

BAB IV

UNIT PENDUKUNG PROSES

Unit utilitas, atau dikenal sebagai unit pendukung proses, memegang peranan krusial dalam keberlangsungan operasional suatu industri karena berfungsi menyokong kebutuhan unit-unit produksi utama (Towler, G., & Sinnott, R., 2012). Tanpa adanya sistem utilitas, seluruh rangkaian proses produksi tidak dapat berjalan. Dalam industri kimia secara spesifik, proses manufaktur tidak hanya bergantung pada bahan baku utama dan bahan penolong, melainkan juga membutuhkan suplai energi dan media penunjang seperti air, *steam* (uap panas), daya listrik, udara bertekanan, serta bahan bakar.

4.1 Unit Pengadaan dan Pengolahan Air

Untuk memenuhi kebutuhan air operasional, sebuah industri umumnya memanfaatkan berbagai sumber air seperti air sungai, air danau, air sumur dalam, maupun air laut. Unit pengolahan air (*water treatment system*) bertanggung jawab penuh mulai dari tahap pengadaan hingga pengolahan air baku agar memenuhi spesifikasi mutu yang ketat, baik untuk air proses, air sanitasi, air umpan *boiler* (*boiler feed water*), maupun sistem pemadam kebakaran (*hydrant*). Dalam konteks geografis Bontang yang berada di kawasan pesisir, pemanfaatan air laut melalui instalasi desalinasi modern menjadi sebuah langkah investasi strategis yang sangat menguntungkan. Meskipun memerlukan modal awal untuk infrastruktur, langkah ini menjamin kemandirian pasokan air yang mutlak, bebas dari risiko kekeringan musiman, sekaligus menjaga kelestarian sumber air tawar daratan demi mendukung keberlanjutan lingkungan (*environmental sustainability*). Pada pra-rancangan pabrik Soda Ash di Bontang ini, ketersediaan sumber air tawar dari aliran perairan laut Kota Bontang diproyeksikan mampu menyuplai total kebutuhan air penunjang pabrik sebesar 55.801 m³/ hari, yang didominasi oleh sistem steam dan air pendingin (*cooling water*). Untuk spesifikasi air laut di daerah Laut Bontang terdapat di Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Kualitas Air di Perairan Laut Kota Bontang (Baristand Samarinda, 2020)

Parameter	Satuan	Nilai
Parameter Fisika		
Suhu	°C	30 – 33,5
pH		6,5 – 7,5
TSS	mg/L	170,167

Parameter Kimia

BOD	mg/L	1,9
Amonia (NH ₃)	mg/L	0,375
Fosfat	mg/L	< 0,001
Nitrat (NO ₃ -N)	mg/L	0,314
Raksa (Hg)	mg/L	<0,0001
Arsen (As)	mg/L	0,002
Kadmium (Cd)	mg/L	0,002
Tembaga (Cu)	mg/L	0,019
Timbal (Pb)	mg/L	0,180
Seng (Zn)	mg/L	0,007
Nikel (Ni)	mg/L	<0,040
Minyak dan Lemak	mg/L	0,175
Detergen (MBAS)	mg/L	0,439
Fenol	mg/L	0,004
Parameter Biologi		
E. Coli	MPN/100ml	26,67
Total Coliform	MPN/100ml	1551,333

Dengan dukungan infrastruktur pengolahan yang andal dan sumber yang melimpah, pasokan air untuk operasional pabrik Soda Ash ini dinilai sangat aman, kompetitif, dan berkelanjutan untuk jangka panjang. Adapun alokasi air yang diperlukan di lingkungan pabrik meliputi:

1. Air Umpan *Boiler*

Dalam operasional sistem pembangkit uap, air yang dipakai untuk kebutuhan produksi steam dikenal sebagai air umpan *boiler*. Sumber utama air ini berasal dari hasil proses desalinasi air laut di wilayah Bontang, yang diolah menjadi air tawar untuk memenuhi kebutuhan ketel uap. Saat proses pemanasan berlangsung di dalam ketel, hanya air murni berfase uap (H₂O) yang menguap, sedangkan ion-ion terlarut tidak ikut menguap dan tetap tertinggal di fase cair. Akibatnya, konsentrasi ion di dalam air *boiler* akan terus meningkat seiring berjalannya waktu. Padahal, kualitas air umpan *boiler* harus memenuhi spesifikasi yang sangat tinggi. Walau tampak jernih, air hasil desalinasi maupun pengolahan lanjutan biasanya masih mengandung sisa garam terlarut, mineral-mineral, serta asam yang bersifat korosif dan dapat merusak material logam pada peralatan *boiler*. Untuk menjaga kadar ion-ion tersebut tetap dalam

ambang batas aman, sebagian air *boiler* dibuang secara terus-menerus melalui metode yang disebut *blow-down*. Langkah ini bertujuan mencegah lonjakan konsentrasi ion yang melampaui batas yang telah ditetapkan. Adapun sejumlah aspek penting yang wajib diperhatikan dalam pengelolaan air umpan *boiler* adalah sebagai berikut:

- Zat pemicu korosi. Terjadinya korosi pada boiler utamanya disebabkan oleh kandungan larutan asam di dalam air, serta keberadaan gas-gas terlarut seperti oksigen (O_2), karbondioksida (CO_2), dan hidrogen sulfida (H_2S) yang bersifat agresif terhadap logam.
- Zat pemicu pembusaan (*foaming*). Proses pemanasan air umpan boiler dapat memicu timbulnya busa, yang bersumber dari keberadaan zat-zat organik, anorganik, maupun partikel-partikel tak larut dalam jumlah yang cukup besar. Kondisi pembusaan ini cenderung semakin parah apabila air boiler memiliki tingkat alkalinitas yang tinggi.
- Zat pembentuk kerak (*scale*). Terbentuknya kerak di dalam boiler merupakan akibat dari adanya kesadahan air yang dipadukan dengan suhu operasi yang tinggi. Kerak yang terbentuk pada umumnya didominasi oleh endapan garam-garam karbonat dan silikat.

Mengingat risiko-risiko tersebut, air umpan boiler wajib menjalani tahap pengolahan lanjutan guna mengendalikan kadar zat-zat berbahaya itu. Secara umum, pengolahan dilakukan melalui proses demineralisasi menggunakan metode penukar ion (*ion-exchange*), yang kemudian diteruskan dengan proses deaerasi dan *stripping* untuk membuang dan menghilangkan gas-gas terlarut dari dalam air. Spesifikasi air yang akan digunakan untuk umpan boiler dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Syarat Air Umpan Boiler (ABMA, 2005)

Parameter	Nilai
pH	8,3-9,6
Dissolved Oxygen (ppm)	< 0,007
Total Fe (ppm)	$\leq 0,01$
Total Cu (ppm)	$\leq 0,01$
Total Hardness	$\leq 0,05$
Non-Volatil TOC	< 0,2
Kadar Minyak	< 0,2

- Kebutuhan Air Umpan Boiler

Kebutuhan air untuk *steam* berdasarkan neraca panas:

$$\text{Jumlah kebutuhan steam} = 98,959 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$= 2.375,026 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Jumlah *steam* dilebihkan 10% untuk mengatasi terbentuknya kondensat saat distribusi *steam*.

$$\begin{aligned}\text{Jumlah kebutuhan steam} &= 2.375,026 \text{ m}^3/\text{hari} \times 110\% \\ &= 2.612,529 \text{ m}^3/\text{hari}\end{aligned}$$

Diperlukan *make up water* sebesar 5% karena adanya *blowdown*. *Blowdown* bertujuan untuk menjaga agar ion-ion dalam air *boiler* tidak melebihi ambang batas yang telah ditentukan:

Kebutuhan air umpan *boiler* saat startup:

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan steam} &\times 105\% \\ 2.612,529 \text{ m}^3/\text{hari} &\times 105\% \\ 2.743,155 \text{ m}^3/\text{hari}\end{aligned}$$

Sehingga saat *start up boiler* dibutuhkan air sebanyak 2.743,155 m³/hari dan saat operasi normal dibutuhkan sebanyak 2.612,529 m³/hari.

2. Air Pendingin

Dalam pra-rancangan pabrik *soda ash* (*sodium carbonate*) kapasitas tinggi, unit *cooling tower* memegang peranan krusial sebagai penyedia air pendingin untuk mengendalikan suhu reaksi eksotermik yang sangat sensitif, terutama pada unit absorber amonia, menara karbonasi (kolom Solvay/Hou), serta unit kondensor pada sistem evaporator. Mengingat tingginya volume kebutuhan air pendingin kontinyu akibat hilangnya air lewat penguapan, penggunaan air olahan ulang (*reclaimed water*) sebagai air umpan diaplikasikan dengan mengacu pada standar internasional ISO 22449. Penerapan standar ini memastikan bahwa parameter kualitas air sirkulasi seperti potensi korosivitas akibat klorida, pembentukan kerak kalsium, dan risiko biofouling dari sisa bahan organik tetap berada dalam batas aman operasi, sehingga mampu menjaga efisiensi perpindahan panas sekaligus mendukung prinsip industri hijau yang berkelanjutan. Data spesifikasi air pendingin dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Syarat Air Umpan Cooling Tower (ISO 22449)

Parameter	Nilai
pH	6,5 - 9
Total Hardness (CaCO ₃ mg/l)	≤ 250
Alkalinity (CaCO ₃ mg/l)	100-500
BOD ₅ (mg/l)	≤ 10
COD _{cr} (mg/l)	≤ 30

TSS (mg/l)	≤ 10
TDS (mg/l)	≤ 5.000
Konduktivitas ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	≤ 3.000
Residual Klorin (mg/l)	Maksimal 0,1-0,2
Klorida (mg/l)	≤ 300 (<i>stainless steel</i>)
	≤ 1.000 (<i>other metals</i>)
<i>Fecal Coliform</i> (CFU/100 ml)	≤ 200
NH ₃ -N (mg/l)	≤ 5
	≤ 1 (<i>if copper presents</i>)
Sulfate (SO ₄ ²⁻) (mg/l)	≤ 800
Fe (mg/l)	$\leq 0,3$
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	≤ 3

- Kebutuhan Air Pendingin *Cooling Tower*

Kebutuhan air pendingin berdasarkan neraca panas:

$$\begin{aligned}\text{Jumlah air pendingin} &= 1.393,930 \text{ m}^3/\text{jam} \\ &= 33.454,323 \text{ m}^3/\text{hari}\end{aligned}$$

Untuk mengantisipasi adanya kehilangan air akibat angin maka perlu ditambah 10% dari kapasitas sehingga kebutuhan air pendingin menjadi:

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan air pendingin} &= 33.454,323 \text{ m}^3/\text{hari} \times 110\% \\ &= 36.799,755 \text{ m}^3/\text{hari}\end{aligned}$$

3. Air Proses

Dalam industri manufaktur *soda ash*, air proses memegang peran yang sangat vital sebagai elemen penggerak utama dalam berbagai tahapan reaksi kimia dan pemisahan mekanis (Grobick, 2008). Pertama, air proses berfungsi sebagai air pelarut untuk melarutkan bahan baku utama seperti garam NaCl guna membentuk larutan *brine* homogen yang siap direaksikan. Selanjutnya, dalam tahap pemisahan, air proses digunakan sebagai air pencuci pada *Rotary Vacuum Drum Filter* (RVDF) untuk membilas lapisan kue kristal (*filter cake*) dari sisa-sisa pengotor larutan induk seperti amonium klorida. Terakhir, air proses juga disuntikkan secara terukur dalam tahapan sentrifugasi sebagai media pembilas guna memastikan sisa likuid yang melekat pada permukaan kristal luruh sempurna, sehingga menghasilkan produk *soda ash* dengan tingkat kemurnian tinggi yang optimal. Spesifikasi air proses dapat ditinjau menggunakan data sesuai Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Syarat Air Sanitasi (Grobicki, 2008)

Parameter	Nilai
pH	7,7
Konduktivitas ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	708
Total Solids Content (mg/l)	0
SAC 254 ($1/\text{m}$)	7,2
SAC 436 ($1/\text{m}$)	0,38
Fe (mg/l)	0,01
Klorin (mg/l)	0,04
Total Klorin (mg/l)	0,06
AOX (mg/l)	0,03
COD (mg/l)	3,5
BDOC (mg/l)	0,9
Mikroorganisme ($-/100\text{ml}$)	1

- Kebutuhan air proses yang digunakan pada desain proyek *Soda Ash* ini meliputi:

<i>Dissolver</i>	$= 134,117 \text{ m}^3/\text{jam}$ $= 134,117 \text{ m}^3/\text{jam} \times 24 \text{ jam}$ $= 3.218,817 \text{ m}^3/\text{hari}$
Operasi Normal	$= \text{Kebutuhan total pelarut} - \text{recycle} - \text{fresh feed}$ $= 134,117 \text{ m}^3/\text{jam} - 79,348 \text{ m}^3/\text{jam} - 1,958 \text{ m}^3/\text{jam}$ $= 52,812 \text{ m}^3/\text{jam}$ $= 52,812 \text{ m}^3/\text{jam} \times 24 \text{ jam}$ $= 52,812 \text{ m}^3/\text{hari}$
<i>Rotary Drum Vacuum Filter</i>	$= 11,090 \text{ m}^3/\text{jam}$ $= 11,090 \text{ m}^3/\text{jam} \times 24 \text{ jam}$ $= 266,157 \text{ m}^3/\text{hari}$
<i>Centrifuge</i>	$= 3,402 \text{ m}^3/\text{jam}$ $= 3,402 \text{ m}^3/\text{jam} \times 24 \text{ jam}$ $= 81,637 \text{ m}^3/\text{hari}$
Kondisi <i>Startup</i>	$= 3,793 \text{ m}^3/\text{jam}$ $= 3,793 \text{ m}^3/\text{jam} \times 24 \text{ jam}$ $= 91,033 \text{ m}^3/\text{hari}$

Sehingga dapat dikatakan kebutuhan total untuk air proses pada desain proyek *Soda Ash* pada start up sebesar 3.576,007 m³/hari dan kondisi normal 1.615,271 m³/hari.

4. Air Sanitasi

Air sanitasi merujuk pada air yang disediakan untuk menunjang kebutuhan operasional dan fasilitas bagi para pegawai di lingkungan pemerintahan. Adapun standar kualitas air sanitasi tersebut wajib mengacu pada regulasi yang ditetapkan dalam Permenkes Nomor 2 Tahun 2023 mengenai syarat-syarat dan pengawasan kualitas air, dengan rincian persyaratan sebagaimana tabel 4.5.

Tabel 4.5 Syarat Air Sanitasi (ISO 22449)

Parameter	Nilai
Bakteri <i>E.Coli</i> (CFU/ 100 ml)	0
Total <i>Coliform</i> (CFU/ 100 ml)	0
TDS (mg/l)	< 300
Kekeruhan (NTU)	< 3
Warna (TCU)	10
pH	6,5-8,5
Nitrat (NO ³ terlarut) (mg/l)	20
Nitrat (NO ² terlarut) (mg/l)	3
Kromium valensi 6 (Cr ⁶⁺) (mg/l)	0,01
Fe terlarut (mg/l)	0,2
Mangan terlarut (Mn) (mg/l)	0,1
Residu Klor (mg/l)	0,2 – 0,5 (waktu kontak 30 menit)
Arsen terlarut (As) (mg/l)	0,01
Kadmium (mg/l)	0,003
Timbal terlarut (Pb) (mg/l)	0,01
Flouride terlarut (F) (mg/l)	1,5
Alumunium terlarut (Al) (mg/l)	0,2

- Kebutuhan air sanitasi pada desain proyek pabrik *Soda Ash* meliputi:

a. Air untuk karyawan

Pada pabrik *Soda Ash* memiliki total 444 karyawan dengan jam kerja 8 jam/ hari. Sehingga perlu diperhitungkan air untuk karyawan dengan kebutuhan karyawan sebesar 0,12 m³/ hari (WHO, 2003) tiap orangnya dengan perhitungan air sanitasi:

$$\frac{0,12}{24} \times 444 \text{ orang} \times \frac{8}{24} = 0,74 \text{ m}^3/\text{jam} = 17,76 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Sehingga dalam satu hari penggunaan air sanitasi memerlukan sebanyak 17,76 m³/hari.

b. Air untuk laboratorium dan taman

Perhitungan air untuk laboratorium dan taman:

$$0,2 \times 17,76 \text{ m}^3/\text{hari} = 3,552 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Sehingga kebutuhan air untuk keperluan laboratorium dan taman sebanyak 21,312 m³/hari

5. Air Hidran

Dalam rancang bangun dan operasional pabrik *Soda Ash*, ketersediaan sistem air *hydrant* merupakan pilar utama dalam pemenuhan standar keselamatan kerja (K3) dan proteksi aset operasional dari risiko kebakaran. Pabrik *soda ash* melibatkan berbagai unit proses bertemperatur tinggi seperti unit reaktor kalsinasi untuk mengubah Natrium bikarbonat menjadi natrium karbonat, serta unit pembangkit uap (*boiler*). Meskipun produk akhir *soda ash* bukan merupakan material yang mudah terbakar, potensi bahaya kebakaran tetap tinggi pada area-area penunjang seperti ruang kendali kelistrikan, fasilitas penyimpanan bahan bakar utilitas, gudang pengemasan produk, serta area konveyor yang rawan gesekan mekanis. Oleh karena itu, pasokan air *hydrant* diatur melalui jaringan perpipaan *loop* tertutup yang terintegrasi dengan pompa utama (*electric Pompa*), pompa cadangan (*diesel Pompa*), dan *jockey Pompa* untuk memastikan tekanan air tetap stabil dan siap siaga selama 24 jam. Penempatan titik *hydrant box* dan *hydrant pillar* diposisikan secara strategis mengelilingi area-area kritikal pabrik, sehingga apabila terjadi kondisi darurat, pemadaman api dapat dilakukan secara cepat dan responsif guna mencegah eskalasi bahaya yang dapat melumpuhkan seluruh rantai produksi.

Perencanaan kebutuhan air hidran dilakukan berdasarkan metode yang digunakan oleh Rafianza et al. (2024) yang mengacu pada SNI 03-1735-2000 dan NPFA.

Luas total bangunan pabrik yang direncanakan adalah 160.000 m².

- Luas bangunan = 160.000 m²
 Luas bangunan indoor = 38.100 m²
 Luas bangunan outdoor = 121.900 m²
- *Hydrant indoor*
 Q = 1.200 L/menit
 t operasi = 45 menit
 Kebutuhan *hydrant box* = 39 buah
 Kebutuhan *hydrant box ops.* = 4 buah
 Kebutuhan air *hydrant box* = 216.000 L
 Kebutuhan air *hydrant box* = 216 m³ x 45 menit/ 60 menit

$$= 288 \text{ m}^3/\text{jam} \times 2 \text{ (worst case/ hari)}$$

$$= 576 \text{ m}^3/\text{hari}$$

- *Hydrant outdoor*

$$Q = 2.400 \text{ L/menit}$$

$$t = 45 \text{ menit}$$

$$\text{Jumlah hydrant pilar} = 122 \text{ buah}$$

$$\text{Kebutuhan air hydrant pilar} = 864.000 \text{ L}$$

$$\text{Kebutuhan air hydrant pilar} = 864 \text{ m}^3 \times 45 \text{ menit}/60 \text{ menit}$$

$$\text{Kebutuhan air hydrant pilar} = 1.152 \text{ m}^3$$

$$= 1.440 \text{ m}^3/\text{jam} \times 2 \text{ (worst case/ hari)}$$

$$= 2.304 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Kebutuhan total air hydrant} = 2.880 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Kebutuhan make up water} = 144 \text{ m}^3/\text{hari} \text{ (5\% dari kebutuhan total)}$$

Sehingga kebutuhan air *hydrant* saat *start up* sebesar $2.880 \text{ m}^3/\text{jam}$ dan saat kondisi operasional terburuk sebesar $144 \text{ m}^3/\text{jam}$.

- **Kebutuhan Air Total**

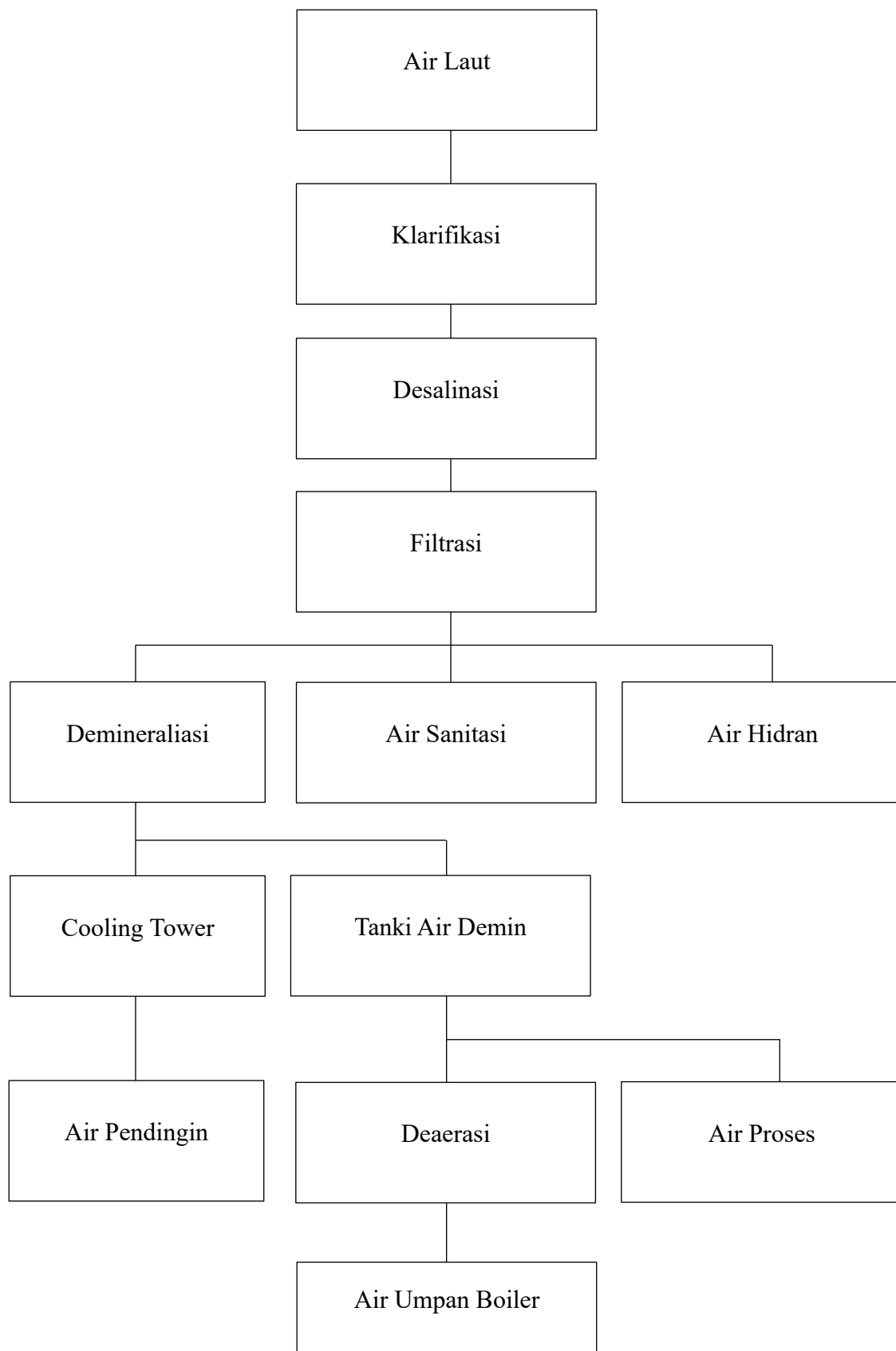
Air yang dibutuhkan untuk desain proyek ini dapat dilihat pada tabel 4.6 berikut:

Tabel 4.6 Kebutuhan Air Total

No	Keterangan	Kebutuhan (m^3/hari)	
		<i>Start Up</i>	<i>Steady State</i>
1	Air Umpan Boiler	2.743,155	2.612,529
2	Air Pendingin	36.799,755	33.454,323
3	Air Proses	3.576,007	1.615,271
4	Air Sanitasi	21,312	21,312
5	Air Hidran	2.880,000	144,000
Total		46.020,229	37.847,434

- **Unit Pengolahan Air**

Proses pengolahan air bertujuan untuk memastikan bahwa air yang digunakan telah memenuhi standar kualitas yang dipersyaratkan dalam kegiatan operasional atau produksi. Metode pengolahan tersebut dapat dilakukan melalui pendekatan fisik dan kimia, yang meliputi penambahan disinfektan serta pemanfaatan teknologi penukar ion. Oleh karena itu, seluruh air yang terlibat dalam proses tersebut wajib memenuhi kriteria dan kualifikasi mutu yang telah ditetapkan. Unit pengolahan air pada desain proyek *Soda Ash* dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Diagram Alir Pengolahan Air Pabrik Soda Ash

1. Klarifikasi

Bahan baku air diambil langsung dari perairan laut dan disalurkan menuju sistem *water intake* yang dilengkapi dengan *screen* (saringan) dan pompa. *Screen* ini berfungsi vital untuk mencegah masuknya sampah laut, biota, maupun benda asing lainnya ke dalam jalur hisapan pompa. Setelah tersaring, air ditarik oleh pompa dan dialirkan melalui pipa menuju unit pengolahan air, diawali dengan tangki sedimentasi. Di dalam tangki ini, proses pengendapan terjadi untuk memisahkan partikel seperti pasir laut atau lumpur yang terbawa. Langkah ini sangat penting untuk mencegah terjadinya penumpukan kotoran (*fouling*) pada proses penyediaan air bebas mineral atau desalinasi di tahap selanjutnya.

Partikel berukuran besar akan terpisahkan melalui penyaringan fisik tersebut, sedangkan partikel koloid dihilangkan lewat proses klarifikasi yang mencakup penetralan dan koagulasi (penggumpalan). Sebelum air dikeluarkan dari unit ini, dilakukan injeksi bahan kimia yang terdiri dari larutan alum (tawas), soda kaustik (NaOH), dan klorin. Larutan alum berperan sebagai bahan koagulan untuk menggumpalkan kotoran, soda kaustik bertugas mengatur tingkat keasaman (pH) air, sedangkan klorin berfungsi membunuh bakteri, jamur, serta mikroorganisme laut agar pembentukan flok kotoran menjadi lebih optimal. Volume injeksi bahan kimia ini dikontrol secara otomatis agar selalu proporsional dengan debit air yang masuk, serta disesuaikan dengan fluktuasi kualitas air laut dan kondisi operasional di lapangan.

Seperti halnya air alam pada umumnya, air laut mengandung beragam pengotor yang perlu ditangani sebelum dapat digunakan. Pengotor tersebut meliputi padatan terlarut dengan konsentrasi tinggi seperti natrium klorida (garam laut), magnesium sulfat, kalsium sulfat, kalsium karbonat, silika, serta sejumlah kecil mineral seperti besi dan aluminium. Selain itu, terdapat pula gas-gas terlarut dari udara seperti oksigen dan karbondioksida, serta zat tersuspensi yang memicu kekeruhan, seperti material organik, mikroorganisme laut berupa plankton atau alga, warna dari pembusukan material hayati, hingga cemaran lapisan minyak. Setelah semua pengotor tersebut ditangani pada unit klarifikasi, air laut kemudian dialirkan ke unit desalinasi.

2. Desalinasi

Setelah jernih, air masuk ke tahap desalinasi yang merupakan proses inti pemisahan garam untuk menghasilkan air tawar. Menggunakan sistem *Reverse Osmosis* (RO), air didorong oleh pompa bertekanan tinggi melewati membran semipermeabel yang hanya meloloskan molekul air murni, sementara ion garam dan mineral ditahan lalu dibuang sebagai konsentrat pekat. Untuk perawatannya, membran RO memerlukan pencucian rutin menggunakan bahan kimia guna melarutkan kerak mineral atau kotoran organik yang menempel. Operator juga

harus memantau perbedaan tekanan pada alat; jika tekanan meningkat tajam untuk menghasilkan debit yang sama, itu pertanda membran mulai kotor. Tahap ini sangat penting karena RO merupakan metode yang paling hemat energi dibandingkan distilasi termal uap untuk menurunkan salinitas air laut, memastikan air memiliki kadar mineral terlarut yang rendah sebelum digunakan pada proses filtrasi lanjutan

3. Filtrasi Lanjutan

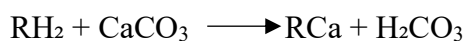
Untuk mencegah terjadinya penyumbatan (*fouling*) pada sistem penukar ion (*ion exchanger*), air baku harus melewati serangkaian tahap penjernihan dan penyaringan. Pada tahap awal, kotoran seperti bahan organik, pewarna, dan bakteri dihilangkan melalui proses koagulasi hingga tingkat kekeruhannya turun menjadi maksimal 5 ppm. Sisa partikel kotoran yang masih lolos kemudian ditangkap oleh permukaan media penyaring berupa *sand filter* silinder vertikal. Apabila filter telah jenuh yang terdeteksi otomatis dari tercapainya batas waktu operasi atau tingginya penurunan tekanan (*high pressure drop*) sistem akan melakukan regenerasi melalui *backwash* (cuci balik). Proses ini menggunakan aliran air yang lebih deras untuk mengusir endapan kotoran. Setelah *backwash* selesai, air saringan pertama dibuang sementara waktu untuk memastikan tidak ada sisa padatan yang terbawa. Sebelum ditampung ke dalam tangki penyimpanan, air tersebut diinjeksi dengan larutan kaustik guna menyesuaikan pH dan klorin untuk mencegah pertumbuhan mikroorganisme. Pada akhirnya, air bersih ini siap didistribusikan untuk unit demineralisasi, instalasi hidran, serta berbagai kebutuhan air umum lainnya.

4. Demineraliasi

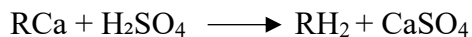
Demineralisasi bertujuan untuk memurnikan air hasil filtrasi dengan menghilangkan seluruh kandungan ion terlarutnya. Proses ini menghasilkan air bebas mineral (*deionized water* atau air demin) yang sangat krusial digunakan sebagai air umpan boiler (*Boiler Feed Water*). Sistem ini bekerja menggunakan teknologi penukar ion (*ion exchanger*) yang terbagi menjadi dua tahapan utama:

a. Penukar Kation (*Cation Exchanger*)

Tahap pertama ini memanfaatkan resin khusus untuk menangkap dan menghilangkan ion-ion logam bermuatan positif (kation) dari dalam air, seperti K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{+} , dan Al^{3+} . Reaksi kimia pengikatan yang terjadi adalah:

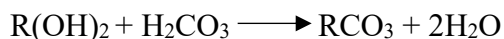
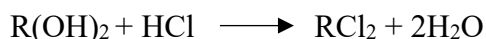
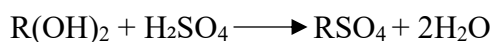


Apabila resin kation telah mencapai titik jenuh, proses regenerasi dilakukan dengan menyuntikkan larutan asam sulfat H_2SO_4 guna mengikat kembali ion H^+ . Reaksi regenerasinya meliputi:



b. Penukar Anion (*Anion Exchanger*)

Air yang telah terbebas dari kation selanjutnya dialirkan ke unit ini untuk dihilangkan kandungan ion bermuatan negatifnya (anion), seperti HCO_3^- , SiO_3^{2-} , Cl^- , NO_3^- , dan CO_3^{2-} . Reaksi pengikatan anion oleh resin meliputi:



Sama halnya dengan kation, resin anion yang sudah jenuh juga perlu diregenerasi. Proses ini menggunakan larutan basa kuat berupa natrium hidroksida (NaOH) untuk mengembalikan ion OH^- , melalui reaksi:



Setelah melewati kedua tahap penukaran ion tersebut, kualitas air demin yang dihasilkan ditargetkan memiliki tingkat keasaman netral pada pH 7-8. Air ini selanjutnya ditampung sementara di dalam tangki penyimpanan air demineralisasi (*demineralized water storage*). Dari sana, air bersih siap didistribusikan menuju unit deaerasi dan berbagai peralatan proses lainnya untuk diolah lebih lanjut menjadi air umpan boiler.

5. Unit Deaerasi

Deaerasi adalah tahapan penting untuk menghilangkan gas-gas terlarut, khususnya oksigen O_2 , dari air demin keluaran *ion exchanger* sebelum digunakan sebagai air umpan boiler. Proses pemurnian di dalam *deaerator* ini berlangsung melalui dua tahapan utama, yaitu:

- Proses Mekanis: Memanfaatkan metode *stripping* menggunakan *steam* LS untuk melepaskan gas oksigen hingga kadarnya turun drastis mencapai 0,007 ppm.
- Proses Kimia: Menginjeksikan senyawa hidrazin (N_2H_4) untuk mengikat dan melenyapkan sisa oksigen yang masih lolos dari tahap mekanis. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Setelah terbebas dari oksigen, air keluaran *deaerator* harus melewati beberapa perlakuan kimia tambahan untuk menjaga keawetan dan kinerja boiler:

- Pengendalian pH: Larutan kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ditambahkan untuk memastikan pH air tetap berada pada kondisi sedikit basa, yaitu di kisaran 8,5 hingga 9,5.
- Pencegahan Kerak: Air diinjeksi dengan larutan fosfat ($\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) guna mencegah terbentuknya endapan kerak silika dan kalsium yang dapat merusak *steam drum* maupun pipa boiler (*boiler tube*).
- Pemberian *Dispersant*: Sebagai langkah perlindungan terakhir sebelum dipompa masuk ke dalam boiler, air diberi tambahan bahan pendispersi (*dispersant*) untuk mencegah terjadinya penggumpalan partikel.

4.2 Unit Penyediaan Listrik

Pada perancangan pabrik *Soda Ash*, total kebutuhan daya listrik untuk menggerakkan motor dan peralatan mekanis adalah sebesar 3.479,636 kW, yang bersumber dari beban peralatan proses sebesar 2.775,696 kW dan peralatan utilitas sebesar 703,941 kW. Dengan memperhitungkan tambahan daya sekitar 15-20% untuk keperluan penerangan, pendingin ruangan (AC), laboratorium, bengkel, dan instrumentasi, kebutuhan tenaga listrik dipenuhi dari suplai PT Kaltim Daya Mandiri. Sebagai cadangan listrik darurat apabila terjadi pemadaman, disediakan *generator set* (genset) untuk menjaga kelangsungan operasional pabrik.

Pasokan listrik utama dari jaringan PT. Kaltim Daya Mandiri dengan tegangan transmisi/distribusi sebesar 33 kV. Oleh karena itu, pabrik menggunakan transformator (*step-down transformer*) untuk menurunkan tegangan menjadi 380 volt AC 3-fasa (diperuntukkan bagi motor penggerak/alat berat) dan 220 volt AC 1-fasa (diperuntukkan bagi penerangan, AC, dan instrumentasi):

Genset yang digunakan adalah jenis generator arus bolak-balik (AC) 3-fasa, dengan pertimbangan teknis sebagai berikut:

- Mampu menghasilkan tenaga listrik dengan kapasitas yang cukup besar untuk skala industri.
- Tegangan listrik dan daya kerja yang dihasilkan lebih stabil.
- Tegangan dapat dengan mudah diatur sesuai kebutuhan menggunakan transformator.
- Sistem distribusi 3-fasa lebih efisien karena membutuhkan kawat penghantar yang lebih sedikit dibandingkan sistem 1-fasa pada daya yang sama.
- Motor AC 3-fasa yang banyak digunakan di pabrik memiliki konstruksi yang lebih sederhana, tahan banting, dan harganya relatif lebih murah.

1. Kebutuhan Listrik untuk Keperluan Proses dan Utilitas

Tabel 4.7 Kebutuhan Listrik Proses

Nama Alat	Jumlah	HP	Total Hp	kW
Pompa Proses	5	33,312	166,559	124,203
Kompresor Proses	5	47,563	237,815	177,339
Rotor Dissolver	1	2,000	2,000	1,491
Rotor Belt Conveyor	3	3,165	9,496	7,081
Rotor Screw Conveyor	5	6,750	33,750	25,167
Rotary Drum Vacuum Filter	1	240,236	240,236	179,144
Rotor Reaktor Pirolisis	2	3,683	7,366	5,493
Rotor Kristallizer	2	10,278	20,555	15,328
Rotor Centrifuge	3	200,000	600,000	447,420
Bucket Elevator	6	9,656	57,938	43,204
Ball Mill Rotor	3	750,000	2.250,000	1.677,825
Bag Packager	6,00	16,09	96,554	72,000
Total			3.722,269	2.775,696

Tabel 4.8 Kebutuhan Listrik Utilitas

Nama Alat	Jumlah	HP	Total Hp	kW
Pompa <i>raw water</i>	2	150,00	300,00	223,71
Pompa air demineralisasi	2	25,00	50,00	37,29
Pompa deaerasi	2	25,00	50,00	37,29
Pompa air sanitasi	2	1,00	2,00	1,49
Pompa air proses utilitas	2	20,00	40,00	29,83
Pompa kondensat	2	25,00	50,00	37,29
Pompa <i>make up water</i>	2	100,00	200,00	149,14
Pompa hidrant	2	1,00	2,00	1,49
Pompa <i>boiler feed water</i>	2	125,00	250,00	186,43
Total			944,00	703,94

2. Kebutuhan Listrik untuk Pengolahan Limbah Sanitasi dan Laboratorium

Kebutuhan listrik untuk pengolahan limbah pada desain proyek *Soda Ash* ini diperkirakan sebanyak 40,23 HP atau sekitar 30 kW.

Tabel 4.9 Kebutuhan Listrik Limbah Sanitasi

Nama Alat	Jumlah	Hp	Total Hp	kW
Equalization Mixer	1	10	10,000	7,457
Feed Pompa ke DAF	1	1	1,000	0,746
Recycle Pompa DAF	1	5	5,000	3,729
Air Compressor DAF	1	3	3,000	2,237
Effluent Pompa	1	1	1,000	0,746
Total			20,000	14,914

Tabel 4.10 Kebutuhan Listrik Limbah Laboratorium

Nama Alat	Jumlah	Hp	Total Hp	kW
Transfer Pompa	2	2	4,231	3,155
Equalization Mixer	2	1	2,000	1,491
Neutralization Mixer	2	3	6,000	4,474
Chemical Dosing Pompa	2	1	2,000	1,491
Effluent Pompa	2	3	6,000	4,474
Total			20,231	15,086

3. Kebutuhan Listrik untuk Penerangan

Untuk mengestimasi konsumsi daya listrik yang diperlukan dalam sistem penerangan, kita dapat menerapkan pendekatan berbasis *Luminous Efficacy*, yaitu parameter yang menyatakan jumlah radiasi cahaya tampak (dinyatakan dalam lumen) yang dipancarkan oleh suatu sumber lampu. Kebutuhan intensitas cahaya untuk setiap satuan luas permukaan dapat dihitung melalui.

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

Dimana:

Area = Luas daerah yang membutuhkan pencahayaan (m^2)

Lux = Kebutuhan energi cahaya per satuan luas (lumen/m^2)

Besarnya *lux* nilainya berbeda tergantung pada area yang akan diberi penerangan. Dalam perancangan ini digunakan nilai *lux* standar menurut SNI-03-61797-2000.

Tabel 4.11 Kebutuhan Penerang Ruang Indoor

Bangunan <i>Indoor</i>	Luas (m²)	Lux (lumen/m²)	Lumen
Pos keamanan	50	100	5.000
Masjid	400	200	80.000
Laboratorium	400	500	200.000
Kantor produksi	300	500	150.000
Kantor Logistik	3.000	500	1.500.000
Bengkel	450	100	45.000
Kantin & Perpustakaan	400	500	200.000
Gudang Produk	15.000	100	1.500.000
Ruang kontrol	300	500	150.000
Gedung Serbaguna	800	350	280.000
Gudang Bahan Baku	15.000	150	2.250.000
Poliklinik	300	300	90.000
Loading Raw Material	1.200	200	240.000
Unit pemadam kebakaran	500	100	50.000
Total	38.100		6.740.000

Tabel 4.12 Kebutuhan Penerang Ruang Outdoor

Bangunan <i>Outdoor</i>	Luas (m²)	Lux (lumen/m²)	Lumen
Area proses	40.000	300	12.000.000
Area utilitas	15.000	100	1.500.000
Area parkir	3.500	30	105.000
Area pengolahan limbah	3.000	100	300.000
Taman dan jalan	31.000	50	1.550.000
Area perluasan	29.400	20	588.000
Total	121.900		16.043.000

Lampu yang direncanakan untuk semua area didalam bangunan menggunakan lampu *Light-emitting Diode (LED) Philips (Helix Spiral Energy Saving Bulb) 24 watt*. Lumen output tiap lampu adalah 1.450 lumen (Philips.co.id).

Jumlah lumen didalam ruangan= 6.740.000 lumen

Jumlah lampu yang dibutuhkan= 3.920.000/ 1.450

= 4.649 lampu

Area *outdoor* digunakan lampu *Light-emitting Diode* (LED) Philips (*Helix Spiral Energy Saving Bulb*) 42 watt. *Output* tiap lampu adalah 2.650 lumen (Philips.co.id).

Jumlah lumen diluar ruangan = 16.043.000 lumen

Jumlah lampu yang dibutuhkan = 16.043.000 / 2.650

= 6.054 lampu

Total daya penerangan:

Indoor = (24 watt x 4.649)

= 111.576 watt

= 111,576 kW

Outdoor = (42 watt x 6.054)

= 254.268 watt

= 254,268 kW

Total daya = (111,576 + 254,268) kW

= 365,844 kW

4. Kebutuhan Listrik untuk Pendingin Ruangan

AC (*air conditioner*) direncanakan akan menggunakan AC 1,5 PK yang *inverter* LG D13SMV memerlukan daya listrik sebesar 980 watt (Selka, 2026) dan diperkirakan cukup untuk memenuhi ruangan seluas 22 m², berikut adalah kebutuhan AC dan listrik dalam pabrik. Luas area yang memerlukan AC adalah sebagai berikut:

Tabel 4.13 Kebutuhan Pendingin Ruangan

Ruangan yang membutuhkan AC	Luas (m ²)
Poliklinik	300
Kantor produksi	300
Kantor Logistik	3000
Ruang kontrol	300
Kantin & Perpustakaan	400
Laboratorium	400
Gedung Serbaguna	800
Masjid	400
Total	5.900

Maka jumlah kebutuhan pendingin ruangan (AC) dan listrik yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah AC yang dibutuhkan} &= 5.900 \text{ m}^2 / 22 \text{ m}^2/\text{buah} \\
 &= 269 \text{ buah} \\
 \text{Daya AC} &= 980 \text{ W/buah} \\
 \text{Total daya pendingin ruangan} &= 269 \text{ buah} \times 90 \text{ W/buah} \\
 &= 263.620 \text{ W} \approx 263,620 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

5. Kebutuhan Listrik untuk Peralatan Kantor

Listrik akan dialirkan juga ke peralatan penunjang kinerja di kantor seperti komputer, gawai, printer, monitor, hingga komputer server dan monitoring kontrol. Kebutuhan listrik kantor sebesar 35 kW

6. Kebutuhan Listrik untuk Laboratorium, Bengkel, dan Instrumentasi

Listrik untuk kebutuhan laboratorium diperkirakan sebesar 35 kW, bengkel (*workshop*) dan instrumentasi diperkirakan membutuhkan listrik sebesar 25 kW.

Sehingga dari kebutuhan listrik dapat ditotal dengan hasil kalkulasi sebagaimana ditunjukkan Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Kebutuhan Penerang Ruang Outdoor

No	Keterangan	Daya (kW)
1	Kebutuhan listrik proses	2.775,696
2	Kebutuhan listrik utilitas	703,941
3	Kebutuhan listrik pengolahan limbah	30,000
4	Kebutuhan listrik penerangan	365,844
5	Kebutuhan pendingin ruangan	263,620
6	Kebutuhan listrik peralatan kantor	35,000
7	Kebutuhan listrik laboratorium	25,000
8	Kebutuhan listrik instrumen dan bengkel	35,000
Total		4.234,100

Untuk faktor keamanan, maka tenaga listrik perlu ditingkatkan sebesar 10% sehingga total akhir kebutuhan listriknya menjadi:

$$\begin{aligned}
 \text{Total kebutuhan listrik} &= 4.234,100 \times 110\% \\
 &= 5.821,888 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

7. Kebutuhan Generator

Diketahui kebutuhan listrik pabrik sebesar 4.537,213 kW. Dengan menggunakan generator berefisiensi 80%, kapasitas input generator minimum yang diperlukan adalah:

$$\text{Input minimum} = \text{Kebutuhan listrik} \div \text{Efisiensi}$$

$$\begin{aligned}
 &= 5.821,888 \text{ kW} \div 0.8 \\
 &= 4.890,400 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Ditetapkan kapasitas input generator sebesar 6.113,000 kW (dibulatkan ke atas dan ditambah 5% kebutuhan 80% efisiensi), sehingga listrik tersedia aktual:

$$\begin{aligned}
 \text{Output aktual} &= \text{Kapasitas input} \times \text{Efisiensi} \\
 &= 6.113,000 \text{ kW} \times 0.8 \\
 &= 4.890,400 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Dengan demikian, listrik yang masih tersedia untuk keperluan lain:

$$\begin{aligned}
 \text{Listrik sisa} &= \text{Output aktual} - \text{Kebutuhan listrik} \\
 &= 4.890,400 \text{ kW} - 4.657,510 \text{ kW} \\
 &= 232,890 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Spesifikasi generator yang digunakan pada perancangan ini:

Tabel 4.15 Spesifikasi Generator (Kerone)

Parameter	Spesifikasi
Jenis bahan bakar :	High Speed Diesel
Heating value bahan bakar :	19.604 BTU/lb
Efisiensi generator :	80%
Kapasitas input generator :	6.113,000 kW
Listrik tersedia aktual :	4.890,400 kW

- Perhitungan Kebutuhan Bahan Bakar Generator**

Faktor konversi satuan: 1 kW = 3412.14 BTU/jam. Laju panas yang harus dipasok bahan bakar (heat input, Qf) berdasarkan kapasitas input generator yang ditetapkan:

$$\begin{aligned}
 Qf &= \text{Kapasitas input generator} \times \text{Faktor konversi} \\
 &= 6.113,000 \text{ kW} \times 3412.14 \text{ BTU/jam/kW} \\
 &= 20.858.411,820 \text{ BTU/jam}
 \end{aligned}$$

Kebutuhan bahan bakar untuk generator:

$$\begin{aligned}
 mf &= Qf \div \text{Heating value bahan bakar} \\
 &= 20.322.705,840 \text{ BTU/jam} \div 19.604,000 \text{ BTU/lb}
 \end{aligned}$$

$$= 1.063,988 \text{ lb/jam} \times 12 \text{ jam/bulan} \times 10 \text{ bulan/tahun}$$

$$= 124.399,342 \text{ lb/tahun}$$

- **Kebutuhan Bahan Bakar untuk Perawatan Generator Cadangan**

Setiap 2 minggu (14 hari) dilakukan pemanasan generator untuk perawatan selama 5 menit. Dalam 320 hari operasi:

$$\begin{aligned} \text{Jumlah perawatan} &= 320 \text{ hari} \div 14 \text{ hari/interval} \\ &= 23 \text{ kali/tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total waktu perawatan} &= 23 \text{ kali} \times 5 \text{ menit/kali} \\ &= 115 \text{ menit/tahun} \\ &= 1,917 \text{ jam/tahun} \end{aligned}$$

Kebutuhan bahan bakar untuk perawatan generator:

$$\begin{aligned} \text{BB perawatan} &= \text{Total jam perawatan} \times \text{mf} \\ &= 1,917 \text{ jam/tahun} \times 1.063,988 \text{ lb/jam} \\ &= 2.039,309 \text{ lb/tahun} \end{aligned}$$

Total Kebutuhan Bahan Bakar Generator per Tahun

$$\begin{aligned} \text{Total BB} &= \text{BB normal} + \text{BB perawatan} \\ &= 127.678,505 \text{ lb/tahun} + 2.039,309 \text{ lb/tahun} \\ &= 129.717,815 \text{ lb/tahun} \\ &= 67.630,992 \text{ liter/tahun} \end{aligned}$$

4.3 Unit Pengadaan Steam

Steam yang digunakan dalam pabrik *Soda Ash* dipakai untuk mensuplai kebutuhan panas pada beberapa *instrument*. Jenis *boiler* yang digunakan adalah *water tube boiler* dengan air umpan *boiler* melalui *tube* dan terjadi pembuatan *steam* pada bagian *tube* dengan menggunakan *steam*

- **Steam (T = 210°C, P = 1907.7 kPa)**

T	= 210,000	°C	T	= 483,150	K
P	= 1.907,700	kPa	P	= 18,828	atm
HV	= 2.796,200	kJ/kg	λs	= 453.742	kkal/kg
HL	= 897,700	kJ/kg			

Tabel 4.16 Kebutuhan Steam 210°C

Alat	Q Heat (kkal/jam)	Massa (kg/jam)	m ³ /jam
Evaporator (EV-301)	28.281.129,93	53.730,68	54,00
Reaktor Screw Kalsiner (R-203)	20.297.640,94	44.733,93	44,96
Jumlah	48.578.770,872	98.464,616	98,959

a. Menentukan Kebutuhan Steam

$$\begin{aligned}\text{Jumlah kebutuhan steam (210°C)} &= 98.464,616 \text{ kg/jam} \\ &= 217.077,062 \text{ lb/jam}\end{aligned}$$

Jumlah steam dilebihkan 10% untuk mengatasi terbentuknya uap air saat distribusi steam.

$$\begin{aligned}\text{Jumlah steam} &= 217.077,062 \text{ lb/jam} \times 110\% \\ &= 238.784,768 \text{ lb/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Blowdown} &= 238.784,768 \text{ lb/jam} \times 5\% \\ &= 11.939,238 \text{ lb/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Air umpan boiler} &= \text{jumlah steam} + \text{blowdown} \\ &= (238.784,768 + 11.939,238) \text{ lb/jam} \\ &= 250.724,006 \text{ lb/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kondensat yang kembali} &= 90\% \text{ dari steam yang dihasilkan} \\ &= 90\% \times 250.724,006 \text{ lb/jam} \\ &= 225.651,606 \text{ lb/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kondensat yang hilang} &= 10\% \text{ dari steam yang dihasilkan} \\ &= 10\% \times 250.724,006 \text{ lb/jam} \\ &= 25.072,401 \text{ lb/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Make-up water boiler} &= \text{kondensat yang hilang} + \text{blowdown} \\ &= (25.072,401 + 11.939,238) \text{ lb/jam} \\ &= 37.011,639 \text{ lb/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\% \text{make up water} &= \text{make-up water} \div \text{air umpan masuk} \times 100\% \\ &= 37.011,639 \div 250.724,006 \times 100\% \\ &= 14,76\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\% \text{make up kondensat} &= \text{kondensat kembali} \div \text{air umpan masuk} \times 100\% \\ &= 225.651,606 \div 250.724,006 \times 100\% \\ &= 90,00\%\end{aligned}$$

b. Menentukan Kapasitas Boiler

$$Q = m_s \times (h_v - h_f)$$

Keterangan:

Q = kapasitas boiler (BTU/jam)

m_s = massa steam (lb/jam)

h_f = entalpi air umpan boiler (BTU/lb)

h_v = entalpi steam yang dihasilkan (BTU/lb)

Pada perancangan pabrik, steam yang dihasilkan adalah saturated steam dengan temperatur 210°C dan tekanan 1907.7 kPa (18.828 atm). Kondensat kembali pada temperatur 210°C dan air make-up masuk pada temperatur 30°C, sehingga didapat:

Nilai H_f dan H_v dari (Smith and Van Ness, 2001):

$$h_L 30^\circ\text{C} = 54,041 \text{ BTU/lb}$$

$$h_L 210^\circ\text{C} = 385,942 \text{ BTU/lb}$$

$$h_v 210^\circ\text{C} = 1.202,151 \text{ BTU/lb}$$

$$\begin{aligned} h_f &= (0,15 \times h_L 30^\circ\text{C}) + (0,90 \times h_L 210^\circ\text{C}) \\ &= (0,15 \times 54,041 \text{ BTU/lb}) + (0,90 \times 385,942 \text{ BTU/lb}) \\ &= 355,454 \text{ BTU/lb} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q &= m_s \times (h_v - h_f) \\ &= 250.724,006 \text{ lb/jam} \times (1.202,151 - 355,458) \text{ BTU/lb} \\ &= 202.178.301,746 \text{ BTU/jam} \end{aligned}$$

Efisiensi boiler 90%, sehingga:

$$\begin{aligned} Q_{\text{aktual}} &= Q \div \text{Efisiensi} \\ &= 202.178.301,746 \div 0,9 \\ &= 224.642.557,496 \text{ BTU/jam} \end{aligned}$$

c. Menentukan Luas Perpindahan Panas

Boiler yang digunakan adalah water tube boiler dengan waste heat boiler, sehingga konversi panas menjadi daya (Severn, 1964):

$$\text{HP} = Q \div (970,3 \times 34,5)$$

$$\begin{aligned} \text{HP} &= 224.642.557,496 \div (970,3 \times 34,5) \\ &= 6.710,686 \text{ HP} \end{aligned}$$

Ditentukan luas bidang pemanasan adalah 10 ft²/HP, sehingga total heating surface adalah 2791 ft².

Spesifikasi Boiler (210°C)

Tabel 4.17 Spesifikasi Boiler Steam 210°C

Tipe	Water tube boiler
Jumlah	3 buah
Heat Surface	22369 ft ²
Tekanan	1907.70 kPa
Temperatur	483.15 °K

Boiler yang digunakan adalah boiler jenis water tube boiler karena mempunyai keuntungan menurut (Kern, 1988) sebagai berikut:

- Dapat dioperasikan pada tekanan tinggi (maks 250 bar)
- Overall Efficiency dapat mencapai 90% dengan menggunakan economizer
- Beban yang fluktuatif dapat dengan mudah ditangani
- Dapat digunakan untuk daya tinggi

Kebutuhan Bahan Bakar Boiler

1. Data Spesifikasi dan Operasi

Berdasarkan neraca panas dan data spesifikasi alat, diperoleh parameter sebagai berikut:

Kapasitas Aktual Boiler (Q aktual)	= 224.642.557,496 BTU/jam
Jenis Bahan Bakar	= Gas alam (GA) - operasional High Speed Diesel (HSD) - <i>kickstart</i>
Heating Value (HV) HSD	= 19.604 BTU/lb
Waktu Operasi HSD	= 320 hari
Frekuensi*Waktu <i>kickstart</i>	= 2 x 5 jam = 10 jam

2. Persamaan

Kebutuhan massa bahan bakar (m fuel) dihitung berdasarkan efisiensi termal yang sudah terakumulasi dalam kapasitas aktual, dengan membagi total kebutuhan panas aktual terhadap nilai kalor (Heating Value) bahan bakar. Kebutuhan tahunan dikalikan dengan total jam operasi selama satu tahun:

$$m_{\text{fuel}} = Q_{\text{aktual}} / HV$$

$$\text{Kebutuhan Tahunan} = m_{\text{fuel}} \times \text{Waktu Operasi Cadangan}$$

3. Langkah Perhitungan

A. Menghitung Laju Massa Bahan Bakar (lb/jam)

$$\begin{aligned} m_{GA} &= 224.642.557,496 \text{ BTU/jam} / 22.446,000 \text{ BTU/lb} \\ m_{GA} &= 10.008,133 \text{ lb/jam} \\ m_{HSD} &= 224.642.557,496 \text{ BTU/jam} / 19.604,000 \text{ BTU/lb} \\ m_{HSD} &= 11.459,016 \text{ lb/tahun} \end{aligned}$$

B. Konversi ke Satuan Metrik (kg/jam)

Menggunakan faktor konversi 1 lb = 0,453592 kg:

$$\begin{aligned} m_{GA} &= 10.008,133 \text{ lb/jam} \times 0,453592 \text{ kg/lb} \\ m_{GA} &= 4.539,609 \text{ kg/jam} \\ m_{HSD} &= 11.459,016 \text{ lb/jam} \times 0,453592 \text{ kg/lb} \\ m_{HSD} &= 5.197,718 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

C. Menghitung Kebutuhan Volumetrik (MMBTU/jam)

Densitas (ρ) gas alam pada temperatur standar operasi adalah sekitar $0,9 \text{ kg/m}^3$ dan Densitas (ρ) HSD pada temperatur standar operasi adalah sekitar $0,87 \text{ kg/liter}$ lalu dikonversi ke satuan MMBTU ($0,0366 \text{ MMBTU/m}^3$) untuk gas alam

$$\begin{aligned} V_{GA} &= 4.539,609 \text{ kg/jam} / 0,9 \text{ kg/m}^3 \\ V_{GA} &= 5.044,010 \text{ m}^3/\text{jam} \times 0,0366 \text{ MMBTU/m}^3 \\ V_{GA} &= 184,611 \text{ MMBTU/jam} \\ V_{HSD} &= 5.197,718 \text{ kg/jam} \times 0,87 \text{ kg/liter} \\ V_{HSD} &= 4.522,015 \text{ liter/jam} \end{aligned}$$

D. Menghitung Kebutuhan Tahunan

Untuk menghitung kebutuhan gas alam untuk keperluan bahan bakar boiler maka dalam waktu 1 jam akan dikalikan dengan waktu 24 jam (1 hari) selama 320 hari sedangkan untuk kickstart diasumsikan 2 kali setahun dengan waktu pemanasan 5 jam sebagaimana perhitungan berikut:

$$\begin{aligned} \text{Waktu} &= 24 \text{ jam/hari} \times 320 \text{ hari/tahun} = 7.680 \text{ jam/tahun} \\ \text{Volume GA Tahunan} &= 184,610772 \text{ kg/jam} \times 7.680 \text{ jam/tahun} \\ \text{Volume GA Tahunan} &= 1.417.810,729 \text{ MMBTU/tahun} \\ \text{Volume HSD Tahunan} &= 4.522,015 \text{ liter/jam} \times 10 \text{ jam/tahun} \\ \text{Volume HSD Tahunan} &= 45.220,148 \text{ liter/tahun} \end{aligned}$$

4.4 Unit Pengadaan Bahan Bakar

Unit pengadaan bahan bakar bertujuan untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar pada generator dan bahan bakar pada alat proses.

Bahan bakar yang digunakan pada *boiler* dan generator adalah High Speed Diesel (HSD) untuk generator dan *kickstart boiler* dan gas alam (*natural gas*) untuk penunjang operasional bahan bakar boiler. Dipilih HSD dikarenakan:

- Pemanasan cepat
- Nilai kalor tinggi
- Mudah didapatkan

Dipilih gas alam untuk bahan bakar pemanas boiler dikarenakan:

- Penggunaan lebih irit
- Nilai kalor tinggi
- Mudah didapatkan

Kebutuhan bahan bakar HSD untuk generator	= 67.630,992 liter/tahun
Kebutuhan bahan bakar HSD untuk boiler	= 45.220,148 liter/tahun
Total kebutuhan bahan bakar HSD	= 112.851,140 kg/tahun
Kebutuhan bahan bakar GA untuk boiler	= 1.417.810,729 MMBTU/tahun

4.5 Unit Pengadaan Udara Tekan

Sistem penyediaan udara terbagi menjadi dua kategori utama, yakni udara pabrik dan udara instrumen. Udara pabrik adalah udara bertekanan yang dikhususkan untuk mendukung jalannya proses produksi. Di sisi lain, udara instrumen merupakan udara bertekanan yang telah melalui proses pengeringan (penghilangan kadar air) agar tidak merusak perangkat alat. Secara umum, unit pengadaan udara tekan ini bertugas mengelola suplai udara untuk menggerakkan berbagai peralatan. Fungsinya sangat krusial sebagai penggerak alat-alat berbasis kontrol otomatis (*auto control*) yang menggunakan sistem mekanis pneumatik, seperti *auto valve*. Kebutuhan udara instrumen ini dipasok oleh dua unit kompresor *multistage* yang mampu memproduksi tekanan sebesar 6 atm dengan kapasitas 0,02 m³/menit. Udara yang dihasilkan tersebut kemudian disimpan di dalam *reservoir* sebelum disalurkan ke seluruh instrumen bersistem pneumatik. Adapun tahapan *pre-treatment* untuk menyiapkan udara instrumen ini dapat dilihat pada skema berikut:



Gambar 4.2 Diagram Alir Pengolahan Udara Tekan Pabrik Soda Ash

Proses penyediaan udara instrumen diawali dengan penyaringan udara melalui *intake filter* guna mencegah kontaminasi debu pada sistem. Udara bersih tersebut kemudian dialirkan ke kompresor untuk ditingkatkan tekanannya dari 1 bar menjadi 6 bar. Karena proses kompresi ini memicu lonjakan suhu, sebuah *aftercooler* dipasang setelah kompresor untuk mendinginkan udara sekaligus mengondensasikan uap air di dalamnya menjadi cairan. Selanjutnya, udara bertekanan disimpan di dalam *reservoir* agar alirannya tetap stabil sebelum disalurkan. Pengaturan tekanan catu sangat penting dalam tahap distribusi untuk memastikan setiap instrumen menerima pasokan udara yang akurat dan tidak melebihi spesifikasinya. Udara ini didistribusikan melalui jalur utama berupa pipa baja karbon galvanis *schedule 40* berukuran 2 inci, yang kemudian dicabangkan ke pipa 1 inci dengan spesifikasi material serupa. Sebagai pengaman, sistem ini juga dilengkapi dengan *pressure safety valve* untuk membuang kelebihan udara.

4.6 Laboratorium

4.6.1 Peranan Laboratorium

Laboratorium memegang peranan penting dalam menunjang kelancaran proses produksi dan menjaga mutu produk natrium karbonat. Selain itu, laboratorium juga berperan dalam pengendalian pencemaran lingkungan, baik udara maupun limbah cair. Secara garis besar, laboratorium bertugas melaksanakan pengamatan terhadap bahan baku, bahan pembantu, produk utama, dan produk samping agar spesifikasi yang diinginkan dapat terpenuhi. Data yang dihasilkan laboratorium digunakan untuk mengontrol proses produksi dan menjaga standar mutu sesuai spesifikasi yang diharapkan, serta menganalisis baku mutu limbah yang keluar dari unit pengolahan limbah Vendamawan, R. (2015).

Tugas utama laboratorium dalam pabrik natrium karbonat meliputi:

1. Mengontrol kualitas bahan baku (NaCl , NH_3 , dan CO_2) agar sesuai dengan persyaratan yang ditetapkan.
2. Mengontrol kualitas produk natrium karbonat (Na_2CO_3) agar memenuhi standar atau spesifikasi yang diinginkan.
3. Melakukan kontrol dan analisis terhadap jalannya proses produksi yang berkaitan dengan tingkat pencemaran lingkungan, meliputi polusi udara, limbah cair, dan limbah padat yang dihasilkan oleh unit-unit produksi.
4. Melakukan analisis dan kontrol terhadap mutu air, air pendingin, air umpan boiler, dan sarana penunjang lainnya yang berkaitan langsung dengan proses produksi.

Laboratorium kimia pada pabrik natrium karbonat terdiri atas tiga bagian, yaitu:

1. Laboratorium Pengamatan (*Quality Control*)

Laboratorium ini bertugas melakukan analisis secara fisika terhadap semua aliran (*stream*) yang berasal dari proses produksi serta menerbitkan *certificate of quality* untuk menjelaskan spesifikasi hasil pengamatan. Pemeriksaan dan pengamatan dilakukan terhadap bahan baku, produk antara (*intermediate*), dan produk akhir.

2. Laboratorium Analitika dan Gas

Laboratorium ini bertugas melakukan analisis sifat-sifat dan kandungan kimiawi terhadap bahan baku (NaCl, NH₃, CO₂), bahan penunjang, produk antara, dan produk akhir (Na₂CO₃). Selain itu, laboratorium ini juga menganalisis air atau gas yang digunakan sebagai bahan baku, termasuk kerak dan bahan kimia yang digunakan, misalnya zat aditif.

3. Laboratorium Penelitian, Pengembangan, dan Perlindungan Lingkungan

Laboratorium ini bertugas melakukan penelitian dan pengembangan terhadap permasalahan yang berkaitan dengan kualitas material dalam proses produksi untuk meningkatkan hasil akhir. Sifat pekerjaan laboratorium ini tidak rutin dan cenderung melakukan penelitian hal-hal baru untuk keperluan pengembangan. Laboratorium ini juga menganalisis limbah yang telah diolah melalui unit pengolahan limbah sebelum dibuang ke lingkungan

4.6.2 Program Laboratorium

Laboratorium pabrik natrium karbonat beroperasi selama 24 jam sehari dalam kelompok kerja shift dan non-shift dengan perincian sebagai berikut:

1. Kelompok *shift* bertugas memantau dan menganalisis proses produksi secara rutin. Setiap kelompok bekerja bergiliran selama 24 jam dengan masing-masing *shift* bekerja selama 8 jam.
2. Kelompok *non-shift* bertugas melakukan analisis khusus yang bersifat tidak rutin dan menyediakan reagen kimia yang diperlukan oleh laboratorium. Kelompok ini bekerja di laboratorium utama dengan tujuan membantu kelancaran dan meningkatkan kinerja kelompok *shift* melalui tugas-tugas berikut:
 - Menyediakan reagen kimia untuk analisis laboratorium.
 - Melakukan analisis bahan buangan yang menyebabkan polusi.
 - Melakukan penelitian atau percobaan untuk membantu kelancaran produksi.

Beberapa jenis analisis yang dilakukan laboratorium adalah sebagai berikut:

1. Analisis Mutu Bahan Baku

Analisis dilakukan terhadap bahan baku yang digunakan, yaitu NaCl, NH₃, dan CO₂. Analisis dilaksanakan pada saat bahan baku tiba di pabrik, sehingga pabrik dapat menolak bahan baku yang akan dibeli apabila hasil analisis tidak memenuhi syarat.

2. Analisis Mutu Produksi Antara dan Produk Komersial

Analisis dilakukan setiap 4 jam sekali untuk mengetahui kemurnian natrium karbonat (Na₂CO₃), meliputi kandungan Na₂CO₃ dan kandungan air dengan metode titrasi Karl Fisher.

3. Analisis Utilitas

Analisis laboratorium dilakukan terhadap beberapa jenis air yang digunakan dalam pabrik, antara lain:

- Air proses penjernihan: dianalisis pH, kadar silikat (SiO₂), kesadahan (CaCO₃), kadar sulfat (SO₄²⁻), kadar klorida (Cl⁻), dan zat padat terlarut.
- Resin penukar anion: dianalisis kesadahan (CaCO₃) dan kadar silikat (SiO₂).
- Air bebas mineral: dianalisis pH, kesadahan, kadar oksigen terlarut, dan kadar Fe.
- Air dalam boiler: dianalisis pH, zat padat terlarut, kadar Fe, O₂, CaCO₃, dan SiO₂.
- Air minum: dianalisis pH, klor sisa, dan kekeruhan.
- Air buangan: dianalisis pH, kekeruhan, COD, BOD, dan kandungan logam Fe.

4.6.3 Alat-Alat Laboratorium

Alat-alat laboratorium yang dibutuhkan dalam pabrik natrium karbonat antara lain:

1. Viskometer untuk mengukur tingkat viskositas.
2. pH meter untuk mengetahui tingkat keasaman dan kebasaan air, bahan baku, serta produk.
3. Turbidimeter untuk mengukur tingkat kekeruhan air.
4. BOD meter untuk mengukur kadar BOD dalam air.
5. Hidrometer untuk mengukur berat jenis (*specific gravity*).
6. Termometer untuk mengukur suhu atau perubahan suhu.
7. Spektrofotometer untuk mengetahui konsentrasi suatu sampel.
8. Kromatografi gas untuk menentukan komposisi suatu sampel.

4.7 Unit Pengadaan Limbah

4.7.1 Unit Pengolahan limbah

Unit pengolahan limbah bertujuan untuk mengurangi pencemaran dalam limbah sehingga aman untuk dibuang serta sebagai usaha untuk memenuhi baku mutu limbah yang ditetapkan oleh pemerintah menurut Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup tentang baku mutu

limbah. Limbah yang dihasilkan oleh pabrik *Soda Ash* antara lain limbah buangan proses, air berminyak dari pompa, dan limbah air buangan sanitasi. Limbah yang dihasilkan oleh pabrik *Soda Ash* antara lain sebagai berikut :

1. Limbah cair
 - Buangan air sanitasi
 - *Backwash filter* air berminyak dari pompa
 - Limbah cair proses
2. Limbah Padat

Limbah padat yang dihasilkan oleh pabrik *Soda Ash* ini tidak berasal dari keberlangsungan proses, melainkan dari kantin dan kantor. Limbah sisa makanan dari kantin dan kertas kantor ini tidak diolah namun langsung dibuang ke TPA.

4.7.2 Unit Pengendali Pencemaran Air dan Udara

Unit pengendali pencemaran air dan udara berfungsi untuk mencegah terjadinya pencemaran lingkungan akibat kegiatan produksi. Faktor utama yang harus diperhatikan dalam pengendalian pencemaran ialah karakteristik dari pencemar dan hal tersebut bergantung pada jenis dan konsentrasi senyawa yang dibebaskan ke lingkungan, kondisi geografik sumber pencemar, dan kondisi meteorologis lingkungan.

4.7.3 Pencemaran lingkungan

Limbah menurut UU 32 tahun 2009 adalah:

- Sisa suatu usaha dan atau kegiatan
- Masuknya zat asing ke lingkungan dalam jumlah yang berlebihan sehingga menurunkan kualitas lingkungan

Agar tidak terjadi pencemaran, maka dilakukan treatment terhadap limbah yang merusak lingkungan tersebut untuk menghindari munculnya polutan/cemaran/limbah.

4.7.4 Pengolahan Limbah Gas

Untuk menghindari pencemaran udara dari limbah buangan gas, maka dilakukan proses pengolahan limbah dengan menggunakan *catalytic incinerator*. Pada *catalytic incinerator* ini semua polutan organik dibakar hingga hanya menghasilkan CO₂ dan H₂O. *Incinerator* ini menggunakan *palladium* dan *platinum* sebagai katalis. Dengan adanya katalis ini, polutan organik akan terbakar dengan penambahan oksigen ke dalam *incinerator* sehingga tidak membutuhkan bahan bakar tambahan. Katalis palladium ditempatkan pada bagian atas bed yang berfungsi untuk menginisiasi reaksi oksidasi pada suhu yang lebih rendah dari bed kedua. Sedangkan platinum ditempatkan pada bagian bawah yang merupakan tempat berlangsungnya reaksi oksidasi (Manual Operating Book, KTIB V BOC Gasses Indonesia).

Sistem pengolahan limbah gas yang dirancang pada perancangan pabrik *Soda Ash* secara umum terdiri dari:

a. *Steam Turbine Generator*

Steam Turbine Generator merupakan instrumen yang terdapat pada sistem pengolahan limbah yang berasal dari produk atas evaporator terakhir berupa *steam*. Steam dapat dimanfaatkan sebagai penggerak turbin yang bisa dikonversi menjadi tenaga listrik.

b. *Gas Absorber*

Gas keluaran waste evaporator yang berupa CO_2 dan NH_3 akan diserap oleh keluaran *purging mother liquor* centrifuge berupa dominan NH_4Cl (aq); H_2O (l); NaCl (aq); NaHCO_3 (aq) kemudian akan diproses absorb kristalisasi pendinginan di kristalizer agar membentuk Kristal NH_4Cl dengan spesifikasi lebih rendah dari produk namun masih tetap masih bisa dipasarkan. Untuk uap air yang dikondensasi akan diolah kembali agar dapat digunakan kembali dalam proses produksi *Soda Ash*.

c. *Chimney*

Chimney adalah bangunan yang menyediakan ventilasi untuk gas buang panas dari unit *Heat exchanger*. *Chimney* berbentuk vertical untuk memastikan gas mengalir dengan baik serta suhu gas mengalir dengan baik serta suhu gas buang direndahkan sampai serendah mungkin untuk mencegah pembentukan NO_x . Keluaran *chimney* berupa N_2 , CO_2 , H_2O dan O_2 .

4.7.5 Pengolahan Limbah Cair

Secara umum, apabila air limbah yang berasal dari setiap kegiatan pabrik *Soda Ash* belum memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan oleh pemerintah harus diolah agar dapat dibuang ke lingkungan. Adapun parameter baku mutu limbah cair yang telah ditentukan oleh peraturan pemerintah, yaitu:

Tabel 4.18 Parameter Limbah Cair (Kementerian Lingkungan Hidup, 2014)

Parameter	Nilai
COD	Maks. 100 mg/liter
BOD	Maks. 20 mg/liter
TSS	Maks. 80 mg/liter
Oil	Maks 5 mg/liter
Ph	6,5-8,5

Limbah cair yang dihasilkan oleh pabrik *Soda Ash* dialirkan menuju *Waste Water Treatment Plant* (WWTP).

a. Limbah Sanitasi

Limbah sanitasi merupakan limbah hasil pembuangan air yang sudah terpakai untuk keperluan kantor dan pabrik seperti pencucian dan kebutuhan sanitasi lainnya. Penangan limbah ini tidak memerlukan perlakuan khusus karena karakteristik limbah sanitasi di pabrik sama seperti limbah sanitasi rumah tangga pada umumnya. Yang perlu diperhatikan adalah volume limbah buangan yang diijinkan dan kemana limbah sanitasi ini dibuang. Limbah sanitasi juga dapat dimanfaatkan sebagai air untuk menyiram tanaman yang ada di lingkungan pabrik.

b. Air berminyak dari pompa

Air berminyak berasal dari buangan pelumas pada pompa dan alat - alat lainnya yang memakai sistem pelumasan. Perlakuan limbah air yang mengandung minyak dapat dilakukan dengan proses pemisahan berdasarkan perbedaan berat jenis antara minyak dan air, minyak di bagian atas akan dialirkan ke tungku pembakaran sedangkan air di bagian bawah dialirkan ke penampungan akhir dan selanjutnya dialirkan menuju ke WWTP.

c. Air sisa dari unit demineralisasi dan regenerasi resin

Air sisa dari unit demineralisasi dan regenerasi resin mengandung CH_3OH dan H_2SO_4 , yang kemudian dinetralkan dalam kolam netralisasi. Netralisasi dilakukan dengan larutan H_2SO_4 , apabila pH larutan bersifat basa sedangkan jika pH larutan bersifat asam maka akan dinetralkan menggunakan NaOH .

d. Air limbah dari laboratorium dan limbah cair proses

Limbah hasil proses yang dihasilkan antara lain berasal dari produk cair dari *cooler*. Limbah cair juga dapat keluar akibat kebocoran pada pompa selama proses berlangsung.

4.7.6 Pengolahan Limbah Padat

Limbah padat berupa *sludge* yang dihasilkan dari unit pengolahan air dan juga kegiatan domestik (rumah tangga). Limbah padat dari unit pengolahan air akan dikurangi kadar airnya sehingga dapat dijadikan sebagai pupuk. Limbah rumah tangga selanjutnya akan dibuang ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA).

4.7.7 Unit Pengolahan Limbah B3

Tujuan pengelolaan B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) adalah untuk mencegah dan menanggulangi pencemaran atau kerusakan lingkungan hidup yang diakibatkan oleh limbah B3 serta melakukan pemulihan kualitas lingkungan yang sudah tercemar sehingga sesuai dengan fungsinya kembali. Pengelolaan Limbah B3 merupakan salah satu rangkaian kegiatan yang mencakup penyimpanan, pengumpulan, pemanfaatan, pengangkutan, dan pengolahan limbah B3 termasuk penimbunan hasil pengolahan tersebut. Upaya pengelolaan limbah B3 dapat dilakukan melalui tahapan sebagai berikut:

1. Reduksi limbah dengan mengoptimalkan penyimpanan bahan baku dalam proses kegiatan atau *housekeeping*, substitusi bahan, modifikasi proses, maupun upaya reduksi lainnya.
2. Kegiatan pengemasan dilakukan dengan memberikan simbol atau pelabelan yang menunjukkan karakteristik dan jenis limbah B3 berdasarkan acuan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 14/2013 tentang Simbol B3
3. Penyimpanan dapat dilakukan ditempat yang sesuai dengan persyaratan yang berlaku mengacu pada Peraturan Pemerintah Nomor VI/2014 tentang pengelolaan limbah B3.
4. Pengumpulan dapat dilakukan dengan memenuhi persyaratan pada ketentuan Peraturan Pemerintah Nomor 101/2014 tentang Pengelolaan Limbah B3 yang menitikberatkan pada ketentuan tentang karakteristik limbah, fasilitas laboratorium, perlengkapan penanggulangan kecelakaan, maupun lokasi.
5. Kegiatan pengangkutan perlu dilengkapi dengan dokumen pengangkutan dan ketentuan teknis pengangkutan.
6. Upaya pemanfaatan dapat dilakukan melalui kegiatan daur ulang (*recycle*), perolehan kembali (*recovery*) dan penggunaan kembali (*reuse*) limbah B3 yang dihasilkan ataupun bentuk pemanfaatan lainnya.
7. Pengolahan limbah B3 dapat dilakukan dengan cara termal, stabilisasi, solidifikasi secara fisika, kimia, maupun biologi dengan cara teknologi bersih atau ramah lingkungan.
8. Kegiatan penimbunan limbah B3 wajib memenuhi persyaratan dalam Peraturan Pemerintah Nomor 101/2014 tentang Pengelolaan Lambah B3.

Limbah B3 yang dihasilkan akan dikirim ke pihak ketiga (contohnya PT Prasadha Pamunah Limbah Industri (PPLI)) karena untuk pengelolaan limbah B3 (pengumpulan, pemanfaatan, pengolahan, penimbunan, dan *dumping* limbah B3) dan pembuangan limbah B3 harus memiliki perizinan yang dikeluarkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup sesuai peraturan yang berlaku sehingga pabrik tidak dapat mengelola limbah B3 secara mandiri.

4.8 Keselamatan Kerja dan Lingkungan Hidup

Kesehatan, Keselamatan Kerja, dan Lingkungan Hidup (K3LH) merupakan upaya perlindungan agar tenaga kerja selalu dalam keadaan selamat dan sehat selama melakukan pekerjaannya di tempat kerja, termasuk juga orang lain yang memasuki area pabrik serta menjamin proses produksi berjalan dengan aman. Oleh karena itu, aspek ini harus diperhatikan secara serius dan terpadu (Pratama, F.A. dkk., 2026).

Pabrik natrium karbonat menerapkan kebijakan K3LH yang komprehensif dengan tujuan:

- a) Mengendalikan semua risiko dan potensi kecelakaan yang dapat menimbulkan cedera dan kerusakan.
- b) Mencegah terjadinya kecelakaan kerja.
- c) Menghindari kerugian harta dan benda.
- d) Menghindari kerugian bagi perusahaan.

Kebijakan perusahaan dalam implementasi K3LH meliputi:

- a) Peningkatan berkelanjutan dalam bidang keselamatan dan kesehatan kerja.
- b) Kepatuhan terhadap peraturan dan perundangan keselamatan dan kesehatan kerja yang berlaku.
- c) Sosialisasi kepada seluruh karyawan agar sadar dan mawas diri mengenai kewajiban keselamatan dan kesehatan pribadi.
- d) Keterbukaan informasi bagi pihak-pihak yang berkepentingan serta evaluasi berkala untuk menjaga relevansi kebijakan.
- e) Perencanaan yang terdokumentasi untuk identifikasi bahaya, penilaian, dan pengendalian risiko, serta pembaruan sesuai dengan perkembangan keadaan.

Pelaksanaan K3LH di pabrik natrium karbonat berlandaskan pada peraturan perundang-undangan berikut:

1. Undang-Undang No. 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja.
2. Undang-Undang No. 2 Tahun 1951 tentang Ganti Rugi Akibat Kecelakaan Kerja.
3. Peraturan Pemerintah No. 4 Tahun 1982 tentang Ketentuan Pokok Pengelolaan Lingkungan Hidup.
4. Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL).

Kegiatan yang dilakukan dalam rangka menciptakan K3LH antara lain mengawasi keselamatan jalannya produksi, bertanggung jawab terhadap alat-alat keselamatan kerja, bertindak sebagai instruktur keselamatan, membuat rencana kerja pencegahan kecelakaan, menyusun prosedur darurat penanggulangan kebakaran dan kecelakaan proses, serta mengawasi kuantitas dan kualitas bahan buangan pabrik agar tidak berbahaya bagi lingkungan.

Hal-hal yang perlu dipertimbangkan dalam perancangan pabrik untuk menjamin keselamatan kerja adalah sebagai berikut:

- Penanganan dan pengangkutan bahan dengan tenaga manusia harus diminimalkan.
- Tersedia penerangan yang cukup dan sistem pertukaran udara yang baik.
- Jarak antar mesin dan peralatan lain cukup luas.

- Setiap ruang gerak harus aman dan tidak licin.
- Setiap mesin dan peralatan dilengkapi dengan alat pencegah kebakaran.
- Tanda-tanda pengaman dipasang pada setiap tempat yang berbahaya.
- Penyediaan fasilitas pengungsian apabila terjadi kebakaran.

4.9 Instrumentasi

4.9.1 Peranan Instrumentasi dalam Pabrik

Sistem instrumentasi dan kendali proses merupakan komponen vital dalam operasional pabrik natrium karbonat. Instrumentasi berfungsi untuk memantau, mengukur, dan mengendalikan berbagai variabel proses seperti suhu, tekanan, laju alir, dan level cairan agar proses produksi berjalan sesuai dengan kondisi operasi yang telah ditetapkan. Dengan adanya sistem instrumentasi yang handal, pabrik dapat beroperasi secara efisien, aman, dan menghasilkan produk dengan kualitas yang konsisten.

4.9.2 Peranan Instrumentasi dalam Pabrik

Berdasarkan diagram alir proses (PFD) pabrik natrium karbonat, beberapa instrumen utama yang digunakan dalam sistem kendali proses adalah sebagai berikut:

A. Pengendali Laju Alir (*Flow Controller* - FC)

Instrumen ini digunakan untuk mengatur laju alir bahan baku dan produk antara. Pada PFD, *Flow Controller* (FC) dipasang pada jalur umpan NaCl, NH₃, dan CO₂ untuk memastikan rasio umpan yang tepat sesuai dengan kebutuhan reaksi. *Flow Transmitter* (FT) mengirimkan sinyal laju alir aktual ke *Flow Controller* yang kemudian mengatur bukaan *control valve* untuk mempertahankan laju alir pada nilai *set point* yang diinginkan.

B. Pengendali Tekanan (*Pressure Controller* - PC)

Pengendali tekanan digunakan untuk menjaga tekanan operasi pada berbagai unit proses, seperti pada absorber (R-201) dan Reaktor Screw Kalsiner (R-203). *Pressure Transmitter* (PT) mengukur tekanan aktual dan mengirimkan sinyal ke *Pressure Controller* (PC) yang kemudian mengatur *control valve* untuk mempertahankan tekanan sesuai dengan kondisi operasi yang dibutuhkan.

C. Pengendali Level (*Level Controller* - LC)

Pengendali level digunakan untuk menjaga ketinggian cairan dalam tangki penyimpanan dan unit proses seperti tangki amonia (F-102), *Level Transmitter* (LT) mengukur ketinggian cairan dan mengirimkan sinyal ke *Level Controller* (LC) yang kemudian mengatur *control valve* pada jalur keluar untuk mempertahankan level pada nilai yang diinginkan.

D. Pengendali Rasio (*Ratio Controller* - RS)

Ratio Controller digunakan untuk menjaga perbandingan laju alir antara dua atau lebih aliran umpan. Pada proses karbonasi, rasio antara NH_3 dan CO_2 harus dijaga agar reaksi berlangsung optimal. *Ratio Controller* menerima sinyal dari *Flow Transmitter* pada aliran utama dan mengatur laju alir aliran lainnya secara proporsional.

4.9.3 Peranan Instrumentasi dalam Pabrik

Berdasarkan PFD yang disertakan, berikut adalah elemen instrumentasi pada masing-masing unit proses utama:

A. Unit Pelarutan Garam (*Dissolver Tank* - D-101)

Pada tangki pelarut, instrumentasi yang digunakan meliputi:

- *Level Transmitter* (LT) dan *Level Controller* (LC) untuk mengontrol ketinggian larutan garam.
- *Flow Transmitter* (FT) pada jalur umpan air dan garam untuk mengontrol laju alir.

B. Unit Absorpsi (R-201)

Absorber merupakan unit kunci dalam proses *Dual Process* dimana NH_3 dan CO_2 diserap ke dalam larutan garam. Instrumentasi pada unit ini meliputi:

- *Pressure Transmitter* (PT) dan *Pressure Controller* (PC) untuk menjaga tekanan operasi pada 4 atm.
- *Temperature Indicator* (TI) untuk memantau suhu operasi pada 30°C .
- *Level Transmitter* (LT) dan *Level Controller* (LC) untuk mengontrol level larutan dalam absorber.
- *Flow Controller* (FC) pada jalur umpan gas CO_2 dan NH_3 untuk mengatur laju alir sesuai rasio yang diinginkan.

C. Unit Filtrasi (*Rotary Drum Vacuum Filter* - F-102)

Pada unit filtrasi, instrumentasi yang digunakan meliputi:

- *Pressure Indicator* (PI) untuk memantau tekanan operasi.
- *Flow Transmitter* (FT) pada jalur filtrat untuk memantau laju alir produk.

D. Unit Kalsinasi (*Reaktor Screw Kalsiner* - R-203)

Reaktor Screw Kalsiner kalsinasi beroperasi pada suhu tinggi (200°C) dan memerlukan pengendalian yang ketat:

- *Temperature Controller* (TC) dengan *Temperature Transmitter* (TT) untuk menjaga suhu kalsinasi pada 200°C .
- *Pressure Transmitter* (PT) dan *Pressure Controller* (PC) untuk menjaga tekanan operasi pada 1 atm.

- *Flow Controller* (FC) pada jalur umpan Natrium bikarbonat dan jalur bahan bakar.
- E. Unit Kristalisasi (CR-301) dan Sentrifugasi (CF-301)
- Pada unit kristalisasi dan sentrifugasi, instrumentasi yang digunakan meliputi:
- *Temperature Indicator* (TI) untuk memantau suhu kristalisasi.
 - *Level Transmitter* (LT) dan *Level Controller* (LC) pada tangki kristalisasi.
 - *Flow Transmitter* (FT) pada jalur umpan dan produk.
- F. Unit Pengeringan dan Pendinginan (*Cooling Conveyor* - SC-401 dan SC-402)
- Pada unit ini, instrumentasi yang digunakan meliputi:
- *Temperature Transmitter* (TT) dan *Temperature Controller* (TC) untuk mengontrol suhu pendinginan.
 - *Flow Transmitter* (FT) pada jalur air pendingin untuk mengontrol laju alir.

4.9.4 Sistem Kendali Terdistribusi (*Distributed Control System* - DCS)

Pabrik natrium karbonat modern umumnya dilengkapi dengan sistem kendali terdistribusi (DCS) yang memungkinkan pengendalian proses secara terpusat dari ruang kendali. DCS mengintegrasikan seluruh instrumen pengukuran dan kendali yang tersebar di seluruh unit proses, sehingga operator dapat memantau dan mengendalikan seluruh variabel proses secara real-time (Timmerhaus, 2004).

Keunggulan penerapan DCS dalam pabrik natrium karbonat antara lain:

- a. Peningkatan akurasi dan stabilitas kendali proses.
- b. Deteksi dini terhadap penyimpangan kondisi operasi.
- c. Pengurangan risiko kesalahan manusia (*human error*).
- d. Optimalisasi penggunaan energi dan bahan baku.
- e. Peningkatan keselamatan operasi melalui sistem alarm dan *interlock*.

4.9.5 Udara Instrumentasi

Sistem instrumentasi di pabrik natrium karbonat memerlukan pasokan udara tekan yang bersih dan kering (*instrument air*) untuk menggerakkan peralatan pneumatik seperti control valve dan transmitter. Udara instrumentasi disediakan melalui unit kompresor yang dilengkapi dengan sistem pengering dan filter untuk menghilangkan kandungan air dan partikel pengotor. Udara instrumentasi juga digunakan di laboratorium untuk mengeringkan peralatan laboratorium. Kebutuhan udara instrumentasi dihitung berdasarkan jumlah control valve dan peralatan pneumatik yang digunakan dalam pabrik.

4.9.6 Pemeliharaan dan Kalibrasi Instrumentasi

Pemeliharaan dan kalibrasi instrumentasi secara berkala sangat penting untuk menjamin keakuratan pengukuran dan keandalan sistem kendali. Program pemeliharaan meliputi:

- a. Pemeriksaan rutin terhadap seluruh instrumen pengukuran dan kendali.
- b. Kalibrasi periodik terhadap *transmitter* dan *controller* sesuai dengan standar yang berlaku.
- c. Penggantian komponen yang sudah aus atau rusak.
- d. Pembaruan perangkat lunak sistem kendali sesuai dengan kebutuhan operasi.

Dengan pemeliharaan yang terencana dan sistematis, sistem instrumentasi dapat berfungsi secara optimal dan mendukung kelancaran operasional pabrik natrium karbonat secara berkelanjutan.