

BAB IV

UNIT PENDUKUNG PROSES

4.1 Pengadaan dan Pengolahan Air

Dalam kegiatan operasional pabrik pektin, air merupakan salah satu utilitas utama yang digunakan sebagai pelarut dalam proses ekstraksi, bahan baku pembentukan steam, media pendingin, serta untuk memenuhi kebutuhan domestik dan laboratorium. Air baku direncanakan berasal dari sungai yang berada di sekitar lokasi pabrik. Sebelum digunakan, air tersebut terlebih dahulu diolah melalui unit pengolahan air, kemudian didistribusikan ke setiap unit sesuai dengan kebutuhan masing-masing.

4.1.1 Kebutuhan Air Proses

Pada proses ekstraksi pektin dari kulit jeruk yang berlangsung di Tangki Ekstraktor (EX), air proses digunakan sebagai media pelarut untuk menghasilkan larutan asam sitrat dengan konsentrasi rendah. Rasio massa antara kulit jeruk dan larutan pelarut yang digunakan ditetapkan sebesar 1:20, dengan target konsentrasi akhir asam sitrat dalam larutan ekstraksi sebesar 0,73%. Mengingat asam sitrat komersial yang digunakan memiliki konsentrasi sebesar 37%, maka diperlukan penambahan sejumlah air untuk proses pengenceran hingga mencapai konsentrasi asam sitrat yang sesuai dengan kebutuhan proses. Perhitungan kebutuhan air pengencer dilakukan sebagai berikut.

Air proses = Total larutan pelarut – Asam sitrat 37% yang diencerkan

Air proses = 47.962,12 kg/jam – 946,28 kg/jam

Air proses = 47.015,84 kg/jam

Sehingga air proses yang dibutuhkan pabrik pektin ini adalah 47.015,84 kg/jam.

4.1.2 Kebutuhan Air Pendingin

Kebutuhan air pendingin digunakan pada peralatan perpindahan panas, seperti kondensor dan *cooler*, yang berfungsi untuk mengubah uap hasil proses pemekatan dan pemurnian pektin menjadi fase cair serta menurunkan temperatur larutan pektin yang telah

dikonsentrasikan. Pemilihan air sebagai media pendingin didasarkan pada beberapa keunggulan, yaitu biaya yang relatif rendah, ketersediaan yang melimpah, kapasitas panas yang tinggi, serta kemudahan dalam pengaturan temperatur. Air pendingin dialirkan ke unit proses dengan temperatur awal 28°C, kemudian setelah menyerap panas dari proses akan dikembalikan menuju cooling tower dengan temperatur sekitar 30–70°C, tergantung pada kebutuhan masing-masing unit. Untuk menjaga kinerja dan umur pakai peralatan penukar panas, kualitas air pendingin harus memenuhi standar tertentu agar dapat mencegah terjadinya korosi, pembentukan kerak (*scaling*), maupun pertumbuhan mikroorganisme (*biofouling*) pada permukaan peralatan. Spesifikasi mutu air pendingin yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Spesifikasi Cooling Water (ISO 22449-1-2:2020)

Parameter	Satuan	Nilai Standar
Fecal coliform	CFU/100 mL	≤ 200
Chloride	mg/L	≤ 300 (stainless steel) / ≤ 1.000 (logam lain)
Residual chlorine	mg/L	0,1 – 0,2
Conductivity	$\mu\text{S/cm}$	≤ 3.000
TDS	mg/L	≤ 5.000
TSS	mg/L	≤ 100
COD _{Cr}	mg/L	≤ 30
BOD ₅	mg/L	≤ 10
Alkalinity (CaCO ₃)	mg/L	100 – 500
Total hardness (CaCO ₃)	mg/L	≤ 250
pH	-	6,5 – 9

Nilai pH air pendingin yang tidak berada dalam batas operasi yang ditentukan dapat meningkatkan potensi terjadinya korosi maupun pembentukan endapan kerak pada permukaan logam. Kandungan ion kalsium memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap kecenderungan terbentuknya scaling dibandingkan ion magnesium. Sementara itu, tingginya kandungan senyawa organik yang ditunjukkan oleh parameter BOD dan COD mengindikasikan perlunya penggunaan biosida pengoksidasi untuk menghambat pertumbuhan mikroorganisme penyebab *biofouling*. Selain itu, konsentrasi klorin sisa dan ion klorida harus dikendalikan pada tingkat rendah untuk mengurangi risiko korosi pada material peralatan. Penentuan kebutuhan air

pendingin pada masing-masing unit proses dilakukan berdasarkan perhitungan neraca panas dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q_w = Q_{\text{keluar}} - Q_{\text{masuk}}$$

$$\dot{m}_{cw} = Q_w / (C_p \times \Delta T)$$

Kebutuhan air pendingin dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2 Kebutuhan Air Pendingin per Unit Proses

Unit	Fungsi	Kebutuhan Air Pendingin (kg/jam)
Kondensor (CN-01)	Kondensasi uap keluar Vaporizer	85.331,77
Cooler (C-01)	Pendinginan larutan pektin pekat	46.343,96
Kondensor (CN-02)	Kondensasi uap keluar Tangki Destilasi	1.938,09
Kondensor (CN-03)	Kondensasi uap keluar Rotary Dryer	29,21
Total		133.643,04

Total kebutuhan air pendingin pabrik pektin ini, sesuai Tabel 4.2, adalah 133.643,04 kg/jam. Sebagian air pendingin yang telah dipakai dapat disirkulasikan kembali setelah didinginkan pada *cooling tower*, dengan mempertimbangkan kehilangan air (*water loss*) sebesar 20% dari total sirkulasi akibat evaporasi, *drift*, dan *blowdown*.

$$\text{Water loss} = 20\% \times 133.643,04 \text{ kg/jam} = 26.728,61 \text{ kg/jam}$$

Air pendingin bekas yang dapat disirkulasikan kembali

$$= 133.643,04 - 26.728,61$$

$$= 106.914,43 \text{ kg/jam}$$

4.1.3 Kebutuhan Air Umpan Boiler

Sebelum dialirkan menuju boiler sebagai air umpan, air perlu melalui proses pengolahan terlebih dahulu agar kandungan zat-zat yang dapat menyebabkan pembentukan kerak, korosi, maupun pembusaan (*foaming*) dapat diminimalkan. Kualitas air umpan boiler harus memenuhi standar spesifikasi yang telah ditetapkan sebagaimana tercantum pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Baku Mutu Air Umpan Boiler (SNI 7268:2009)

Parameter	Satuan	Nilai Standar
Daya hantar listrik	$\mu\text{S/cm}$	Sangat rendah
Tembaga (Cu)	mg/L	Maks. 0,05
Besi (Fe)	mg/L	Maks. 0,3
Oksigen terlarut (O_2)	mg/L	≈ 0
Minyak & lemak	mg/L	≈ 0
Kesadahan (CaCO_3)	mg/L	Maks. 1 (0 untuk tekanan tinggi)
pH (25°C)	-	7 – 9 (8 – 9,5 untuk tekanan tinggi)

Steam digunakan sebagai sumber panas secara langsung pada beberapa peralatan proses, yaitu Tangki Ekstraktor (EX), Vaporizer (V), dan Tangki Destilasi (TD), serta dimanfaatkan untuk memanaskan udara pengering pada *Rotary Dryer* (RD). Kebutuhan steam untuk setiap unit proses ditentukan berdasarkan perhitungan neraca energi atau neraca panas dengan mengacu pada metode perhitungan neraca energi evaporator yang dikemukakan oleh Geankoplis (1997). Data sifat *steam* yang digunakan mengacu pada tabel steam superheated pada kondisi 150°C dan tekanan 1 atm serta steam saturated pada kondisi 100°C dan tekanan 1 atm (John Wiley & Sons, 2004). Perhitungan kebutuhan steam dilakukan menggunakan persamaan berikut:

$$Q_{\text{steam}} = Q_{\text{keluar}} - Q_{\text{masuk}}$$

$$\dot{m}_{\text{steam}} = Q_{\text{steam}} / (H_v - H_1)$$

dengan H_v (entalpi superheated steam 150°C, 1 atm) = 663,58 kkal/kg dan H_1 (entalpi saturated steam/kondensat 100°C, 1 atm) = 100,15 kkal/kg, sehingga $(H_v - H_1) = 563,43$ kkal/kg.

Kebutuhan steam per Unit proses dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.4 Kebutuhan Steam per Unit Proses

Unit	Q_{steam} (kkal/jam)	λ efektif (kkal/kg)	Kebutuhan Steam (kg/jam)
Tangki Ekstraktor (EX)	2.445.734,96	563,43	4.340,82
Vaporizer (V)	1.433.904,52	563,43	2.544,97
Tangki Destilasi (TD)	1.320.582,50	563,43	2.343,84
Rotary Dryer (RD)	12.772,31	563,43	22,67
Total			9.252,29

Guna mengantisipasi kebocoran dan kehilangan panas pada jaringan distribusi steam, ditambahkan faktor keamanan 20% terhadap total kebutuhan steam proses (Perry & Green, 1997), sehingga total steam yang wajib dipenuhi boiler menjadi:

$$\text{Total steam boiler} = (1 + 20\%) \times 9.252,29 \text{ kg/jam} = 11.102,75 \text{ kg/jam}$$

Diasumsikan 80% kondensat steam dapat dimanfaatkan kembali sebagai air umpan boiler, sementara 20% sisanya perlu dipenuhi dari air umpan boiler segar (make-up).

$$\text{Kondensat recycle} = 80\% \times 11.102,75 \text{ kg/jam} = 8.882,20 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Air umpan boiler tambahan (make-up)} = 20\% \times 11.102,75 \text{ kg/jam} = 2.220,55 \text{ kg/jam}$$

Dengan demikian, total air umpan boiler yang harus disediakan (gabungan kondensat recycle dan make-up) adalah 11.102,75 kg/jam.

4.1.4 Kebutuhan Air Sanitasi

Dalam menunjang kegiatan operasional non-proses, pabrik menyediakan fasilitas air sanitasi yang digunakan untuk berbagai keperluan, seperti menjaga kebersihan area kerja, memenuhi kebutuhan karyawan di lingkungan perkantoran, serta mendukung aktivitas domestik. Kualitas air sanitasi yang digunakan harus memenuhi standar kesehatan yang berlaku berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023. Parameter mutu air sanitasi yang menjadi acuan dalam perancangan pabrik ditampilkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Syarat Air Sanitasi (Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023)

No	Parameter Wajib	Unit	Standar Baku Mutu (kadar maksimum)	Kategori
1	Timbal	mg/L	0,05	Kimia
2	Sulfat	mg/L	400	Kimia
3	Seng	mg/L	15	Kimia
4	Selenium	mg/L	0,01	Kimia
5	Kromium	mg/L	0,05	Kimia
6	Cadmium	mg/L	0,005	Kimia
7	Arsen	mg/L	0,05	Kimia
8	Air raksa	mg/L	0,001	Kimia

No	Parameter Wajib	Unit	Standar Baku Mutu (kadar maksimum)	Kategori
9	Pestisida total	mg/L	0,1	Kimia
10	Deterjen	mg/L	0,05	Kimia
11	Sianida	mg/L	0,1	Kimia
12	Nitrit	mg/L	1	Kimia
13	Nitrat	mg/L	10	Kimia
14	Mangan	mg/L	0,5	Kimia
15	Kesadahan	mg/L	500	Kimia
16	Fluorida	mg/L	1,5	Kimia
17	Besi	mg/L	1	Kimia
18	pH	-	6,5 – 8,5	Kimia
19	E. coli	CFU/100 mL	0	Biologi
20	Total coliform	CFU/100 mL	50	Biologi
21	Bau	-	Tidak berbau	Fisik
22	Rasa	-	Tidak berasa	Fisik
23	Suhu	°C	Suhu udara $\pm$ 3	Fisik
24	Zat padat terlarut	mg/L	1.000	Fisik
25	Warna	TCU	50	Fisik
26	Kekeruhan	NTU	25	Fisik

Merujuk pada standar kebutuhan air bersih per karyawan sebesar 6 kg/jam (Vickers, 2001), serta jumlah tenaga kerja pabrik yang direncanakan sebanyak 102 orang (sesuai rincian operating labour pada analisis kelayakan ekonomi), maka kebutuhan air sanitasi dihitung sebagai berikut.

$$\text{Air sanitasi} = 102 \text{ orang} \times 6 \text{ kg/jam} = 612 \text{ kg/jam}$$

4.1.5 Kebutuhan Air Laboratorium

Mengacu pada Amon (2005), kebutuhan air untuk kegiatan laboratorium diperkirakan sebesar 1,5 gpm, sehingga:

$$\text{Air laboratorium} = 1,5 \text{ gal/menit} \times 3,785 \text{ L/gal} \times 60 \text{ menit/jam} \times 1 \text{ kg/L}$$

$$= 340,65 \text{ kg/jam}$$

4.1.6 Kebutuhan Air Pemadam Kebakaran (*Hydrant*)

Sistem penyediaan air untuk pemadam kebakaran dirancang sebagai fasilitas penunjang keselamatan yang hanya digunakan pada kondisi darurat ketika terjadi insiden kebakaran di area pabrik. Air yang dialirkan ke jaringan pemadam harus memiliki kualitas yang memadai dengan menghindari kandungan material padat, seperti pasir, kerikil, dan sisa vegetasi, yang dapat mengganggu kinerja sistem distribusi maupun peralatan hydrant. Berdasarkan ketentuan SNI 03-1735-2000 mengenai Tata Cara Perencanaan Sistem Hidran untuk Pencegahan Bahaya Kebakaran pada Bangunan Gedung, pilar hydrant utama harus mampu menyediakan debit air sekurang-kurangnya 2.400 liter/menit dengan waktu operasi minimum 45 menit. Sementara itu, pilar hydrant tambahan diwajibkan memiliki kapasitas suplai sebesar 1.200 liter/menit. Standar tersebut juga menyebutkan bahwa setiap pilar hydrant dirancang untuk memberikan cakupan perlindungan terhadap area seluas 1.000 m².

$$\text{Jumlah hydrant} = \text{Luas lahan} / 1.000 \text{ m}^2 = 13.450 / 1.000 = 14 \text{ unit}$$

$$\text{Total air hydrant} = (1 \times 2.400 \times 45) + ((14 - 1) \times 1.200 \times 45) \text{ liter}$$

$$\text{Total air hydrant} = 108.000 + 702.000 = 810.000 \text{ liter} = 810 \text{ m}^3$$

Oleh karena itu, tangki cadangan air hydrant yang perlu disiapkan pada pabrik pektin ini berkapasitas 810 m³.

4.1.7 Rekapitulasi Kebutuhan Air

Total kebutuhan pabrik untuk pabrik pektin dapat dilihat pada Tabel 4.6 berikut.

Tabel 4.6 Rekapitulasi Total Kebutuhan Air Pabrik Pektin

Keperluan	Kebutuhan (kg/jam)
Air umpan boiler	11.102,75
Air pendingin	133.643,04
Air proses (pengenceran asam sitrat)	47.015,84
Air sanitasi	612,00
Air laboratorium	340,65
Total kebutuhan air pabrik (kontinu)	192.714,28

Karena sebagian besar air pendingin dan air umpan boiler dapat disirkulasikan kembali (*recycle*) setelah melalui cooling tower maupun sebagai kondensat *steam*, maka pasokan *make-up water* yang perlu diambil dari sumber air baku menjadi jauh lebih kecil dibandingkan total kebutuhan air pabrik.

Air tambahan dari sumber air = Total kebutuhan air – (Kondensat recycle + Air pendingin bekas recycle)

Air tambahan dari sumber air = $192.714,28 - (8.882,20 + 106.914,43) = 76.917,65$ kg/jam

Faktor keamanan sebesar 10% ditambahkan pada jumlah air yang harus dipompa untuk mengantisipasi kehilangan selama proses pemompaan air baku, sehingga total air baku yang dipompa dari sungai adalah:

Total air dipompa = $110\% \times 76.917,65 \text{ kg/jam} = 84.609,41 \text{ kg/jam}$

4.2 Unit Pengolahan Air

Pengolahan air merupakan salah satu unit utilitas penting yang berfungsi untuk meningkatkan kualitas air sungai sebagai sumber air baku sehingga memenuhi persyaratan penggunaannya di dalam pabrik. Melalui rangkaian proses pengolahan, air baku tersebut dikonversi menjadi air dengan kualitas yang sesuai untuk berbagai kebutuhan operasional, seperti air proses, air pendingin, air pengisi boiler, dan air sanitasi. Acuan karakteristik air sungai yang digunakan dalam perancangan pabrik mengacu pada standar mutu air kelas II berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Klasifikasi air kelas II tersebut diperuntukkan bagi berbagai kegiatan, antara lain sebagai sumber baku air minum, aktivitas rekreasi air, budidaya perikanan air tawar, peternakan, serta keperluan irigasi pertanian. Parameter mutu air baku yang digunakan sebagai dasar perancangan disajikan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Karakteristik Air Sungai (Air Baku) (PP Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021, Lampiran VI)

No	Parameter	Unit	Baku Mutu Kelas II
1	Total coliform	CFU/100 mL	≤ 5.000
2	Fecal coliform	CFU/100 mL	≤ 1.000
3	Nitrit (NO ₂)	mg/L	$\leq 0,06$
4	Nitrat (NO ₃)	mg/L	≤ 10
5	Deterjen (MBAS)	µg/L	≤ 200
6	Minyak dan lemak	µg/L	≤ 1.000
7	Mangan (Mn)	mg/L	$\leq 0,1$
8	Besi (Fe)	mg/L	$\leq 0,3$
9	COD	mg/L	≤ 25
10	BOD	mg/L	≤ 3
11	Oksigen terlarut (DO)	mg/L	≥ 4 (minimum)
12	Zat padat tersuspensi (TSS)	mg/L	≤ 50
13	Zat padat terlarut (TDS)	mg/L	≤ 1.000
14	Kekeruhan	NTU	≤ 50
15	pH	-	6 – 9
16	Suhu	°C	Deviasi 3 dari suhu alamiah

Setelah memenuhi karakteristik tersebut, air baku diproses lebih lanjut pada unit pengolahan air agar sesuai persyaratan mutu masing-masing pemanfaatan, baik sebagai air proses, air pendingin, air umpan boiler, maupun air sanitasi. Rangkaian pengolahan air baku pabrik ini terdiri atas empat tahapan, yaitu screening, klarifikasi, filtrasi, dan demineralisasi.

4.2.1 Screening

Tahapan awal dalam rangkaian pengolahan air baku dilakukan melalui proses *screening* yang bertujuan untuk memisahkan material berukuran besar yang terbawa oleh aliran sungai. Unit ini bekerja dengan menyaring berbagai pengotor fisik, seperti ranting, dedaunan, serta sampah padat lainnya, sehingga jumlah kontaminan yang masuk ke proses pengolahan berikutnya dapat diminimalkan dan kinerja unit lanjutan menjadi lebih optimal.

4.2.2 Klarifikasi (Koagulasi dan Flokulasi)

Proses koagulasi dan flokulasi dilakukan setelah tahap penyaringan awal untuk menghilangkan partikel halus yang masih tersuspensi dalam air baku. Irwansyah (2022) menjelaskan bahwa proses ini melibatkan penambahan bahan kimia tertentu yang berfungsi untuk menetralkan muatan partikel koloid, sehingga partikel-partikel tersebut dapat saling berikatan membentuk flok dengan ukuran yang lebih besar dan lebih mudah dipisahkan melalui proses pengendapan. Pada perancangan pabrik ini, bahan koagulan yang digunakan adalah tawas ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) dengan penambahan soda abu (Na_2CO_3) sebagai bahan pendukung dalam proses koagulasi. Perbandingan penggunaan kedua bahan tersebut ditetapkan sebesar 1 : 0,54 berdasarkan acuan The American Water Works Association (1971).

$$\text{Larutan } \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \text{ yang dibutuhkan} = 30 \text{ ppm} \times 84.609,41 \text{ kg/jam} = 2,538 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Larutan soda abu yang dibutuhkan} = 0,54 \text{ ppm} \times 84.609,41 \text{ kg/jam} = 0,046 \text{ kg/jam}$$

4.2.3 Filtrasi

Setelah proses klarifikasi dan pengendapan, air selanjutnya melewati tahap filtrasi untuk menghilangkan sisa partikel padat yang masih terbawa dalam aliran. Menurut Benny (2024), filtrasi merupakan proses pemisahan pengotor berbentuk padatan dari fase cair dengan cara mengalirkan air melalui suatu media berpori, sehingga partikel-partikel halus yang belum terpisahkan pada tahap sebelumnya dapat tertahan. Sebagai proses penyempurnaan kualitas air, tahap akhir pengolahan dilakukan melalui proses desinfeksi menggunakan kaporit dengan kandungan klorin sebesar 30%. Penambahan kaporit dilakukan dengan dosis 2 ppm berdasarkan massa air sanitasi yang akan dialirkan menuju unit pemanfaatan.

$$\text{Kebutuhan kaporit} = (612 \text{ kg/jam} / 0,3) \times 2 \times 10^{-6} = 0,004 \text{ kg/jam}$$

4.2.4 Demineralisasi

Untuk menghasilkan kualitas air yang sesuai bagi kebutuhan operasi boiler, air hasil pengolahan awal perlu menjalani proses lanjutan berupa demineralisasi. Tahap ini bertujuan menghilangkan kandungan mineral dan ion-ion terlarut yang berpotensi menyebabkan pembentukan kerak serta korosi pada sistem boiler, seperti ion kalsium, magnesium, dan silika. Proses penghilangan ion tersebut dilakukan dengan metode pertukaran ion (*ion exchange*) menggunakan kombinasi resin kation dan resin anion, sehingga diperoleh air dengan tingkat kemurnian yang memenuhi persyaratan sebagai air umpan boiler.

4.3 Unit Pengadaan Listrik

Peralatan proses, peralatan utilitas, sistem penerangan dan udara, laboratorium, instrumentasi, hingga perkantoran seluruhnya membutuhkan pasokan listrik agar dapat beroperasi, sehingga unit pengadaan listrik menjadi bagian penting dari rancangan pabrik pektin ini.

4.3.1 Kebutuhan Listrik Peralatan Proses

Estimasi kebutuhan listrik peralatan proses dapat dilihat pada Tabel 4.8 berikut.

Tabel 4.8 Estimasi Kebutuhan Listrik Peralatan Proses

Alat Proses	Jumlah	Daya (HP)
Belt Conveyor (BC)	1	2,0
Crusher (CR)	1	15,0
Screw Conveyor (SC-01)	1	1,0
Agitator Tangki Ekstraktor (EX)	1	12,78
Pompa Asam Sitrat (P-06)	1	1,0
Rotary Drum Vacuum Filter (RDVF-01)	1	2,0
Blower Udara Panas Rotary Dryer (B)	1	1,0
Agitator Mixer (M-01)	1	7,5
Rotary Drum Vacuum Filter (RDVF-02)	1	2,0
Pompa Umpan Tangki Destilasi (TD)	1	1,0
Motor Penggerak Rotary Dryer (RD)	1	10,0
Total		55,28

Total kebutuhan listrik untuk peralatan proses adalah 55,28 HP, setara 41,22 kW.

4.3.2 Kebutuhan Listrik Unit Utilitas

Peralatan penggerak pada unit utilitas mencakup pompa air baku, pompa sirkulasi air pendingin, pompa air umpan boiler, pompa kondensat, kompresor udara instrumen, pompa air demineralisasi, pompa injeksi bahan kimia, hingga pompa unit pengolahan limbah, dengan estimasi daya pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Estimasi Kebutuhan Listrik Unit Utilitas

Alat Utilitas	Jumlah	Daya (HP)
Pompa Air Baku (Sungai)	2	7,5
Pompa Sirkulasi Air Pendingin	2	7,5
Pompa Air Umpan Boiler	2	5,0
Pompa Kondensat	2	2,0
Instrument Air Compressor	2	5,0
Pompa Air Demineralisasi	2	3,0
Pompa Injeksi Bahan Kimia	2	1,0
Pompa Pengolahan Limbah (IPAL)	2	2,0
Total		66,0

Total kebutuhan listrik untuk peralatan utilitas adalah 66 HP, setara 49,22 kW.

4.3.3 Kebutuhan Listrik Penerangan

Perencanaan sistem pencahayaan pada area pabrik dilakukan dengan mempertimbangkan kebutuhan intensitas cahaya yang sesuai dengan standar keselamatan dan kenyamanan kerja. Metode yang digunakan mengacu pada konsep *luminous efficacy*, yaitu penentuan jumlah fluks cahaya yang harus dihasilkan oleh sumber penerangan dalam satuan lumen. Perhitungan kebutuhan pencahayaan didasarkan pada luas masing-masing area serta tingkat iluminasi yang dipersyaratkan dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 70 Tahun 2016 mengenai Standar dan Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Industri. Hubungan antara parameter luas area, tingkat pencahayaan, dan kebutuhan fluks cahaya dinyatakan melalui persamaan berikut:

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

Jenis lampu yang dipilih adalah LED dengan efikasi ± 100 lumen/W dan daya 80 W (8.000 lumen) per titik lampu, mempertimbangkan efisiensi energi dan umur pakai yang panjang. Kebutuhan listrik untuk penerangan dapat dilihat pada Tabel 4.10 dan Tabel 4.11.

Tabel 4.10 Kebutuhan Listrik Penerangan Indoor

Bangunan	Luas (m ²)	Lux	Lumen	Jumlah Lampu
Area Proses Produksi	2.000	200	400.000	50

Bangunan	Luas (m²)	Lux	Lumen	Jumlah Lampu
Kantor / Administrasi	450	300	135.000	17
Ruang Pengolahan Air	400	150	60.000	8
Laboratorium & QC	200	300	60.000	8
Gudang Produk	300	200	60.000	8
Ruang Pembangkit Listrik (Genset)	250	200	50.000	7
Gudang Bahan Baku	200	200	40.000	5
Poliklinik	120	300	36.000	5
Ruang Pengolahan Limbah	200	150	30.000	4
Bengkel	120	200	24.000	3
Ruang Boiler	100	200	20.000	3
Musholla	100	150	15.000	2
Kantin	60	150	9.000	2
Pos Keamanan	50	100	5.000	1
Total	4.550		944.000	123

Tabel 4.11 Kebutuhan Listrik Penerangan Outdoor

Area	Luas (m²)	Lux	Lumen	Jumlah Lampu
Jalan Area Pabrik	4.000	50	200.000	25
Area Parkir	600	50	30.000	4
Taman	300	20	6.000	1
Total	4.900		236.000	30

Berdasarkan kedua tabel tersebut, total titik lampu LED yang dibutuhkan pabrik adalah 153 titik. Dengan asumsi daya rata-rata 80 W per titik lampu, kebutuhan listrik penerangan adalah:

$$\text{Daya penerangan} = 153 \text{ titik} \times 80 \text{ W} = 12.240 \text{ W} \approx 12,24 \text{ kW}$$

4.3.4 Kebutuhan Listrik Laboratorium, Instrumentasi, Bengkel, dan Kantor

Di luar peralatan proses, utilitas, dan penerangan, pabrik juga membutuhkan pasokan listrik untuk peralatan laboratorium, instrumentasi, perkakas bengkel, dan perlengkapan kantor, yang diperkirakan sebagai berikut.

1. Laboratorium (moisture analyzer, furnace, titrator, viskometer) : 4 kW
2. Instrumentasi (sensor, transmitter, panel DCS/PLC) : 4 kW
3. Bengkel (perkakas dan peralatan pemeliharaan) : 6 kW
4. Kantor (komputer, server, printer, AC, dan penunjang lainnya) : 8 kW
5. Sehingga total kebutuhan listrik untuk laboratorium, instrumentasi, bengkel, dan kantor adalah 22 kW.

4.3.5 Rekapitulasi Total Kebutuhan Listrik

Estimasi total kebutuhan listrik pada pabrik pektin dapat dilihat pada Tabel 4.12 berikut.

Tabel 4.12 Rekapitulasi Kebutuhan Listrik Pabrik Pektin

Keperluan	Kebutuhan Daya (kW)
Peralatan proses	41,22
Peralatan utilitas	49,22
Penerangan (indoor & outdoor)	12,24
Laboratorium, instrumentasi, bengkel, dan kantor	22,00
Total kebutuhan listrik pabrik	124,68

4.3.6 Sumber Listrik

Kebutuhan energi listrik dalam kegiatan operasional pabrik dipenuhi melalui pasokan utama dari jaringan listrik PT PLN (Persero) wilayah setempat. Pemanfaatan sumber listrik eksternal ini dipilih karena mampu menyediakan suplai daya yang andal dan berkesinambungan dengan pertimbangan efisiensi biaya operasional dibandingkan dengan pembangunan sistem pembangkit listrik mandiri. Untuk menjaga kontinuitas proses produksi apabila terjadi gangguan seperti pemadaman, kerusakan jaringan distribusi, atau kegiatan pemeliharaan pada

sistem kelistrikan utama, pabrik dilengkapi dengan generator set (genset) sebagai sumber energi listrik cadangan. Genset yang digunakan berupa generator arus bolak-balik (AC) tiga fase yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan listrik darurat selama kondisi gangguan berlangsung.

4.4 Unit Pengadaan Steam

Dalam menunjang kebutuhan panas pada berbagai tahapan proses produksi, steam digunakan sebagai utilitas pemanas pada beberapa unit utama, meliputi proses ekstraksi pektin di Tangki Ekstraktor, proses penguapan dan pemekatan larutan pektin pada Vaporizer, proses pemisahan dan pemurnian isopropil alkohol melalui Tangki Destilasi, serta pemanasan udara pada unit pengering Rotary Dryer. Berdasarkan hasil perhitungan kebutuhan utilitas yang dirangkum pada Tabel 4.4, jumlah steam yang diperlukan untuk kebutuhan proses mencapai 9.252,29 kg/jam. Dengan mempertimbangkan faktor keamanan operasi sebesar 20% untuk mengantisipasi fluktuasi beban dan kehilangan panas, kapasitas steam yang harus disediakan oleh boiler ditetapkan sebesar 11.102,75 kg/jam.

4.4.1 Kapasitas Boiler

Kapasitas boiler ditentukan dari besarnya panas yang diperlukan untuk mengonversi air umpan boiler (BFW) bersuhu 30°C menjadi superheated steam bersuhu 150°C pada tekanan 1 atm, dengan efisiensi boiler diasumsikan 80%.

$$\Delta H = H_v(150^\circ\text{C}) - H(30^\circ\text{C}) = 663,58 - 30 = 633,58 \text{ kkal/kg}$$

$$Q_{\text{steam}} = m_{\text{steam}} \times \Delta H = 11.102,75 \text{ kg/jam} \times 633,58 \text{ kkal/kg} = 7.034.430,91 \text{ kkal/jam}$$

$$Q_{\text{boiler}} = Q_{\text{steam}} / \eta = 7.034.430,91 / 0,80 = 8.793.038,64 \text{ kkal/jam}$$

Sehingga boiler pada pabrik pektin ini harus memiliki kapasitas panas aktual sebesar 8.793.038,64 kkal/jam, atau setara 36.807.659,75 kJ/jam, agar seluruh kebutuhan steam proses dapat terpenuhi.

4.5 Unit Pengadaan Bahan Bakar

Pemenuhan kebutuhan energi untuk pengoperasian boiler dan generator listrik darurat pada pabrik dilakukan dengan memanfaatkan bahan bakar biosolar B40 yang disuplai oleh Pertamina. Pemilihan jenis bahan bakar ini didasarkan pada beberapa pertimbangan, yaitu

ketersediaannya yang mudah dijangkau, karakteristik emisi yang lebih rendah dibandingkan bahan bakar fosil konvensional, serta nilai ekonomis yang mendukung efisiensi operasional pabrik. Standar mutu dan karakteristik biosolar B40 yang digunakan dalam perancangan ini mengacu pada ketentuan SK Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi Nomor 384.K/MG.06/DJM/2024. Spesifikasi Biosolar B40 dapat dilihat pada Tabel 4.13 berikut.

Tabel 4.13 Spesifikasi Biosolar B40

Parameter	Nilai
Bilangan asam total	Maks. 0,6 mg KOH/gr
Kandungan sedimen	Maks. 0,01 %m/m
Kandungan abu	Maks. 0,01 %m/m
Kandungan air	Maks. 380 mg/kg
Residu karbon	Maks. 0,1 %m/m
Kandungan sulfur	Maks. 0,005 %m/m
Viskositas	2 – 5 mm ² /s
Berat Jenis	815 – 880 kg/m ³
Bilangan Setana	48 – 51

Kebutuhan bahan bakar dihitung dari kapasitas panas aktual boiler dan nilai kalor biosolar B40 sebesar 42.000 kJ/kg.

$$m_{\text{fuel}} = Q_{\text{boiler}} / \text{HV} = 36.807.659,75 \text{ kJ/jam} / 42.000 \text{ kJ/kg}$$

$$m_{\text{fuel}} = 876,37 \text{ kg/jam} \approx 21.032,95 \text{ kg/hari}$$

4.6 Unit Pengadaan Udara Tekan

Udara tekan pada pabrik pektin ini dimanfaatkan sebagai tenaga penggerak peralatan pneumatik non-kritis, media pembersih peralatan, serta media pneumatik pada instrumen pengendali proses seperti control valve dan aktuator, khususnya pada sistem Rotary Drum Vacuum Filter.

4.6.1 Plant Air

Plant air melayani kebutuhan umum area pabrik, seperti pengoperasian alat tangan (bor, gerinda), pekerjaan pemeliharaan, dan pembersihan peralatan produksi (Saidur et al., 2010).

4.6.2 Instrument Air

Instrument air memiliki spesifikasi kualitas lebih tinggi (bersih dan kering) dibandingkan plant air, digunakan pada sistem kontrol dan instrumentasi seperti control valve serta aktuator pneumatik pada sistem vakum filter, guna menjaga keandalan operasional dan mencegah gangguan sistem.

4.7 Laboratorium

Keberadaan fasilitas laboratorium menjadi bagian penting dalam mendukung sistem pengendalian dan keberlangsungan proses produksi pektin. Laboratorium berfungsi sebagai pusat analisis dan pengujian yang mencakup pemeriksaan kualitas bahan baku, evaluasi parameter selama proses berlangsung, pengujian karakteristik produk akhir, serta pemantauan aspek lingkungan. Dengan adanya kegiatan analisis laboratorium, kualitas bahan yang digunakan, seperti kulit jeruk, larutan asam sitrat, dan isopropil alkohol, hingga mutu pektin yang dihasilkan dapat dikontrol agar tetap memenuhi spesifikasi dan standar yang telah ditetapkan.

4.7.1 Pengujian yang Dilakukan di Laboratorium

Mengacu pada standar mutu pektin yang berlaku (SNI dan Food Chemical Codex), beberapa parameter mutu yang umum diuji meliputi:

1. Viskositas dan kekuatan gel, untuk mengetahui performa pektin sebagai bahan pengental atau pembentuk gel pada aplikasi produk pangan.
2. Kadar galakturonat, untuk menilai tingkat kemurnian fraksi pektin terhadap keseluruhan polisakarida yang terekstraksi.
3. Berat ekivalen dan kadar metoksil, sebagai penentu derajat esterifikasi yang membedakan pektin metoksil tinggi (HM) dan metoksil rendah (LM), berkaitan dengan sifat pembentuk gel produk.
4. Kadar abu, sebagai indikator kemurnian pektin dari residu mineral maupun garam anorganik.
5. Kadar air, untuk memastikan produk pektin kering telah memenuhi batas maksimum yang dipersyaratkan sehingga tahan simpan dan tidak mudah ditumbuhi mikroba.

4.7.2 Alat yang Digunakan

Alat-alat yang mendukung pengujian untuk proses produksi pektin adalah sebagai berikut:

1. Gas Chromatography (GC), untuk memantau sisa pelarut isopropil alkohol pada produk maupun aliran recovery pelarut.
2. Viskometer, untuk mengukur viskositas larutan pektin.
3. Titrator, untuk analisis berat ekuivalen, kadar metoksil, dan kadar galakturonat pektin melalui titrasi asam-basa.
4. Furnace, untuk analisis kadar abu pektin.
5. Moisture Analyzer / Oven pengering, untuk analisis kadar air pektin.

4.8 Unit Pengolahan Limbah

Tahapan ekstraksi, pemekatan, dan pengendapan pektin dalam pabrik ini turut menghasilkan limbah cair, gas, maupun padat, yang apabila dibuang tanpa pengolahan berpotensi mencemari lingkungan sekitar. Oleh sebab itu, dibutuhkan unit pengolahan limbah yang memadai.

4.8.1 Identifikasi Limbah

A. Limbah Cair

Sumber limbah cair meliputi sisa air proses ekstraksi (mengandung residu asam sitrat dan padatan terlarut), keluaran Tangki Destilasi (mengandung sisa isopropil alkohol dan air), air bekas pencucian peralatan, serta air limbah sanitasi dari area domestik pabrik.

B. Limbah Gas

Limbah gas berasal dari uap yang tidak terkondensasi pada sistem kondensor (CN-01, CN-02, CN-03), gas hasil pembakaran boiler (mengandung CO₂, NO_x, SO_x), dan uap isopropil alkohol yang berpotensi terlepas dari sistem vakum maupun tangki penyimpanan pelarut.

C. Limbah Padat

Limbah padat mencakup cake kulit jeruk hasil filtrasi pada Rotary Drum Vacuum Filter (RDVF-01), fraksi pektin yang tidak terekstraksi maupun tidak terendapkan, sludge dari unit pengolahan air limbah (IPAL), serta sampah domestik dari aktivitas perkantoran. Identifikasi limbah pada pabrik pektin dapat dilihat pada Tabel 4.14 berikut.

Tabel 4.14 Identifikasi Limbah Pabrik Pektin

Sumber Limbah	Jenis Limbah	Bentuk	Parameter Dominan
Boiler / Utilitas	Gas	Gas	CO ₂ , NO _x , SO _x
Kondensor (CN-01/02/03)	Gas	Gas	VOC (uap IPA)
Domestik	Cair	Cair	BOD, COD
Tangki Destilasi (TD)	Cair	Cair	IPA residu, COD
Tangki Ekstraktor (EX)	Cair	Cair	COD, TSS, pH
Sludge IPAL	Padat	Padat	TSS
Cake Kulit Jeruk (RDVF-01)	Padat	Padat	Padatan organik

4.8.2 Pengolahan Limbah

Pada pengolahan limbah gas, pengendalian emisi gas dilakukan dengan memanfaatkan kembali uap isopropil alkohol yang masih terbawa dan belum mengalami kondensasi secara optimal melalui unit Tangki Destilasi (TD). Upaya *recovery* ini dilakukan karena isopropil alkohol memiliki karakteristik mudah menguap dan mudah terbakar, sehingga selain dapat mengurangi kehilangan bahan pelarut, langkah tersebut juga berperan dalam meminimalkan dampak pencemaran udara. Sementara itu, gas buang dari proses pembakaran boiler dialirkan keluar melalui cerobong dengan desain ketinggian tertentu agar penyebaran emisi berlangsung secara aman dan konsentrasi polutan tetap memenuhi standar kualitas udara ambien berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021.

Sementara itu, limbah cair yang berasal dari aktivitas proses produksi, terutama dari tahap ekstraksi dan filtrasi, terlebih dahulu dilakukan proses penyesuaian pH sebelum memasuki unit Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Proses netralisasi dilakukan hingga mencapai rentang pH 6,5–8,5 agar sesuai dengan kondisi pengolahan berikutnya. Pada unit

IPAL, limbah kemudian diolah menggunakan metode biologis dengan sistem lumpur aktif untuk mengurangi kandungan bahan pencemar organik yang ditunjukkan melalui parameter BOD dan COD. Air hasil pengolahan selanjutnya dapat dialirkan ke badan air dengan tetap memenuhi ketentuan baku mutu air limbah sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014.

Penanganan limbah padat dilakukan dengan mempertimbangkan potensi pemanfaatan kembali material yang masih memiliki nilai guna. Residu padat berupa *cake* kulit jeruk yang memiliki kandungan serat tinggi berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku kompos maupun pakan ternak. Adapun limbah padat lain seperti sludge hasil pengolahan IPAL dan limbah domestik dikumpulkan pada tempat penyimpanan sementara sebelum dilakukan pengangkutan dan pembuangan akhir ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA) sesuai dengan prosedur pengelolaan limbah yang berlaku.

4.9 Kesehatan, Keselamatan Kerja, dan Lingkungan Hidup (K3LH)

Upaya penerapan Keselamatan dan Kesehatan Kerja serta Lingkungan (K3LH) dalam lingkungan pabrik bertujuan untuk menciptakan kondisi kerja yang aman, nyaman, dan mampu melindungi seluruh pekerja dari potensi bahaya selama menjalankan aktivitas operasional. Pelaksanaan sistem K3LH mengacu pada Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Nomor 5 Tahun 2018 tentang Standar Kesehatan dan Keselamatan Kerja di Tempat Kerja. Dalam penerapannya, perusahaan memiliki tanggung jawab untuk menyediakan perlengkapan keselamatan berupa alat pelindung diri (APD), melaksanakan program pelatihan K3 secara rutin, melakukan penanganan terhadap insiden atau kecelakaan kerja secara efektif, serta menerapkan proses identifikasi, analisis, dan pengendalian terhadap berbagai risiko yang terdapat di area kerja.

4.9.1 HIRAC (Hazard Identification, Risk Assessment, and Control)

HIRAC pada pabrik pektin diidentifikasi pada Tabel 4.15 berikut.

Tabel 4.15 HIRAC Pabrik Pektin

Tahapan Kegiatan	Potensi Bahaya	Dampak Risiko	L	S	Risk
Area IPAL	Gas H ₂ S/bau	Keracunan gas	2	3	6
Instalasi listrik	Arus listrik	Sengatan listrik	2	5	10

Maintenance alat berputar	Mesin bergerak	Cedera mekanis	3	4	12
Sistem perpipaan steam	Kebocoran uap panas	Luka bakar	3	3	9
Rotary Dryer	Udara panas & debu	Luka bakar, gangguan napas	2	3	6
Area boiler	Suhu & tekanan tinggi	Luka bakar, ledakan	2	5	10
Sistem vakum (RDVF-01, RDVF-02)	Tekanan vakum	Kegagalan alat, cedera	2	3	6
Penanganan isopropil alkohol	Cairan mudah terbakar	Kebakaran/ledakan	3	4	12
Operasi Tangki Ekstraktor	Suhu tinggi (90°C)	Luka bakar	2	3	6
Penanganan asam sitrat pekat	Bahan korosif	Iritasi/luka bakar kimia	3	3	9

Skala penilaian:

Likelihood (L) 1–5 (sangat jarang – sangat sering)

Severity (S) 1–5 (ringan – fatal)

Risk Level = $L \times S$, dengan kategori 1–5 Rendah, 6–12 Sedang, 15–25 Tinggi.

4.9.2 Kelestarian Lingkungan Hidup

Dalam rangka memastikan kegiatan operasional pabrik tidak memberikan dampak negatif terhadap lingkungan, diperlukan penerapan berbagai ketentuan pengelolaan lingkungan yang berlaku. Beberapa aspek yang harus diperhatikan mencakup pengelolaan limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) sesuai PP No. 22 Tahun 2021 Pasal 278, sistem pengelolaan sampah berdasarkan UU No. 18 Tahun 2008, serta pengendalian emisi dari sumber tidak bergerak yang mengacu pada Permen LHK No. 11 Tahun 2021. Sebelum tahap operasional dimulai, pabrik juga wajib melakukan kajian dampak lingkungan (*Environmental Impact*

Assessment) untuk mengidentifikasi potensi dampak yang mungkin terjadi. Selanjutnya, kegiatan pemantauan kualitas lingkungan seperti pengujian air dan udara perlu dilakukan secara berkala, disertai dengan pemberian edukasi kepada pekerja dan masyarakat sekitar mengenai pentingnya menjaga serta melestarikan lingkungan.

4.10 Instrumentasi

Guna menjaga kestabilan, keamanan, dan efisiensi operasi pabrik pektin, dibutuhkan rangkaian instrumentasi yang berfungsi memsantau serta mengendalikan jalannya proses agar hasil yang diperoleh sesuai dengan target yang direncanakan.

4.10.1 Jenis-Jenis Instrumentasi

Jenis-jenis instrumentasi yang digunakan pada proses produksi pabrik pektin yaitu:

1. Alarm dan Indicator, berfungsi memberi peringatan dini kepada operator saat terjadi penyimpangan parameter proses, sehingga tindakan korektif dapat segera diambil untuk mencegah gangguan proses maupun kecelakaan kerja.
2. Gas Analyzer, dipakai untuk memantau kandungan uap isopropil alkohol pada aliran keluar kondensor, mendukung pengendalian proses recovery pelarut sekaligus aspek keselamatan.
3. Flow Meter, dipakai untuk mengukur laju alir larutan asam sitrat, larutan pektin, air pendingin, dan steam secara kontinu demi menjaga kestabilan neraca massa.
4. Pressure Transmitter, dipakai untuk memantau tekanan pada sistem vakum Rotary Drum Vacuum Filter guna mempertahankan kondisi operasi yang diinginkan.
5. Level Transmitter, dipakai untuk mengukur ketinggian larutan pada Tangki Ekstraktor dan Tangki Destilasi guna mencegah overfilling dan menjamin kontinuitas suplai bahan.
6. Temperature Sensor (RTD/Thermocouple), dipakai untuk memonitor suhu pada Tangki Ekstraktor, Vaporizer, Tangki Destilasi, dan Rotary Dryer agar tetap sesuai rencana operasi (90°C, 110°C, 85°C, dan 60°C).

4.10.2 Sistem Kontrol

Pengoperasian pabrik pektin didukung oleh sistem otomasi yang mengintegrasikan teknologi *Distributed Control System* (DCS) dan *Programmable Logic Controller* (PLC) sesuai dengan karakteristik masing-masing proses. DCS digunakan sebagai sistem utama dalam pengawasan dan pengaturan proses kontinu dengan kapasitas besar, seperti pada Tangki Ekstraktor, Vaporizer, dan Tangki Destilasi. Sementara itu, PLC diterapkan pada peralatan yang bekerja secara diskrit dan membutuhkan waktu respons yang cepat, di antaranya *belt conveyor*, *rotary dryer*, serta sistem pengemasan produk. Integrasi kedua sistem kontrol tersebut memungkinkan proses produksi dapat dipantau, dikendalikan, dan dioptimalkan secara langsung (*real-time*) melalui sistem antarmuka operator yang terintegrasi.