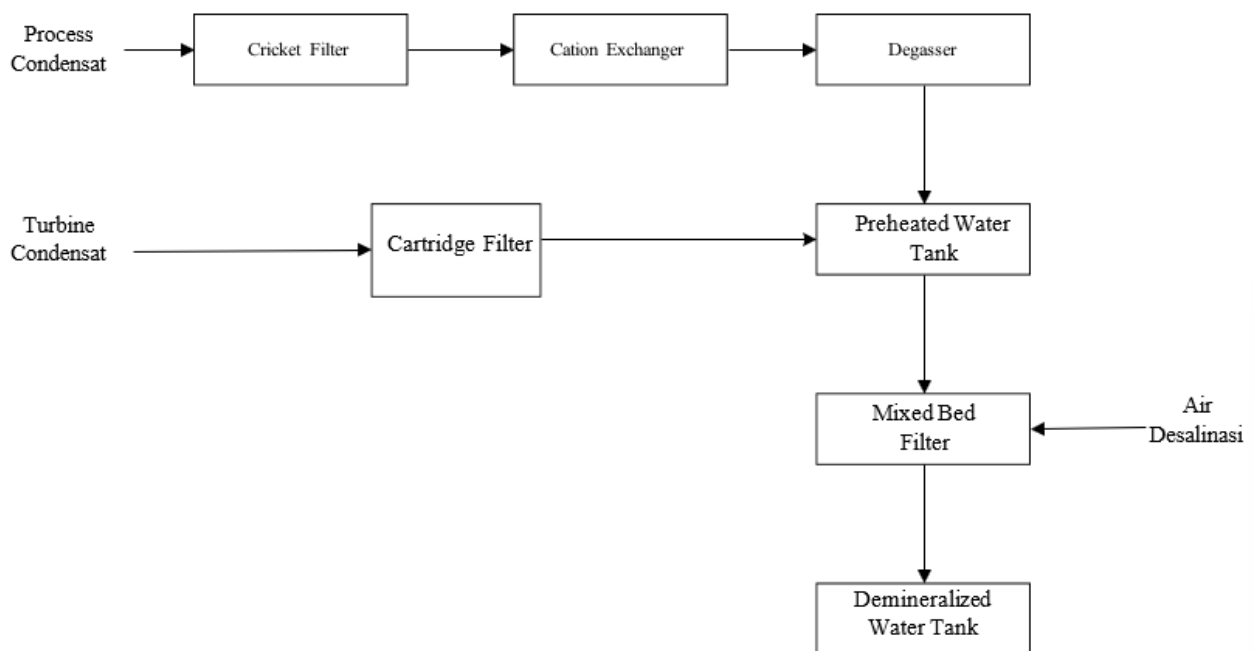
kation *exchanger* adalah *hydrogen-zeolite* dan untuk anion *exchanger* adalah *Weakly Basic Anion Exchanger*.

Reaksi regenerasi:



Tabel 4. 5 Spesifikasi Air Demineralisasi (Priambodo et al, 2009)

Parameter	Nilai
pH	5-7
Konduktivitas	5 $\mu\text{S/cm}$ (maks)
SiO ₂	0,1 ppm (maks)
Besi	0,05 ppm (maks)
TSS	0,1 ppm (maks)
Residu Oksigen	1 ppm (maks)

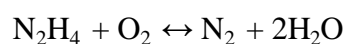


Gambar 4. 2 Diagram Blok Unit Demineralisasi (Priambodo et al, 2009)

e) Deaerasi

Air yang sudah mengalami demineralisasi masih mengandung gas-gas terlarut terutama oksigen dan karbondioksida. Gas-gas tersebut dihilangkan, karena dapat menimbulkan korosi maka gas-gas tersebut dihilangkan dalam suatu deaerator. Pada deaerator diinjeksikan bahan-bahan kimia berikut:

- Hidrazin yang berfungsi mengikat oksigen.



Nitrogen sebagai hasil reaksi Bersama-sama dengan gas lain dihilangkan melalui *stripping* dengan uap bertekanan rendah.

- Larutan Amonia yang berfungsi mengontrol pH

Air yang keluar dari deaerator pH-nya sekitar 8,5 – 9,5. Keluar dari deaerator, ke dalam air umpan ketel (*boiler*) kemudian diinjeksikan larutan fosfat ($\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) untuk mencegah terbentuknya kerak silika dan kalsium pada steam drum dan *boiler* tube. Sebelum diumpankan ke *boiler*, air terlebih dahulu diberi dispersan.

4.1.3 Kebutuhan Air

Secara umum penyediaan kebutuhan air baik untuk kebutuhan air proses, pendingin dan umpan *boiler* dapat diperkirakan sebagai berikut:

a. Kebutuhan Air Pendingin

Air pendingin digunakan untuk mendinginkan dan mengondensasi. Adapun untuk kebutuhan air pendinginnya adalah:

Tabel 4. 6 Kebutuhan Air Pendingin

No.	Nama Alat	Kebutuhan (kg/jam)
1	Reaktor Distilatif (RD-201)	359,35
2	Kondensor-01 (CN-201)	9.887,18
3	Kondensor-02 (CN-301)	11.695,76
4	Cooler (CL-201)	6.662,44
Total		28.604,72

- Jumlah kebutuhan air untuk pendingin sebesar = 28.604,72 kg/jam
- Densitas air pada 30°C (Perry, 1999) = 995,647 kg/m³
- Jadi total kebutuhan air pendingin = 28,730 m³/jam
- Diperkirakan terjadi penguapan air saat proses pendinginan pada *cooling water* sebesar 10%
 $10\% \times 28,730 = 2,873 \text{ m}^3/\text{jam}$
- Kebutuhan *make up* air pendingin:
 $= 28,730 \text{ m}^3/\text{jam} + 2,873 \text{ m}^3/\text{jam}$
 $= 31,603 \text{ m}^3/\text{jam}$
 $= 758,466 \text{ m}^3/\text{hari}$

b. Kebutuhan Air Sanitas/Domestik

Berikut jumlah kebutuhan air sanitasi yang dibutuhkan :

- Air untuk karyawan kantor

Menurut Linsley (1974), kebutuhan air untuk karyawan sebesar 50 L/orang/hari. Jumlah karyawan sebanyak 103 orang. Sehingga air yang diperlukan sebanyak :

$$103 \times 50 \text{ L/orang/hari} = 5,150 \text{ m}^3/\text{hari}.$$

- Air untuk laboratorium

Diperkirakan sebanyak 20% kebutuhan karyawan. Sehingga air yang diperlukan sebanyak :

$$20\% \times 1,650 \text{ m}^3/\text{hari} = 1,03 \text{ m}^3/\text{hari}$$

- Air Hydrant/Pemadam Kebakaran

Air untuk kebutuhan pemadam dan service water diperkirakan sebanyak 140% kebutuhan air I dan II (sanitasi dan laboratorium).

$$140\% \times (1,650 + 1,03) \text{ m}^3/\text{hari} = 8,65 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Jumlah kebutuhan air sanitasi =

$$(5,15 + 1,03 + 8,65) \text{ m}^3/\text{hari} = 14,83 \text{ m}^3/\text{hari}$$

4.2 Unit Pembangkit Uap (Steam Generation System)

Untuk menghasilkan uap air yang digunakan untuk proses pabrik adalah dengan boiler. Pemilihan boiler biasanya ditentukan oleh kapasitas dan tekanan uap yang dihasilkan, bahan bakar yang digunakan, keawetan instalasi, biaya perawatan dan operasi serta faktor-faktor ekonomi lain. Pabrik N-butyl asetat ini menggunakan steam untuk memenuhi kebutuhan panas pada alat penukar panas dan reboiler pada destilasi yang dibutuhkan ini dihasilkan oleh boiler.

Tabel 4. 7 Kebutuhan Steam

No.	Nama Alat	Kebutuhan (kg/jam)
1	Heat Exchanger-101 (H-101)	136,12
2	Reboiler-101 (RB-201)	353,46
3	Jet Pump Ejector (JT-201)	273,68
4	Stripper (ST-301)	61,40
Total		824,65

Umpan boiler yang disuplai dari unit pengolahan air. Kebutuhan steam yaitu total sebesar 809,55 kg/jam. Untuk menjaga ketersediaan steam maka 20% ditambahkan untuk factor kehilangan pada steam, sehingga jumlah steam total yang dibutuhkan adalah sebesar 989,58 kg/jam. Jenis boiler yang digunakan packaged boiler karena kebutuhan steam pabrik sebesar 2.181,6 lb/jam termasuk kapasitas kecil-menengah yang sesuai dengan kemampuan packaged boiler. (Maswiy, 2004).

- Kebutuhan Steam = 989,58 kg/jam = 2.181,6 lb/jam.
- Blowdown pada air umpan boiler adalah sebesar 4-5%. Apabila presentase blowdown sebesar 5%, maka:

$$\begin{aligned} \text{Blowdown} &= 5\% \text{ dari steam yang dihasilkan} \\ &= 5\% \times 2.181,6 \text{ lb/jam} \\ &= 109,08 \text{ lb/jam.} \end{aligned}$$

- Umpan air masuk boiler

$$\begin{aligned} \text{Blowdown} + \text{steam yang dihasilkan} &= 2.181,60 \text{ lb/jam} + 109,08 \text{ lb/jam} \\ &= 2.290,73 \text{ lb/jam.} \end{aligned}$$

- Steam yang kembali = 80% dari steam yang dihasilkan
= 80% x 2.181,60 lb/jam
= 1.745,3 lb/jam.

- Steam yang hilang = Umpan air masuk boiler – kondensat yang kembali
= 2.290,73 lb/jam – 1.745,3 lb/jam
= 545,4 lb/jam.

- Make up boiler = kondensat yang hilang + blowdown
= 545,4 lb/jam + 109,08 lb/jam
= 654,5 lb/jam.

- % Make up boiler = $\frac{\text{make up air}}{\text{air masuk boiler}} \times 100\%$
= $\frac{654,5}{2.290,73} \times 100$
= 28,57 %

- % Steam kembali = $\frac{\text{steam kembali}}{\text{air masuk boiler}} \times 100\%$
= $\frac{1.745,3}{2.290,73} \times 100\%$
= 76,19 %

Tabel 4. 8 Kebutuhan Air Boiler

Keterangan	Jumlah (lb/jam)
Kebutuhan Massa Steam (= Total Steam lb/jam di atas)	2.181,65
Persentase blowdown (4-5% air umpan boiler)	5%
Blowdown (= % blowdown x Steam dihasilkan)	109,08
Umpan air masuk boiler (= Steam dihasilkan + Blowdown)	2.290,73
Persentase steam yang kembali sebagai kondensat	80%
Steam yang kembali (= 80% x Steam dihasilkan)	1.745,32
Steam yang hilang (= Umpan masuk boiler - Steam kembali)	545,41
Make-up boiler (= Steam hilang + Blowdown)	654,50
% Make-up boiler (= Make-up / Umpan masuk boiler)	28,57%
% Steam kembali (= Steam kembali / Umpan masuk boiler)	76,19%

1. Perhitungan Kapasitas Boiler

Kapasitas boiler dihitung dengan persamaan :

$$Q = m (H - H_f)$$

Dimana :

Q = kapasitas boiler (Btu/jam)

m = massa steam (lb/jam)

H_v = Entalpi uap steam pada kondisi 4 bar suhu 130°C (Btu/lb)

H_f = Entalpi feed (Btu/lb)

Berdasarkan buku (Kern, 1965), Make up air pada T = 30°C (86°F) dari steam tabel didapat H_f = 54,03 Btu/lb.

Steam yang digunakan merupakan steam low pressure dengan kondisi steam pada:

$$P = 275 \text{ kPa} = 2,7 \text{ atm} = 2,75 \text{ bar},$$

$$T = 130^\circ\text{C} = 403,15 \text{ K},$$

dari steam tabel didapat:

$$h_f (H \text{ sat liq}) = 548,858 \text{ kJ/kg} = 235,96646604 \text{ Btu/lb}$$

$$H (H \text{ sat vap}) = 2.720,7 \text{ kJ/kg} = 1.169,690456 \text{ Btu/lb}$$

Karena steam yang masuk terdiri dari 28,57% fresh feed (make up water) dan 76,19% kondensat,

Maka:

$$H_f = (0,2857 \times H_{\text{liq } 30^\circ\text{C}}) + (0,7619 \times H_{\text{sat liq } 130^\circ\text{C}})$$

$$H_f = (0,2857 \times 54,03) + (0,7619 \times 235,96646604)$$

$$H_f = 195,2192 \text{ Btu/lb}$$

$$Q = 2.181,60 \times (1.169,690456 - 235,96646604)$$

$$= 2.125.953,10 \text{ Btu/jam}$$

Menentukan Luas Perpindahan Panas

Boiler Saturated Steam

$$\begin{aligned} H_p &= \frac{Q}{970,3 \times 34,5} \\ &= \frac{2.125.953,10}{970,3 \times 34,5} \\ &= 63,508 \text{ Hp} \end{aligned}$$

Dari Severn hal. 126 ditentukan luas bidang pemanasan adalah $10 \text{ ft}^2/\text{Hp}$, sehingga *total heating surface* sebesar:

$$A = 10 \text{ ft}^2/\text{Hp} \times 59,735 \text{ Hp}$$

$$= 635,08 \text{ ft}^2.$$

2. Perhitungan Bahan Bakar untuk Boiler

Bahan bakar yang digunakan untuk boiler adalah minyak residu (*fuel oil grade*)

4) Dari Hougen volume 1 hal. 519 didapat :

- Heating Value (NHV) = 18.800 Btu/lb
- Densitas = 59,14 lb/ft³
- *Specific gravity* = 0,8691
- Efisiensi Boiler = 75 %

Kebutuhan Bahan Bakar untuk Boiler:

$$mf = \frac{Q}{n \times NHV}$$

Keterangan:

Q = Beban Panas

N = Efisiensi Bahan Bakar = 75%

Maka:

$$mf = \frac{Q}{n \times NHV}$$

$$= \frac{2.125.953,1}{0,80 \times 18800}$$

$$= 141,353 \text{ lb/jam}$$

Volume Bahan Bakar:

$$V = \frac{\text{massa bahan bakar}}{\text{densitas bahan bakar}}$$

$$= \frac{141,353 \text{ lb/jam}}{59,14 \text{ lb/ft}^3}$$

$$= 2,390 \text{ ft}^3/\text{jam}$$

$$= 0,0677 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Kebutuhan Setiap Bulan:

$$0,0677 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times \frac{24 \text{ jam}}{\text{hari}} \times \frac{30 \text{ hari}}{1 \text{ bulan}} = 48,73 \text{ m}^3/\text{bulan}$$

Spesifikasi Boiler:

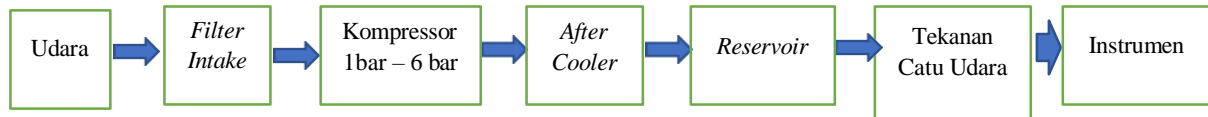
- Jenis alat = *water tube boiler*
- Jumlah = 1 buah
- Heat surface = 597,35 ft²
- Tekanan = 2,75 bar
- Suhu = 266 °F
- Bahan bakar = fuel oil grade 4
- Rate bahan bakar = 2,248 ft³/jam

4.3 Unit Penyediaan Udara Tekan

Udara tekan untuk mengkonversi energi dengan cara memampatkan udara di sekitarnya dengan memanfaatkan peralatan pneumatic. Sebagai udara instrumentasi, udara tekan bermanfaat untuk membuka katup pada daerah yang berbahaya jika dioperasikan langsung oleh manusia pada kondisi panas, bahan kimia berbahaya, dan tegangan listrik tinggi. Penggunaan udara tekan memungkinkan lebih kecilnya daya yang dikeluarkan manusia juga mempersingkat waktu pengerjaan.

Untuk mendapatkan udara yang diinginkan pada pabrik maka digunakan alat kompresor. Udara tekan yang digunakan untuk *instrument* dipenuhi dengan 2 buah

kompresor (*multistage compressor*) yang dapat menghasilkan udara tekan sebesar 6 atm dengan kapasitas 0,02 m³/menit yang akan ditampung dalam *reservoir* dan kemudian didistribusikan ke seluruh *instrument* yang berbasis *pneumatic-autocontrol*. *Pre-treatment* udara yang dilakukan untuk pemenuhan kebutuhan udara instrumen dapat dilihat pada skema di bawah ini:



Gambar 4. 3 Alur Penyediaan Udara Tekan (Bahrul, 2020)

Udara tekan yang dihasilkan dengan kompresor mempunyai kelebihan dibandingkan dengan listrik dan tenaga hidrolik dalam hal konstruksi dan operasi mesin yang sederhana, pemeliharaan dan pemeriksaan mesin dan peralatan mudah, harga mesin dan peralatan lebih murah, kebocoran udara tidak membahayakan maupun menimbulkan pencemaran. Udara yang masuk akan melalui *filter intake* untuk mencegah partikel - partikel debu masuk ke dalam sistem, udara yang telah melalui *filter intake* akan masuk ke dalam kompresor dan selanjutnya akan dinaikkan tekanannya dari 1 bar menjadi 6 bar.

4.4 Unit Pembangkit Listrik (*Power Plant System*)

Unit penyediaan tenaga listrik berfungsi mengubah energi listrik menjadi energi mekanik untuk menggerakkan peralatan proses. Sumber utama listrik berasal dari PT. PLN, sedangkan sebagai cadangan, pabrik dilengkapi dengan generator.

Jenis generator yang dipilih adalah generator bolak-balik (AC) 3-fasa, dengan pertimbangan antara lain: daya yang dihasilkan cukup besar, tegangan dapat dinaikkan atau diturunkan menggunakan transformator sesuai kebutuhan, stabilitas tegangan terjaga, fleksibel dalam pemilihan level tegangan (380 V atau 220 V), kapasitas kerja tinggi, biaya perawatan yang lebih efisien, serta harga motor 3-fasa yang relatif terjangkau dan konstruksinya sederhana.

4.4.1 Kebutuhan Listrik untuk Alat Proses

Kebutuhan daya listrik untuk mengoperasikan peralatan proses dapat dilihat pada Tabel 4.9 berikut.

Tabel 4. 9 Kebutuhan Listrik untuk Alat Proses

Alat	HP	Jumlah	Total HP
Pompa Asam Asetat	0,25	1	0,25
Pompa Butanol	0,25	1	0,25
Pompa <i>Mixer</i>	0,25	1	0,25

Alat	HP	Jumlah	Total HP
Pompa Keluaran <i>Reboiler</i>	0,25	1	0,25
Pompa Keluaran Kondensor RD Column	0,25	1	0,25
Pompa Keluaran <i>Stripper</i>	0,25	1	0,25
Pompa Keluaran Kondensor Stripper	0,25	1	0,25
Pengaduk <i>Mixer</i>	0,25	1	0,25
Jumlah			2

4.4.2 Kebutuhan Listrik untuk Utilitas

Kebutuhan listrik untuk utilitas tercantum pada Tabel 4.10 di bawah ini.

Tabel 4. 10 Kebutuhan Listrik untuk Utilitas

Alat	HP	Jumlah	Total HP
Pompa Air Sungai	20	1	20
Pompa Air pendingin	2	1	2
Pompa Air Sanitasi	1	1	1
Pompa Pengolahan Limbah	2	1	2
Pompa Bahan Bakar	1	1	1
Pompa <i>Boiler</i>	4	3	12
Pompa <i>Steam out</i>	2	3	6
<i>Fan cooling tower</i>	10	1	10
Jumlah			54

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan listrik} &= \text{Kebutuhan Proses} + \text{Kebutuhan Utilitas} \\
 &= 2 \text{ HP} + 54 \text{ HP} \\
 &= 56 \text{ HP} \\
 &= 41,76 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

4.4.3 Kebutuhan Listrik untuk Penerangan

Perkiraan kebutuhan daya penerangan dihitung menggunakan pendekatan *Luminous Efficacy*, yaitu besaran radiasi cahaya yang dihasilkan lampu dalam satuan lumen. Kebutuhan penerangan per satuan luas ditentukan dengan persamaan:

$$\text{Lumen} = \text{Area} \times \text{Lux}$$

$$\text{Area} = \text{luas daerah yang membutuhkan pencahayaan (m}^2\text{)}$$

$$\text{Lux} = \text{kebutuhan energi cahaya per satuan luas (lumen/m}^2\text{)}$$

Besarnya lux nilainya berbeda tergantung pada area yang akan diberi penerangan. Dalam perancangan ini digunakan nilai lux standar berdasarkan

referensi *Lighting Handbook* oleh Zumtobel Lighting GmbH. Kebutuhan lumen ditunjukkan pada perhitungan berikut ini.

Tabel 4. 11 Kebutuhan Lumen Penerangan Pabrik

No.	Indoor	Luas (m ²)	Lux (Lumen/m ²)	Lumen
1	Ruang control	50	300	15000
2	Gudang	200	150	30000
3	Kantor	900	450	405000
4	Masjid	150	300	45000
5	Kantin	200	150	30000
6	Poliklinik	50	150	7500
7	Laboratorium	50	500	25000
8	Unit proses	20000	100	2000000
9	Bengkel	100	200	20000
10	K3 & Fire Safety	100	150	15000
Jumlah				2.592.500

No.	Indoor	Luas (m ²)	Lux (Lumen/m ²)	Lumen
1	Pos Keamanan	50	150	7500
2	Jalan dan tanam	500	50	25000
3	Lapangan parkir	200	5	1000
4	Area perluasan pabrik	2000	50	100000
5	Unit utilitas	600	5	3000
6	Unit pengolahan limbah	200	50	10000
Jumlah				146.500

Lampu yang direncanakan untuk digunakan dari brand Philips dengan jenis lampu LED 14 Watt (untuk ruangan indoor) dan 18 Watt (untuk ruangan outdoor) dimana masing-masing besar lumennya adalah 1400 lumen dan 2000 lumen.

Sehingga dapat dihitung jumlah lampu yang digunakan dan total daya penerangan lampu, sebagai berikut :

- Jumlah lumen di ruangan indoor = 2592500 lumen
- Jumlah lampu yang digunakan (indoor) = $2592500/1400 = 1851,8$ lampu
- Jumlah lumen di ruangan outdoor = 146500 lumen
- Jumlah lampu yang digunakan (ooutdoor) = $146500/2000 = 73,25$ lampu
- Total daya penerangan
 $= (1851,8 \text{ lampu} \times 14 \text{ Watt/lampu}) + (73,25 \text{ lampu} \times 18 \text{ Watt/lampu})$
 $= 27243,7 \text{ Watt}$
 $= 27,24 \text{ kW}$

4.4.4 Kebutuhan Listrik untuk Pendingin Udara

Tabel 4. 12 Kebutuhan Listrik untuk Pendingin Udara

No.	Bangunan	Luas (m ²)
1	Ruang control	50
2	K-3 & Fire Safety	100
3	Kantor	900
4	Poliklinik	50
5	Laboratorium	50
Jumlah		1150

Air Conditioner direncanakan menggunakan AC inverter. Sebuah AC 1 PK memerlukan daya listrik sebesar 520 watt. Luas area yang memerlukan AC adalah 1150 m². Sebuah AC diperkirakan cukup untuk memenuhi kebutuhan ruangan seluas 4 x 6 m². Sehingga dibutuhkan AC sejumlah $1150/24 = 47,9$ buah. = 48 unit

- Kebutuhan listrik untuk AC = $48 \times 520 \text{ Watt}$
 $= 24.960 \text{ Watt}$
 $= 24,96 \text{ kW}$
- Kebutuhan total listrik = keperluan pengolahan + keperluan utilitas + penerangan + AC
 $= 41,76 \text{ kW} + 27,24 \text{ kW} + 24,96 \text{ kW}$
 $= 93,96 \text{ kW}$

4.4.5 Kebutuhan Listrik untuk Generator

Untuk memenuhi kebutuhan listrik tersebut di atas diperoleh dari generator yang merupakan cadangan bila listrik dari PLN mengalami gangguan. Generator digunakan dengan efisiensi 80%.

Input generator = $93,96 / 0,80 = 117,45 \text{ kW}$

Ditetapkan output generator sebesar 200 kW,

Spesifikasi generator :

- Type = AC Generator
- Kapasitas = 200 kW
- Tegangan = 220 / 360 Volt
- Efisiensi = 80%
- Frekuensi = 50 Hz
- Phase = 3 phase
- Jumlah = 1 buah
- Bahan bakar = Solar

4.5 Unit Penyediaan Bahan Bakar

Bahan bakar generator:

- Jenis bahan bakar = Solar
- Heating value (hv) = 19440 Btu/lb
- Efisiensi bahan bakar = 80%
- Densitas = 54,26 lb/ft³
- Specific gravity (sg) = 0,8691
- Kapasitas generator = 200 kW
= 682.428 Btu/jam
- Kebutuhan solar = kapasitas generator/ (efisiensi x sg x hv)
= 682.428 / (0,8 x 0,8691 x 19440)
= 50,49 lb/jam
- Volume Solar = kebutuhan solar/densitas
= 50,49 lb/jam / 54,26 lb/ft³
= 0,93052 ft³/jam
= 26,34 L/jam

4.6 Unit Laboratorium

Laboratorium merupakan unit penunjang yang memegang peranan penting dalam keberlangsungan operasional pabrik. Unit ini bertanggung jawab atas pemantauan dan pengendalian kualitas seluruh material yang terlibat dalam rangkaian proses produksi, mulai dari bahan baku, bahan pembantu, produk antara, hingga produk akhir. Data analitik yang dihasilkan laboratorium menjadi acuan utama dalam menjaga konsistensi mutu produksi sesuai spesifikasi yang telah ditetapkan. Selain fungsi pengendalian proses,

laboratorium juga berperan dalam pemantauan kualitas efluen dari unit pengolahan limbah sebelum dibuang ke lingkungan sekitar pabrik.

Tugas dan fungsi utama Laboratorium mencakup kegiatan pencatatan, pelaporan, serta identifikasi penyebab terjadinya penyimpangan kualitas, baik pada bahan baku, produk jadi, metode kerja, maupun faktor sumber daya manusia.

1. Pengendalian Mutu Produk (*Quality Control*)

Pengendalian mutu merupakan serangkaian kegiatan sistematis yang mencakup pengawasan standar kualitas bahan baku, pengendalian parameter proses produksi, pengujian produk setengah jadi dan produk jadi, serta verifikasi mutu produk akhir sebelum didistribusikan kepada konsumen. Tujuan utama dari pengendalian mutu adalah memastikan bahwa setiap produk yang dihasilkan memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan secara konsisten. Parameter spesifik yang dikendalikan untuk produk n-butil asetat mencakup: kemurnian produk ($\geq 99\%$ b/b), kadar air ($\leq 0,05\%$), nilai *specific gravity*, viskositas, dan kadar asam sisa ($\leq 0,01$ meq/g).

2. Pengendalian Baku Mutu Lingkungan

Program pengendalian baku mutu lingkungan mencakup analisis rutin terhadap limbah yang dihasilkan dari kegiatan produksi, meliputi limbah cair proses dan emisi gas buang. Pengujian dilakukan terhadap efluen hasil pengolahan unit limbah sebelum dilepaskan ke badan air penerima, serta pemantauan kualitas air pendingin (*cooling water*) yang telah digunakan pada peralatan proses. Parameter yang dianalisis mengacu pada Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, yang meliputi BOD, COD, TSS, pH, dan kadar logam berat. Persyaratan baku mutu efluen yang harus dipenuhi sebelum pembuangan ke lingkungan meliputi: BOD ≤ 50 mg/L, COD ≤ 100 mg/L, TSS ≤ 50 mg/L, dan pH 6–9.

3. Penelitian dan Pengembangan (*Research and Development*)

Unit penelitian dan pengembangan berfungsi mengkaji permasalahan yang berkaitan dengan kualitas material dan efisiensi proses produksi, dengan tujuan meningkatkan yield produk serta menyesuaikan kapasitas produksi terhadap dinamika permintaan pasar. Untuk pabrik n-butil asetat yang menggunakan teknologi *Reactive distillation*, kegiatan penelitian dan pengembangan mencakup pula evaluasi kinerja katalis, optimasi rasio umpan asam asetat/butanol, serta kajian terhadap kondisi operasi kolom reaktif meliputi suhu, tekanan, dan rasio refluks guna memaksimalkan konversi dan selektivitas reaksi.

Peralatan utama yang digunakan untuk menunjang kegiatan di laboratorium adalah sebagai berikut :

I. Analisa Bahan Baku

a. Uji Kadar Air (*Water Content Tester*)

Pengujian kadar air bertujuan untuk menentukan kandungan air dalam bahan baku guna memastikan kesesuaiannya dengan spesifikasi proses. Pengujian dilakukan mengacu pada SNI 8201:2016. Kadar air dihitung berdasarkan selisih massa yang hilang selama proses pengeringan pada suhu 110°C selama kurang lebih dua jam. Peralatan yang digunakan meliputi: oven dengan ketelitian $\pm 1^\circ\text{C}$, neraca analitik dengan ketelitian 0,1 mg, desikator berisi silika gel, dan cawan petri beserta tutupnya.

Prosedur pengujian adalah sebagai berikut:

1. Panaskan cawan petri beserta tutupnya dalam oven pada suhu $(110 \pm 2)^\circ\text{C}$ selama ± 1 jam, kemudian dinginkan dalam desikator selama 20–30 menit, lalu timbang sebagai bobot kosong (W_0).
2. Masukkan ± 20 g sampel ke dalam cawan, tutup, dan timbang sebagai bobot awal (W_1).
3. Panaskan cawan berisi sampel dalam posisi terbuka pada suhu $(110 \pm 2)^\circ\text{C}$ selama 2 jam.
4. Tutup cawan di dalam oven, pindahkan ke desikator, dinginkan 20–30 menit, kemudian timbang.
5. Ulangi pemanasan selama 1 jam dan penimbangan hingga diperoleh bobot konstan (W_2).

Kadar air dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\% \text{ Kadar Air} = [(W_1 - W_2) / (W_1 - W_0)] \times 100\%$$

Keterangan: W_0 = bobot cawan kosong dan tutupnya (g); W_1 = bobot cawan, tutup, dan sampel sebelum pengeringan (g); W_2 = bobot cawan, tutup, dan sampel setelah pengeringan (g).

b. Uji Kadar Keasaman (*Acidimetri*)

Pengujian kadar keasaman bertujuan untuk menentukan kadar asam bebas yang terkandung dalam bahan baku asam asetat dan asam sulfat. Pengujian dilakukan mengacu pada SNI 06-2422-1991. Batas spesifikasi penerimaan bahan baku yang digunakan adalah: asam asetat glasial $\geq 99,5\%$ (b/b) dan asam sulfat sebagai katalis $\geq 95\%$ (b/b). Peralatan :

1. pH meter
2. Buret atau alat titrasi lain (25 mL)
3. Labu ukur 100 dan 1000 mL
4. Gelas ukur 100 mL
5. Pipet 10 mL
6. Labu erlenmeyer 50 dan 250 mL

Cara Uji:

1. Ambil 100 mL sampel dan masukkan ke dalam labu Erlenmeyer 250 mL.
2. Tambahkan 3 tetes indikator metil jingga. Apabila larutan berwarna merah-jingga, lakukan titrasi dengan larutan NaOH 0,02 N hingga warna berubah menjadi jingga murni; catat volume NaOH yang digunakan. Apabila larutan berwarna kuning, sampel tidak mengandung asam bebas dan pengujian tidak dilanjutkan.
3. Ambil kembali 100 mL sampel baru, tambahkan 3 tetes indikator fenolftalein, kemudian titrasi dengan larutan NaOH 0,02 N hingga terbentuk warna merah muda; catat volume NaOH yang digunakan.
4. Apabila selisih volume NaOH antara dua ulangan (duplo) lebih dari 0,10 mL, ulangi pengujian. Apabila selisih kurang dari atau sama dengan 0,10 mL, gunakan nilai rata-rata untuk perhitungan.

Hitung kadar keasaman dalam sampel menggunakan rumus:

$$\text{Keasaman total (meq/L)} = \frac{A \times B \times 1000}{C}$$

Keterangan:

- A = Jumlah mL larutan NaOH yang digunakan untuk titrasi
 B = Kenormalan larutan NaOH yang digunakan
 C = Volume benda uji yang digunakan, dalam mL

II. Analisa Produk

a. Uji Kadar Air (*Water Content Tester*)

Tujuan:

Pengujian dilakukan dengan menggunakan SNI 82017:2016. Kadar air dihitung berdasarkan bobot yang hilang selama pemanasan dalam temperature 110 °C dalam waktu kurang lebih 2 jam. Batas maksimum

kadar air yang dipersyaratkan untuk produk n-butil asetat grade industri adalah $\leq 0,05\%$ (b/b).

Peralatan :

1. Oven dengan ketelitian 1°C
2. Neraca analitik dengan ketelitian 0,1 mg
3. Desikator yang berisi silica gel
4. Cawan Petri

Cara Uji:

1. Panaskan cawan petri beserta tutupnya dalam oven pada temperatur $(110 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ selama lebih kurang satu jam dan dinginkan dalam desikator selama 20 menit sampai dengan 30 menit, kemudian timbang dengan neraca analitik (cawan petri dan tutupnya) (W_0)
2. Masukkan 20 g contoh ke dalam cawan, tutup dan timbang (W_1)
3. Panaskan cawan yang berisi contoh tersebut dalam keadaan terbuka dengan meletakkan tutup cawan di samping cawan di dalam oven pada temperatur $(110 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ selama dua jam
4. Tutup cawan ketika masih di dalam oven, pindahkan segera ke dalam desikator dan dinginkan selama 20 sampai dengan 30 menit kemudian timbang
5. Lakukan pemanasan kembali selama satu jam dan ulangi kembali penimbangan sehingga diperoleh bobot tetap (W_2)
6. Hitung kadar air dalam contoh.

$$\% \text{ kadar air} = \frac{W_1 - W_2}{W_1 - W_0} \times 100\%$$

Keterangan:

W_0 adalah bobot cawan kosong dan tutupnya, dinyatakan dalam gram (g); W_1 adalah bobot cawan, tutupnya dan contoh sebelum dikeringkan, dinyatakan dalam gram (g); W_2 adalah bobot cawan, tutupnya dan contoh sesudah dikeringkan, dinyatakan dalam gram (g).

b. Viskosimeter

Pengujian viskositas bertujuan untuk mengukur viskositas dinamis produk n-butil asetat sebagai salah satu parameter mutu fisik. Nilai referensi viskositas n-butil asetat pada suhu 25°C adalah $\pm 0,685$ cP. Pengujian dilakukan menggunakan viskometer Brookfield dengan spindel UL atau

spindel nomor 1, yang sesuai untuk cairan encer. Peralatan :

1. Viskosimeter brookfield
2. Thermometer
3. Gelas beaker

Cara Uji:

1. Pastikan viskometer sudah terhubung dengan adaptor 12 V yang terhubung ke sumber tegangan PLN.
2. Tekan saklar ke bawah sehingga pada posisi on (akan terlihat meter skala baca memutar searah jarum jam)
3. Atur speed, skala speed dari 0,3 sampai 60. Pilihlah speed yang sesuai sehingga meter skala memutar tidak terlalu cepat atau tidak terlalu lambat.
4. Tekan tuas kopling ke arah bawah saat pointer dapat terlihat pada meter skala maka pointer akan berhenti, catat skala yang ditunjuk pointer dan lepaskan kembali tuas kopling.

Hitung nilai SG dan API menggunakan rumus:

$$V = (S, K) \times f_k$$

Keterangan:

V	= Viskositas
S	= Spindel
K	= Kecepatan
f_k	= Faktor konversi

c. Atomic absorption Spectrophotometer (AAS)

Tujuan:

- Untuk menganalisa logam berat dan hidrokarbon.

Atomic Absorption spectrophotometry adalah metode analisis dengan prinsip dimana sampel yang berbentuk liquid diubah menjadi bentuk aerosol atau nebulae lalu bersama campuran gas bahan bakar masuk ke dalam nyala, disini unsur yang dianalisa tadi menjadi atom – atom dalam keadaan dasar (*ground state*). Lalu sinar yang berasal dari lampu katoda dengan panjang gelombang yang sesuai dengan unsur yang uji, akan dilewatkan kepada atom dalam nyala api sehingga elektron pada kulit terluar dari atom naik ke tingkat energi yang lebih tinggi atau tereksitasi. Penyerapan yang terjadi berbanding lurus dengan banyaknya atom *ground state* yang berada dalam n yang berada

dalam nyala. Sinar yang tidak diserap oleh atom akan diteruskan dan dipancarkan pada detektor, kemudian diubah menjadi sinyal yang terukur.

Panjang gelombang pengukuran untuk masing-masing logam target adalah: Fe pada 248,3 nm; Cu pada 324,7 nm; dan Pb pada 283,3 nm.

Peralatan :

1. Serangkaian alat AAS

Cara Uji:

1. Pembuatan standar: unsur yang akan dianalisa dilarutkan dalam pelarut yang sesuai. Lalu dibuat dalam deret konsentrasi tertentu untuk pembuatan kurva standar.
2. Preparasi sampel: digunakan pelarut yang sesuai dengan unsur yang akan dianalisa. Jika sampel berbentuk padatan maka harus dilarutkan terlebih dahulu. Apabila sampel berbentuk cair bisa langsung diencerkan.
3. Lalu standard dan sampel disaring dengan syringe filter dan dimasukkan kedalam tabung reaksi.

d. Uji Specific Gravity (Hydrometri)

Tujuan:

- Untuk menganalisa *specific gravity*

Pengujian dilakukan dengan menggunakan ASTM D 1298. Sampel uji dipindahkan ke dalam gelas ukur. Kemudian, hidrometer yang sesuai dicelupkan ke dalam sampel dan dibiarkan stabil. Setelah suhu kesetimbangan tercapai, skala hidrometer dibaca dan temperatur sampel dicatat.

Peralatan :

1. Hidrometer gelas, berskala unit density, SG atau API
2. Silinder gelas
3. *Density bath*

Cara Uji:

1. Pindahkan sampel ke dalam gelas silinder dengan hati-hati, usahakan tidak terbentuk gelembung udara, jika masih terbentuk hilangkan dengan sentuhan kertas saring.
2. Pasang busa penahan pada bagian atas gelas ukur
3. Letakkan silinder yang berisi sampel pada posisi tegak di dalam

density bath.

4. Masukkan ujung bawah hidrometer perlahan-lahan ke dalam sampel. Hindarkan pengaruh kelembaban pada batang hidrometer yang akan dicelupkan ke dalam cairan.
5. Tekan hidrometer kira-kira dua bagian skala ke dalam cairan, kemudian lepaskan. Biarkan hidrometer mengapung bebas dari sentuhan dinding silinder sampai keadaan diam. Usahakan letak hidrometer berada di tengah silinder.
6. Amati skala hidrometer, kemudian baca dan catat sampai ketelitian 0,0001 untuk densitas.

Hitung nilai SG dan API menggunakan rumus:

$$API = \frac{141,5}{SG} - 131,5$$

$$SG = \frac{141,5}{131,5 + SG}$$

e. Acidimetri

Untuk mengetahui kadar asam dalam bahan asam sulfat dan asam asetat. Pengujian dilakukan dengan menggunakan SNI 06-2422-1991. Batas maksimum keasaman yang dipersyaratkan untuk produk n-butil asetat adalah $\leq 0,01$ meq/g atau setara dengan $\leq 0,006\%$ (b/b) dinyatakan sebagai asam asetat.

Peralatan :

1. pH meter
2. Buret atau alat titrasi lain (25 mL)
3. Labu ukur 100 dan 1000 mL
4. Gelas ukur 100 mL
5. Pipet 10 mL
6. Labu erlenmeyer 50 dan 250 mL

Cara Uji:

1. Ukur 100 mL sampel uji dan masukkan ke dalam labu erlenmeyer 250 mL
2. Tambahkan 3 tetes indikator metil jingga
3. Apabila terjadi warna merah jingga, titrasi dengan larutan NaOH 0,02 N sampai warna jingga, catat mL larutan NaOH yang digunakan

4. Apabila terjadi warna kuning, maka sampel dibuang
5. Ukur kembali sampel uji 100 mL dan masukkan ke dalam labu erlenmeyer, tambahkan 3 tetes indikator fenolftalin
6. Titrasi dengan larutan NaOH 0,02 N sampai warna merah muda, catat mL larutan NaOH yang digunakan
7. Apabila perbedaan pemakaian NaOH dalam titrasi secara duplo lebih dari 0,10 mL maka ulangi pengujian, apabila kurang dari 0,10 mL rata-ratakan hasilnya untuk perhitungan kadar keasaman.

Hitung kadar keasaman dalam sampel menggunakan rumus:

$$\text{Keasaman total sebagai meq/L} = \frac{A \times B \times 1000}{C}$$

Keterangan:

A = Jumlah mL larutan NaOH yang digunakan untuk titrasi

B = Kenormalan larutan NaOH yang digunakan

C = Volume benda uji yang digunakan, dalam mL

f. pH

Pengujian pH bertujuan untuk menentukan tingkat keasaman atau kebasaan produk sebagai parameter mutu tambahan. Pengujian dilakukan mengacu pada ASTM E70. Rentang pH normal untuk produk n-butyl asetat berada pada kisaran 5,0–7,0.

Peralatan:

- pH meter dengan perlengkapannya
- pengaduk gelas/magnetic stirrer
- labu ukur 1000 mL
- labu semprot
- neraca analitik

Cara Kerja:

1. Kalibrasi pH meter dengan larutan buffer standar minimal dua titik (pH 4 dan pH 7) sebelum pengukuran dilakukan.
2. Bilas elektroda dengan air bebas mineral dan keringkan dengan tisu lembut yang tidak meninggalkan serat.
3. Celupkan elektroda ke dalam sampel hingga pembacaan nilai pH stabil.
4. Catat nilai pH dan suhu pengukuran secara bersamaan.
5. Bilas kembali elektroda dengan air bebas mineral setelah selesai

pengukuran.

g. High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

Analisis menggunakan metode High Performance Liquid Chromatography (HPLC) bertujuan untuk menganalisis komposisi dan kemurnian produk n-butil asetat, serta mengidentifikasi senyawa organik pengotor yang mungkin terbawa dalam aliran produk. Prinsip kerja HPLC didasarkan pada pemisahan komponen campuran berdasarkan perbedaan afinitas masing-masing komponen terhadap fase diam (kolom) dan fase gerak (pelarut). Komponen dengan afinitas lebih besar terhadap fase diam akan terelusi lebih lambat, menghasilkan kromatogram dengan puncak-puncak terpisah yang dapat diidentifikasi dan dikuantifikasi.

Kolom yang digunakan adalah kolom C18 fase terbalik (reverse phase) dengan fase gerak campuran asetonitril dan air grade HPLC. Deteksi dilakukan pada panjang gelombang 227 nm menggunakan detektor UV.

Peralatan:

- Serangkaian alat HPLC

Cara Kerja:

1. Sampel berupa larutan diencerkan terlebih dahulu
2. Siapkan kolom HPLC.
3. Masukkan kolom ke wadah sampel pada alat, kemudian nyalakan alat.
4. Pilih metode analisis dengan waktu selama 10-15 menit.
5. Sampel yang di homogenkan dengan vortex mixer kemudian diinjeksikan ke dalam HPLC dan ukur absorbansinya dengan panjang gelombang 227 nm dan 281 nm.
6. Kemudian akan menghasilkan kromatogram yang dianalisis sehingga dapat menemukan konsentrasi kapsaisin dalam sampel.

4.7 Unit Pengolahan Limbah

Pengelolaan limbah dilaksanakan sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan yang berlaku, khususnya Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup serta Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.16 Tahun 2019 tentang Baku Mutu Air Limbah.

4.7.1 Limbah Cair

Limbah cair yang dihasilkan pabrik bersumber dari tiga aliran utama, yaitu: (1) kebocoran jalur proses, (2) buangan unit utilitas, serta (3) air limbah domestik dari fasilitas sanitasi karyawan (toilet dan pantri). Pengolahan limbah cair dilakukan secara bertahap melalui dua unit reaktor biologis yang bekerja secara seri, yaitu reaktor anaerobik dan reaktor aerobik.

a. *Reaktor UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)*

Pada tahap pertama, air limbah diolah menggunakan reaktor Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB). Air limbah dialirkan dari bagian bawah reaktor ke atas melewati selimut lumpur anaerobik berbentuk granular. Mikroorganisme anaerobik yang terdapat dalam granul lumpur menguraikan senyawa organik dalam kondisi tanpa oksigen, menghasilkan biogas berupa campuran gas metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2). Pemisahan antara efluen cair, lumpur, dan biogas dilakukan oleh separator tiga fasa yang terpasang di bagian atas reaktor. Lumpur yang terbawa aliran efluen dikembalikan ke dalam reaktor, sedangkan biogas yang terbentuk dibakar pada unit flare. Reaktor UASB mampu menurunkan nilai BOD limbah cair sebesar 60–80% sebelum diteruskan ke tahap pengolahan berikutnya.

b. *Reaktor Aerobik*

Efluen dari reaktor UASB diolah lebih lanjut dalam reaktor aerobik menggunakan komunitas mikroorganisme aerob. Suplai oksigen dilakukan secara mekanis menggunakan diffuser atau surface aerator, yang sekaligus berfungsi sebagai pengaduk suspensi biomassa. Dalam reaktor ini, senyawa organik residu dikonversi menjadi biomassa baru, karbon dioksida (CO_2), dan air melalui proses metabolisme aerobik.

Efluen dari reaktor aerobik selanjutnya dialirkan ke unit clarifier untuk mengendapkan biomassa tersuspensi. Sebagian lumpur yang terendapkan (return sludge) dikembalikan ke reaktor aerobik guna menjaga konsentrasi mikroorganisme pada level yang optimal, sedangkan kelebihan lumpur (excess sludge) dipompa ke unit pengentalan (thickener) dan selanjutnya mengalami proses dewatering untuk mereduksi volume sebelum dibuang atau dimanfaatkan lebih lanjut.

Kualitas efluen akhir yang dibuang ke badan air penerima wajib memenuhi baku mutu yang ditetapkan, dengan parameter utama sebagai berikut:

Tabel 4. 13 Baku Mutu Efluen Limbah Cair

Parameter	Batas Maksimum	Satuan
BOD	≤ 50	mg/L
COD	≤ 100	mg/L
TSS	≤ 50	mg/L
pH	6 – 9	-

4.7.3 Limbah Padat

Limbah padat yang dihasilkan pabrik bersumber dari dua aliran utama, yaitu: (1) sludge dari unit pengolahan air baku dan unit pengolahan air limbah, serta (2) sampah domestik dari kegiatan karyawan.

Sludge dari unit pengolahan air dikurangi kadar airnya melalui proses dewatering menggunakan filter press atau centrifuge. Setelah melalui pengujian kandungan nutrisi dan dipastikan bebas dari kontaminan berbahaya, sludge tersebut dapat dimanfaatkan sebagai bahan pembenah tanah (soil conditioner) atau pupuk organik.

Sampah domestik dipilah menjadi dua fraksi berdasarkan sifatnya:

- Sampah organik: diolah melalui proses pengomposan atau diurug dalam fasilitas sanitary landfill yang dilengkapi dengan lapisan geomembran dan tanah liat kedap air guna mencegah pencemaran tanah dan air tanah. Gas metana yang terbentuk dari proses dekomposisi berpotensi ditangkap dan dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan.
- Sampah non-organik: diserahkan kepada pihak ketiga yang telah memiliki izin pengelolaan limbah, atau dibuang ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA) yang dikelola oleh pemerintah daerah setempat.

4.7.3 Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3)

Kegiatan produksi pabrik n-butyl asetat menghasilkan limbah yang tergolong sebagai Bahan Berbahaya dan Beracun (B3), antara lain sisa katalis asam sulfat, pelarut organik bekas, kemasan bahan kimia terkontaminasi, dan oli bekas peralatan. Pengelolaan limbah B3 wajib dilaksanakan sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021, yang meliputi tahapan: identifikasi dan pelabelan, pengumpulan dalam wadah kedap dan berlabel, penyimpanan sementara di tempat penyimpanan B3 yang memenuhi persyaratan teknis, serta penyerahan kepada pengangkut dan pengolah limbah B3 yang telah memiliki izin dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.