

**PRARANCANGAN PABRIK YOGURT DARI SUSU SAPI
DENGAN KAPASITAS 8.500 TON/ TAHUN**

PRARANCANGAN PABRIK

**Diajukan sebagai salah Satu Syarat
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Kimia**



Oleh :

Nama : Muhammad Lus Erik

Nama : Yusna Indria Sari W

NIM : 22521051

NIM : 22521073

**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2026

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN HASIL
PRARANCANGAN PABRIK YOGURT DARI SUSU SAPI
KAPASITAS 8.500 TON/TAHUN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Lus Erik Nama : Yusna Indria Sari W
No. Mahasiswa : 22521051 No. Mahasiswa : 22521073

Yogyakarta, 24 Juni 2026

Menyatakan bahwa seluruh hasil Prarancangan Pabrik ini adalah hasil karya sendiri. Apabila dikemudian hari terbukti bahwa ada beberapa bagian dari karya ini adalah bukan hasil karya sendiri, maka kami siap menanggung resiko dan konsekuensi apapun. Demikian surat pernyataan ini saya buat, semoga dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Mahasiswa 1



Muhammad Lus Erik

Mahasiswa 2



Yusna Indria Sari Waruwu

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING
PRARANCANGAN PABRIK YOGURT DARI SUSU SAPI DENGAN
KAPASITAS 8.500 TON/ TAHUN

PRARANCANGAN PABRIK

Nama : Muhammad Lus Erik Nama : Yusna Indria Sari W
No.Mahasiswa : 22521051 No.Mahasiswa : 22521073

Yogyakarta, 24 Juni 2026

Pembimbing I,



Cholila Tamyzi, ST., M.Eng., Ph.D.
NIP. 185210101

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI PRARANCANGAN PABRIK

YOGURT DARI SUSU SAPI DENGAN

KAPASITAS 8.500 TON/ TAHUN

Oleh:

Nama : Muhammad Lus Erik

Nama : Yusna Indria Sari W

No. Mahasiswa : 22521051

No. Mahasiswa : 22521073

Telah Dipertahankan di Depan Sidang Penguji sebagai Salah Satu Syarat untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Kimia Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknologi
Industri Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 20 Juli 2026

Tim Penguji,

Cholila Tamysi, S.T., M.Eng., Ph.D.

Ketua Penguji

Muflih Arisa Adnan, S.T., M.Sc., Ph.D

Penguji 1

Venitalitya Alethea Sari Augustia, S.T., M.Eng.

Penguji 2

 22/7/2026



 21/7/26

Mengetahui:

**Ketua Program Studi Teknik Kimia
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia**



Prof. Sholeh Ma'mun, S.T., M.T., Ph.D.

NIK. 995200445

PRAKATA

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillahirabbil'alamin, segala puji bagi Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat, karunia, dan ridha-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir Prarancangan Pabrik yang berjudul "**Prarancangan Pabrik Yogurt dari Susu Sapi dengan Kapasitas 8.500 Ton/Tahun**" dengan baik. Shalawat serta salam semoga selalu tercurah kepada Nabi Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat, dan seluruh umatnya hingga akhir zaman.

Penyusunan tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia. Melalui penyusunan prarancangan pabrik ini, penulis berkesempatan menerapkan ilmu pengetahuan dan konsep keteknikan yang telah diperoleh selama masa perkuliahan ke dalam suatu perancangan industri yang mempertimbangkan aspek teknis, ekonomi, keselamatan kerja, serta keberlanjutan proses. Dalam proses penyusunannya, penulis memperoleh banyak bantuan, arahan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan kesehatan, kemudahan, dan kekuatan sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua dan seluruh keluarga yang selalu memberikan doa, kasih sayang, motivasi, serta dukungan yang tidak pernah putus kepada penulis.
3. Bapak Cholila Tamyzi, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, memberikan bimbingan, dan masukan, selama penyusunan tugas akhir ini.
4. Ibu Alinda Fitrotun Nisya, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing yang memberikan arahan dan saran selama penyusunan tugas akhir ini.
5. Seluruh dosen dan tenaga kependidikan Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, atas ilmu, pengalaman, dan pelayanan yang telah diberikan selama masa studi.
6. Teman-teman Teknik Kimia Universitas Islam Indonesia yang telah menjadi rekan belajar, berdiskusi, dan saling memberikan semangat selama menjalani perkuliahan hingga penyelesaian tugas akhir ini.
7. Semua pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan, baik secara langsung maupun tidak langsung, yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih memiliki berbagai keterbatasan. Oleh sebab itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan sebagai bahan evaluasi dan penyempurnaan di masa yang akan datang.

Semoga Tugas Akhir Prarancangan Pabrik ini dapat memberikan manfaat, menambah wawasan bagi pembaca, serta menjadi salah satu referensi dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang Teknik Kimia.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Yogyakarta, 24 Mei 2026

Penulis,

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN KEASLIAN HASIL	i
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	iii
PRAKATA	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMBANG / NOTASI / SINGKATAN	xi
ABSTRAK	xv
ABSTRACT	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.1.1 Pendirian Pabrik	1
1.1.2 Ketersedian Bahan Baku	3
1.1.3 Kapasitas Pabrik Yogurt yang Sudah Berdiri	4
1.1.4 <i>Market Analysis</i>	5
1.2 Penentuan Kapasitas Pabrik	6
1.2.1 <i>Supply</i>	6
1.2.2 <i>Demand</i>	10
1.3 Tinjauan Pustaka	15
1.3.1 Susu Sapi	15
1.3.2 Yogurt	15
1.3.3 Pemilihan Proses	17
1.4 Tinjauan Termodinamika dan Kinetika	23
1.4.1 Tinjauan Termodinamika	23
1.4.2 Tinjauan Kinetika	26
BAB II. PERANCANGAN PRODUK	27
2.1 Spesifikasi Produk	27

2.2	Spesifikasi Bahan Baku	27
2.3	Spesifikasi Bahan Pendamping	28
2.4	Pengendalian Kualitas	29
BAB III PERANCANGAN PROSES		34
3.1	Diagram Alir Proses dan Material	34
3.3.1	Diagram Alir Kualitatif	34
3.3.2	Diagram Alir Kuantitatif	35
3.2	Uraian Proses	36
3.2.1	Persiapan Bahan Baku	36
3.2.2	Pembuatan Produk	37
3.2.3	Penyimpanan Produk	37
3.3	Spesifikasi Alat	38
3.3.1	Reaktor (R-01)	38
3.3.2	<i>Mixer</i>	40
3.3.3	<i>Hopper 1</i>	42
3.3.4	<i>Hopper 2</i>	43
3.3.5	Alat Penyimpanan Bahan Baku dan Produk	44
3.3.6	Alat Penukar Panas	46
3.3.7	Alat Transportasi Bahan	49
3.4	Neraca Massa	51
3.5	Neraca Panas	54
BAB IV		60
PERANCANGAN PABRIK		60
4.1	Lokasi Pabrik	60
4.2	Tata Letak Pabrik	63
4.3	Tata letak Mesin/Alat Proses (<i>Machines Layout</i>)	67
4.4	Organisasi Perusahaan	69
4.4.1	Bentuk Organisasi Perusahaan	70
4.4.2	Struktur Organisasi Perusahaan	71
4.4.3	Jumlah Karyawan	74

4.4.4 Gaji Karyawan	76
BAB V.UTILITAS	83
5.1. Unit Penyedia dan Pengolahan Air	83
5.1.1 Kebutuhan Air	83
5.1.2 Sumber Air	87
5.1.3 Unit Pengolahan Air	87
5.1.4 Spesifikasi Alat Utilitas	93
5.1.5 Diagram Unit Pengolahan Air	111
5.2 Unit Penyediaan Udara Tekan (<i>Instrument Air System</i>)	112
5.3 Unit Pembangkit <i>Steam</i>	113
5.4 Unit Penyedia Bahan Bakar	114
5.5 Unit pembangkit listrik (<i>Power Plant System</i>)	115
5.6 Kebutuhan Listrik di Pabrik	116
5.7 Unit Pengolahan Limbah	119
BAB VI. EVALUASI EKONOMI	124
6.1 Dasar Perhitungan	125
6.2 Penaksiran Harga Alat	126
6.3 Komponen Biaya	131
6.4 Analisa Resiko Pabrik	136
6.5 Analisa Kelayakan	140
6.6 Hasil Evaluasi Ekonomi	146
BAB VII. KESIMPULAN DAN SARAN	148
7.1 Kesimpulan	148
7.2 Saran	150
DAFTAR PUSTAKA	151
LAMPIRAN A. PERANCANGAN REAKTOR	156
LAMPIRAN B.PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM	174
LAMPIRAN C. KARTU KONSULTASI BIMBINGAN	176

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Pabrik Yogurt yang Beroperasi di Indonesia	4
Tabel 1. 2 Produksi Yogurt di Beberapa Negara.....	5
Tabel 1. 3 Data produksi yogurt di Indonesia pada tahun 2016-2020	7
Tabel 1. 4 Impor yogurt di Indonesia tahun 2019-2023	8
Tabel 1.5 Konsumsi yogurt di Indonesia 2022-2025	10
Tabel 1.6 Ekspor yogurt di Indonesia 2019-2023	11
Tabel 1.7 Nilai entalpi setiap komponen pada suhu 298,15K.....	24
Tabel 1.8 Nilai Energi Gibbs setiap komponen pada suhu 298,15K	25
Tabel 3.1 Spesifikasi Alat Penyimpanan Bahan Baku.....	44
Tabel 3.2 Spesifikasi alat penyimpanan (lanjutan).....	45
Tabel 3.3 Spesifikasi Alat Penukar Panas	47
Tabel 3.4 Spesifikasi Lanjutan Alat Penukar Panas	48
Tabel 3.5 Spesifikasi pump.....	49
Tabel 3.6 Spesifikasi pompa (Lanjutan).....	50
Tabel 3.7 Neraca Massa Reaktor (R-01)	51
Tabel 3.8 Neraca Massa Tangki Penyimpanan Bahan Baku (T-01).....	52
Tabel 3.9 Neraca Massa Tangki Pelarutan (T-02).....	52
Tabel 3.10 Neraca Massa Mixer (M-01)	52
Tabel 3.11 Neraca Massa Tangki Penyimpanan Produk	53
Tabel 3.12 Neraca Panas Tangki Penyimpanan Bahan Baku (T-01).....	54
Tabel 3.13 Neraca Panas Heat Exchanger (HE-01).....	54
Tabel 3.14 Neraca Panas Cooler 1 (CL-01).....	55
Tabel 3.15 Neraca Panas Reaktor (R-01)	55
Tabel 3.16 Neraca Panas Tangki Pelarutan (T-02).....	56
Tabel 3.17 Neraca Panas Mixer (M-01)	56
Tabel 3.18 Neraca Panas Cooler 2 (CL-02).....	57
Tabel 3. 19 Neraca Panas Tangki Penyimpanan Produk (T-03)	59
Tabel 4.1 Perincian luas tanah dan bangunan pabrik.....	64
Tabel 4.2 Rincian jumlah tenaga kerja.....	74
Tabel 4.3 Rincian gaji pokok karyawan.....	77
Tabel 4.4 Tunjangan karyawan	79
Tabel 4.5 Jadwal shift karyawan	82
Tabel 4.6 Jadwal shift karyawan (lanjutan)	82
Tabel 4.7 Jadwal shift karyawan (lanjutan)	82
Tabel 5.1 Kebutuhan air untuk keperluan umum	84
Tabel 5.2 Keperluan untuk Service Water.....	84
Tabel 5.3 Kebutuhan air pendingin.....	84
Tabel 5. 4 Perhitungan Drift loss, Blowdown, dan Makeup Wate	85
Tabel 5.5 Kebutuhan Air steam.....	86
Tabel 5.6 Kebutuhan Air proses.....	86
Tabel 5.8 Total Kebutuhan Air	86

Tabel 5.9 Total Kebutuhan Air (Lanjutan)	87
Tabel 5.10 Pendinginan pada Unit Proses yang Menggunakan Chiller	102
Tabel 5.11 Spesifikasi tangki penyimpanan	106
Tabel 5.12 Spesifikasi tangki penyimpanan (lanjutan)	107
Tabel 5.13 Spesifikasi pompa utilitas	108
Tabel 5.14 Spesifikasi pompa utilitas (lanjutan)	108
Tabel 5.15 Spesifikasi pompa utilitas (lanjutan)	109
Tabel 5. 16 Spesifikasi pompa utilitas (lanjutan)	109
Tabel 5.17 Spesifikasi pompa utilitas (lanjutan)	110
Tabel 5.18 Spesifikasi pompa utilitas (lanjutan)	110
Tabel 5.19 Perancangan Kompresor.....	112
Tabel 5.20 Tangki silica gel.....	113
Tabel 5.21 Kebutuhan steam.....	113
Tabel 5.22 Tabel spesifikasi teknis boiler	114
Tabel 5.23 Kebutuhan Bahan Bakar	115
Tabel 5.24 Tabel spesifikasi tangki bahan bakar.....	115
Tabel 5. 25 Spesifikasi teknis generator.....	116
Tabel 5.26 Kebutuhan listrik alat proses	116
Tabel 5.27 .Kebutuhan listrik untuk alat utilitas	117
Tabel 5.28 Total kebutuhan listrik pabrik.....	119
Tabel 6.1 Indeks harga alat pada tahun 1963 - 2000	126
Tabel 6.2 Harga alat proses.....	129
Tabel 6.3 Harga alat utilitas	129
Tabel 6.4 Capital investment	131
Tabel 6.5 Physical Plant Cost	132
Tabel 6.6 Direct Plant Cost.....	132
Tabel 6.7 Fixed capital investment (FCI).....	133
Tabel 6.8 Working capital investment (WCI).....	133
Tabel 6.9 <i>Manufacturing</i> cost (MC)	134
Tabel 6.10 Direct <i>Manufacturing</i> cost (DMC).....	134
Tabel 6.11 Indirect <i>Manufacturing</i> cost (IMC).....	135
Tabel 6.12 Fixed <i>Manufacturing</i> cost (FMC).....	135
Tabel 6.13 General expenses	136
Tabel 6.14 Total production cost.....	136
Tabel 6.15 Analisa resiko pabrik.....	137
Tabel 6.16 Fixed Cost (Fa)	143
Tabel 6.17 Annual <i>regulated cost</i> (Ra)	143
Tabel 6. 18 Annual <i>variable value</i> (Va).....	144
Tabel 6.19 Annual <i>sales value</i> (Sa)	144

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Kurva linear jumlah produksi yogurt di Indonesia.....	8
Gambar 1.2 Kurva linear data impor yogurt di Indonesia	9
Gambar 1.3 Kurva linear data konsumsi di Indonesia	11
Gambar 1.4 Kurva linear data ekspor di Indonesia	12
Gambar 1.5 Diagram alir produksi yoghurt stirred	20
Gambar 3.1 Diagram alir kualitatif.....	34
Gambar 3.2 Diagram Alir Kuantitatif.....	35
Gambar 4.1 Peta rencana lokasi pabrik.....	60
Gambar 4.2 Layout pabrik yogurt	66
Gambar 4.3 Tata letak mesin proses	69
Gambar 4.4 Bagan struktur organisasi perusahaan.....	73
Gambar 5. 1 Diagram unit pengolahan air.....	111
Gambar 6.1 Regresi linier indeks harga	128
Gambar 6.2 Grafik evaluasi ekonomi	147

DAFTAR LAMBANG / NOTASI / SINGKATAN

A	: Luas area perpindahan panas, ft ²
A	: Luas penampang, m ²
a	: Konstanta regresi linear
atm	: Atmosfer
BAL	: Bakteri Asam Laktat
BEP	: <i>Break Even Point</i>
BM	: Berat molekul, g/mol
BWG	: <i>Birmingham Wire Gauge</i>
C	: Konsentrasi, kg/m ³
CA	: <i>Corrosion Allowance</i>
CL	: <i>Cooler</i>
CMC	: <i>Carboxymethyl Cellulose</i>
C _p	: Kapasitas panas jenis, kJ/(kg.K)
D	: Diameter, m
DCFRR	: Discounted Cash Flow Rate of Return
ΔG°	: Energi bebas Gibbs standar, kJ/mol
ΔH _f	: Entalpi pembentukan standar, kJ/mol
ΔH _{rx}	: Perubahan entalpi reaksi, kJ/mol
EPS	: Exopolysaccharide
F	: Laju alir massa (mass flow rate), kg/jam
FCI	: Fixed Capital Investment

ft	: Feet
ft ²	: Feet persegi
GMP	: <i>Good Manufacturing Practice</i>
H	: Tinggi alat, m
HACCP	: <i>Hazard Analysis</i> and Critical Control Point
h	: Koefisien perpindahan panas
HE	: Heat Exchanger
HP	: <i>Horse Power</i>
ID	: <i>Inside Diameter</i>
in	: Inch
IPS	: <i>Iron Pipe Size</i>
k	: Konstanta laju reaksi, jam ⁻¹
K	: Konduktivitas termal
kg	: Kilogram
kg/jam	: Kilogram per jam
kJ	: Kilojoule
kJ/mol	: Kilojoule per mol
kJ/(kg.K)	: Kapasitas panas jenis
L	: Panjang alat atau pipa, m
LIC	: <i>Level Indicator Controller</i>
m	: Meter
m ²	: Meter persegi
m ³	: Meter kubik

m	: Laju alir massa, kg/jam
M	: Mixer
MW	: <i>Molecular Weight</i>
N	: Kecepatan putar pengaduk, rpm
OD	: <i>Outside Diameter</i>
P	: Tekanan, atm
P	: Daya pompa atau motor, Watt
pH	: Derajat keasaman
Q	: Laju perpindahan panas, kJ/jam
Q	: Debit aliran, m ³ /jam
R	: Konstanta gas ideal
R	: Reaktor
Rd	: Faktor fouling desain
Rd,min	: Faktor fouling minimum
Re	: Bilangan Reynolds
rpm	: <i>Rotation per Minute</i>
SA	: <i>Stainless Steel</i>
Sch	: <i>Schedule</i> pipa
T	: Suhu, °C
T	: Tangki
t	: Waktu, jam
TIC	: Temperature Indicator Controller
TR	: <i>Ton of Refrigeration</i>

U	:	Koefisien perpindahan panas menyeluruh
U _c	:	Koefisien perpindahan panas bersih
U _d	:	Koefisien perpindahan panas desain
V	:	<i>Volume</i> , m ³
W	:	Daya, Watt
X	:	Konversi reaksi
y	:	Hasil proyeksi regresi

ABSTRAK

Yogurt merupakan produk susu fermentasi yang mengandung bakteri asam laktat dengan nilai gizi tinggi serta manfaat probiotik bagi kesehatan. Prarancangan pabrik *stirred yogurt* ini menggunakan bahan baku utama susu sapi segar dengan kapasitas produksi 8.500 ton/tahun. Pabrik direncanakan berlokasi di Kecamatan Wagir, Kabupaten Malang, Provinsi Jawa Timur, di atas lahan seluas 14.045,31 m² dan mempekerjakan 82 orang. Proses produksi menggunakan fermentasi secara *batch* dengan kultur *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* dan *Streptococcus thermophilus* pada suhu 43°C dan tekanan 1 atm. Berdasarkan neraca massa, kebutuhan bahan baku terdiri atas susu sapi segar sebesar 878,8894 kg/jam, gula 75,1263 kg/jam, CMC 6,4394 kg/jam, serta *starter culture* sebesar 0,0878 kg/jam, menghasilkan produk *stirred yogurt* sebesar 1.073,2323 kg/jam. Pabrik beroperasi selama 330 hari/tahun dan 24 jam/hari, dengan kebutuhan utilitas berupa air, steam, listrik, dan solar. Limbah yang dihasilkan berasal dari proses produksi, laboratorium, domestik, dan unit utilitas. Berdasarkan analisis risiko, pabrik dikategorikan sebagai low risk. Hasil evaluasi ekonomi menunjukkan profit sebelum pajak sebesar Rp98.914.212.163/tahun dan profit setelah pajak sebesar Rp74.185.659.122/tahun, dengan ROI sebelum dan setelah pajak masing-masing sebesar 25,24% dan 18,93%, POT 3,00 tahun dan 3,71 tahun, BEP 46,04%, SDP 20,38%, serta DCFRR 23,88%. Berdasarkan hasil analisis teknis, risiko, dan ekonomi, prarancangan pabrik *stirred yogurt* dinyatakan layak untuk didirikan dan dioperasikan.

Kata kunci: *stirred yogurt*, susu sapi, fermentasi, prarancangan pabrik, evaluasi ekonomi.

ABSTRACT

*Yogurt is a fermented dairy product containing lactic acid bacteria that provides high nutritional value and probiotic benefits for human health. This preliminary design proposes a stirred yogurt plant using fresh cow's milk as the main raw material with a production capacity of 8,500 tons/year. The plant is planned to be located in Wagir District, Malang Regency, East Java Province, occupying a land area of 14,045.31 m² and employing 82 workers. The production process is carried out through batch fermentation using *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus* cultures at 43°C and 1 atm. Based on the material balance, the required raw materials consist of 878.8894 kg/h of fresh cow's milk, 75.1263 kg/h of sugar, 6.4394 kg/h of carboxymethyl cellulose (CMC), and 0.0878 kg/h of starter culture, producing 1,073.2323 kg/h of stirred yogurt. The plant is designed to operate 330 days per year and 24 hours per day, with utility requirements including water, steam, electricity, and diesel fuel. Waste generated from the process consists of production, laboratory, domestic, and utility wastes. Based on the risk assessment, the plant is classified as a low-risk industry. The economic evaluation indicates a profit before tax of IDR 98,914,212,163 per year and a profit after tax of IDR 74,185,659,122 per year, with a Return on Investment (ROI) of 25.24% before tax and 18.93% after tax, a Pay Out Time (POT) of 3.00 years before tax and 3.71 years after tax, a Break Even Point (BEP) of 46.04%, a Shut Down Point (SDP) of 20.38%, and a Discounted Cash Flow Rate of Return (DCFRR) of 23.88%. Based on the technical, risk, and economic evaluations, the proposed stirred yogurt plant with a production capacity of 8,500 tons/year is considered technically feasible and economically viable for construction and operation.*

Keywords: stirred yogurt, cow's milk, fermentation, plant design, economic evaluation.

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

1.1.1 Pendirian Pabrik

Yogurt adalah salah satu produk susu fermentasi yang mendapat perhatian besar dalam beberapa dekade terakhir karena nilai gizi, fungsi probiotik, dan fleksibilitas penggunaannya sebagai makanan sehari-hari atau pangan fungsional. Fermentasi susu menjadi yogurt dilakukan dengan kultur bakteri asam laktat (BAL), seperti *Lactobacillus bulgaricus* dan *Streptococcus thermophilus*, yang mengubah laktosa menjadi asam laktat, sehingga menghasilkan tekstur kental, rasa sedikit asam, daya simpan lebih baik, dan keberadaan mikroba hidup yang bermanfaat. Kini, yogurt tidak sekadar dianggap sebagai makanan turunan susu, tapi sebagai minuman nutrisi dan kesehatan yang diminati banyak kalangan (Li et al., 2025).

Permintaan yogurt secara global terus meningkat, tercermin dari nilai pasar yogurt dunia yang diperkirakan mencapai USD 134,55 miliar pada tahun 2025 dan diproyeksikan tumbuh hingga USD 203,8 miliar pada tahun 2033 dengan CAGR sekitar 5,4%. Tren ini menunjukkan bahwa yogurt tetap menjadi produk susu fermentasi dengan pertumbuhan konsumsi yang stabil di berbagai kawasan dunia (IMARC Group, 2024). Salah satunya permintaan yogurt di Indonesia juga menunjukkan tren positif. Berdasarkan data dari Statista, nilai pasar yogurt Indonesia diperkirakan mencapai US\$ 225,52 juta pada tahun 2025 dengan pertumbuhan tahunan (CAGR) sebesar 8,80% hingga 2030 (Statista, 2025). Pertumbuhan ini didorong oleh meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap

gaya hidup sehat, urbanisasi, serta perkembangan ritel modern.

Pengolahan susu sapi menjadi yogurt juga memberikan nilai tambah yang lebih tinggi dibandingkan penjualan susu cair biasa, sehingga membuka peluang ekonomi bagi produsen maupun peternak local (Suwarna, 2024). Selain itu, yogurt memiliki potensi pasar yang luas karena dapat ditargetkan pada berbagai segmen yaitu keluarga, konsumen sehat, dewasa, hingga anak muda (Talib et al., 2024). Yogurt diproduksi melalui fermentasi susu menggunakan bakteri asam laktat utama, yaitu *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus* dan *Streptococcus thermophilus*, yang berperan mengubah laktosa menjadi asam laktat sehingga menghasilkan tekstur kental, rasa asam segar, serta aroma khas. Proses fermentasi ini tidak hanya meningkatkan karakteristik sensorik, tetapi juga menghasilkan senyawa bioaktif seperti industr, eksopolisakarida (EPS), dan asam industri yang berkontribusi terhadap peningkatan industri sistem pencernaan, kekebalan tubuh, serta memiliki aktivitas antimikroba dan antioksidan. Dengan kandungan probiotik dan komponen bioaktifnya, yogurt dikategorikan sebagai pangan fungsional yang mendukung industri sekaligus memiliki potensi ekonomi tinggi seiring meningkatnya permintaan pasar terhadap produk susu fermentasi tradisional maupun inovatif (Munteanu-Ichim et al., 2024).

Perancangan pabrik yogurt ini akan dilakukan dengan pendekatan industri proses dan ekonomi industri. Dimulai dari pemilihan lokasi strategis yang dekat dengan sentra peternakan sapi perah, seperti di Jawa Barat atau Jawa Timur kemudian dilanjutkan dengan analisis kebutuhan bahan baku, kapasitas produksi, alur proses produksi, serta pemilihan peralatan utama seperti pasteurizer,

fermentor, dan *filling machine*. Proses produksi akan mencakup pasteurisasi, inokulasi kultur bakteri, fermentasi pada suhu dan waktu tertentu, pendinginan, homogenisasi, pengemasan, hingga penyimpanan produk jadi (da Silva et al., 2024).

Dari sisi sosial dan ekonomi, pembangunan pabrik yogurt tidak hanya menciptakan lapangan kerja baru, tetapi juga mendorong pemberdayaan peternak industri melalui penyerapan susu segar dengan harga kompetitif (Suwarna, 2024). Di samping itu, pabrik juga akan dirancang dengan memperhatikan aspek keberlanjutan, seperti efisiensi energi, pengelolaan limbah cair dan padat, serta penerapan sistem sanitasi dan keamanan pangan (HACCP dan GMP) (Mureşan et al., 2020). Oleh karena itu, melalui pra-rancangan pabrik ini, diharapkan dapat tercipta sistem produksi yogurt yang efisien, berkualitas, dan berdaya saing tinggi untuk menjawab kebutuhan pasar industri maupun ekspor di masa depan.

1.1.2 Ketersediaan Bahan Baku

Ketersediaan bahan baku adalah kondisi dimana bahan dasar yang dibutuhkan perusahaan tersedia dalam jumlah yang cukup, kualitas sesuai standar, serta dapat diperoleh tepat waktu untuk menjamin kelancaran proses produksi dan pemenuhan permintaan pasar (Yasa & Mandala, 2020). Dalam pembuatan yogurt, bahan baku utama yang digunakan adalah susu sapi segar, sehingga untuk menjamin pasokan yang stabil dipilih PT Greenfields, Malang, sebagai pemasok dengan kapasitas produksi sekitar 97.000 ton per tahun atau sekitar 10% dari total produksi susu segar nasional. Dengan dua peternakan utama yang berlokasi di Gunung Kawi dan Wlingi, PT Greenfields mampu menyediakan bahan baku susu segar secara konsisten untuk kebutuhan industri (PT

Greenfields, 2021).

1.1.3 Kapasitas Pabrik Yogurt yang Sudah Berdiri

Kajian terhadap kapasitas pabrik yogurt yang telah beroperasi di Indonesia dilakukan sebagai salah satu dasar dalam penentuan kapasitas pabrik yang akan dirancang. Analisis ini bertujuan untuk memperoleh gambaran mengenai skala produksi industri yogurt yang telah berkembang sehingga kapasitas yang dipilih dapat disesuaikan dengan kondisi industri, ketersediaan bahan baku, dan potensi permintaan pasar. Data kapasitas beberapa pabrik yogurt yang telah beroperasi di Indonesia disajikan pada Tabel berikut.

Tabel 1.1 Pabrik Yogurt yang Beroperasi di Indonesia

No	Nama Perusahaan	Lokasi Pabrik	Kapasitas Produksi (Ton/Tahun)
1	PT Industri Susu Alam Murni (PT ISAM)	Kab.Bandung,Jawa Barat	33.000
2	CV Cita Nasional	Kab. Semarang, Jawa Tengah	8.019
3	PT Susu KPBS Pangalengan (PT SKP)	Kab.Bandung ,Jawa Barat	6.600

Sumber: Direktorat Pemberdayaan Koperasi dan UKM, 2014; Kementerian Koperasi dan Usaha Kecil dan Menengah Republik Indonesia, 2025; Wardana, 2025

Berikut merupakan tabel produksi yogurt dari beberapa negara diseluruh dunia:

Tabel 1. 2 Produksi Yogurt di Beberapa Negara

No	Negara	Produksi Yogurt (Ton/Tahun)
1	Siprus	13.040
2	Portugal	7.420
3	Turki	11.524
4	Uruguay	13.386
5	Thailand	5.682
6	Vietnam	3.707
7	Togo	2.271

Sumber: (AtlasBig, n.d.)

Berdasarkan data produksi yogurt beberapa negara, diketahui bahwa kapasitas produksi yogurt bervariasi sesuai dengan tingkat konsumsi dan perkembangan industri pengolahan susu di masing-masing negara. Negara-negara seperti Siprus, Uruguay, dan Turki memiliki kapasitas produksi berkisar 11.000–13.000 ton/tahun, sedangkan Portugal memproduksi sekitar 7.420 ton/tahun. Di kawasan Asia Tenggara, Thailand dan Vietnam memiliki kapasitas produksi masing-masing sebesar 5.682 ton/tahun dan 3.707 ton/tahun, sementara Togo menghasilkan 2.271 ton/tahun. Berdasarkan data tersebut, kapasitas produksi 8.500 ton/tahun yang digunakan pada perancangan pabrik yogurt ini berada dalam kisaran kapasitas industri yang telah diterapkan di beberapa negara, sehingga kapasitas tersebut dinilai realistis dan layak untuk dijadikan dasar perancangan pabrik.

1.1.4 *Market Analysis*

Pasar yoghurt global merupakan salah satu sektor industri pangan yang terus mengalami pertumbuhan. Pada tahun 2025, nilai pasar yoghurt dunia diperkirakan

mencapai sekitar US\$134 miliar dan diproyeksikan tumbuh dengan *Compound Annual Growth Rate* (CAGR) sebesar 5,1–5,3%, sehingga nilainya dapat melampaui US\$189–213 miliar pada periode 2032–2034. Pertumbuhan ini didorong oleh meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap pola hidup sehat, tingginya permintaan produk probiotik, serta berkembangnya inovasi produk yoghurt. Berdasarkan harga jual produk sebesar Rp50.000/kg dan asumsi kurs Rp16.500 per US\$, nilai pasar tersebut setara dengan sekitar 44,22 juta ton yoghurt per tahun, yang menunjukkan besarnya permintaan global terhadap produk yoghurt.

Industri yoghurt juga terdiri atas berbagai segmen pasar. Segmen Greek yogurt memiliki nilai pasar sekitar US\$20,26–34,75 miliar dengan laju pertumbuhan 8,3–11% per tahun, mencerminkan meningkatnya preferensi konsumen terhadap produk tinggi protein. Segmen flavoured yogurt menjadi kontributor terbesar dengan nilai pasar sekitar US\$50–56 miliar, sementara organic yogurt bernilai sekitar US\$12,88 miliar dan tumbuh sekitar 8,2% per tahun seiring meningkatnya permintaan terhadap produk pangan sehat dan ramah lingkungan. Dari sisi geografis, Eropa menguasai sekitar 38% pangsa pasar yoghurt global, diikuti Asia-Pasifik sebesar 29%, dan Amerika Utara sekitar 24%, yang menunjukkan bahwa ketiga kawasan tersebut merupakan pusat konsumsi dan produksi yoghurt dunia.

1.2 Penentuan Kapasitas Pabrik

1.2.1 *Supply*

Supply dalam ekonomi adalah keseluruhan jumlah barang atau jasa yang dapat ditawarkan di pasar pada berbagai tingkat harga dalam suatu periode

tertentu. Komponen *supply* mencakup hasil produksi dalam negeri serta barang yang diperoleh melalui impor.

a. Produksi

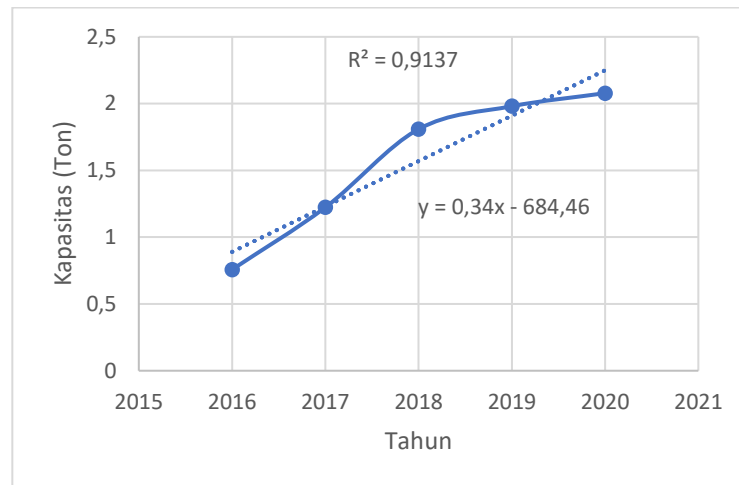
Berikut disajikan data produksi yogurt di Indonesia yang digunakan sebagai dasar analisis dalam penentuan kapasitas pabrik.

Tabel 1. 3 Data produksi yogurt di Indonesia pada tahun 2016-2020

Tahun ke-	Tahun	Ton/Tahun
1	2016	0,7572029
2	2017	1,2232314
3	2018	1,8088418
4	2019	1,9804343
5	2020	2,0783831

Sumber : Dharmawan & Fachriansyah, 2022

Berdasarkan tabel data produksi yogurt di Indonesia mengalami peningkatan setiap tahunnya. Dalam perancangan pabrik ini akan didirikan pada tahun 2030. Selanjutnya data tabel akan di proyeksikan menggunakan metode regresi linear yang hasilnya ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar1.1 Kurva linear jumlah produksi yogurt di Indonesia

Dari Gambar 1.1 tersebut, di peroleh persamaan regresi linear :

$$y = 0,34 x - 684,46 \quad (1.1)$$

Keterangan :

y = kapasitas produksi pabrik yang akan direncanakan

x = tahun yang proyeksi

Dari persamaan 1.1 dapat diproyeksikan nilai produksi pada tahun 2030 di Indonesia yaitu sebesar 5,74 ton/tahun.

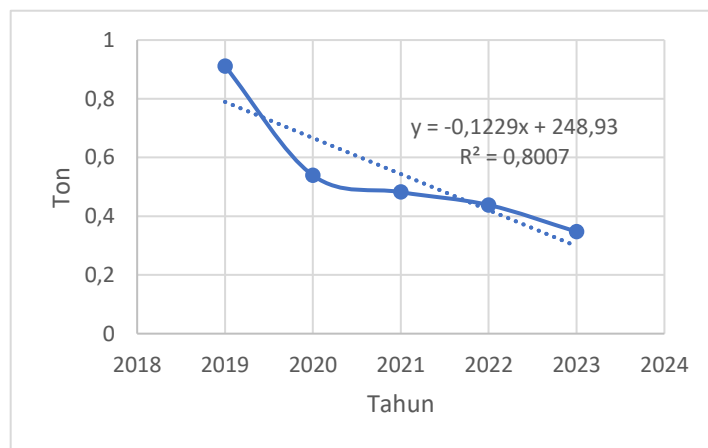
b. Impor

Tabel 1. 4 Impor yogurt di Indonesia tahun 2019-2023

Tahun ke-	Tahun	Ton/Tahun
1	2019	0,911275
2	2020	0,539202
3	2021	0,482137
4	2022	0,438244

Sumber : World Integrated Trade Solution, 2023

Berdasarkan tabel data produksi yogurt di Indonesia mengalami fluktuatif setiap tahunnya. Dalam perancangan pabrik ini akan didirikan, pada tahun 2030. Selanjutnya data tabel akan di proyeksikan menggunakan metode regresi linear, yang hasilnya ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 1.2 Kurva linear data impor yogurt di Indonesia

Dari Gambar 1.2 tersebut, di peroleh persamaan regresi linear

$$y = -0,1229x + 248,93 \quad (1.2)$$

keterangan :

y = kapasitas produksi pabrik yang akan direncanakan

x = tahun yang proyeksi

Berdasarkan persamaan 1.2 dapat diproyeksikan nilai produksi pada tahun 2030 di Indonesia yaitu sebesar -0,557 ton/tahun atau 0 ton/tahun karena tidak ada

impor yogurt di Indonesia. Berdasarkan hasil perhitungan perkiraan produksi dan impor yogurt di Indonesia, maka :

$$\begin{aligned}
 \textit{Supply} &= \textit{Impor} + \textit{Produksi dalam negeri} \\
 &= 0 + 5,74 \text{ (ton/tahun)} \\
 &= 5,74 \text{ ton/tahun}
 \end{aligned}$$

1.2.2 Demand

Dalam ekonomi, *demand* adalah sebagai total permintaan terhadap suatu komoditas, dimana *demand* meliputi konsumsi dan ekspor.

1.1 Konsumsi

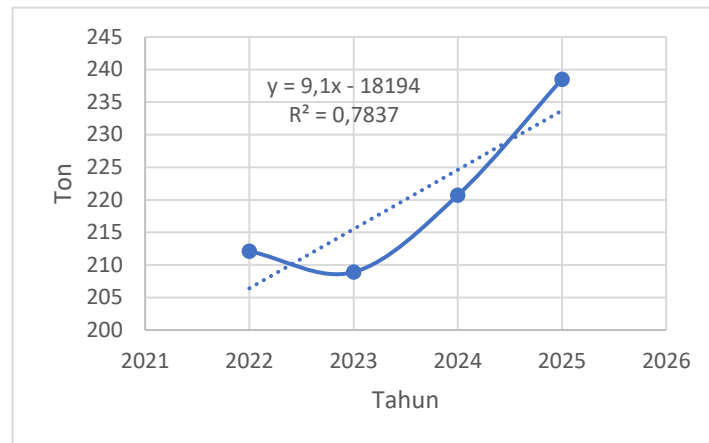
Tabel 1.5 Konsumsi yogurt di Indonesia 2022-2025

Tahun ke-	Tahun	Ton/Tahun
1	2022	212,1
2	2023	208,9
3	2024	220,7
4	2025	238,5

Sumber :Darmawan & Osinski, 2024

Berdasarkan data pada Tabel 1.3, konsumsi *yoghurt* di Indonesia menunjukkan kecenderungan yang berfluktuasi dari tahun ke tahun. Mengingat pabrik *yoghurt* yang dirancang direncanakan mulai beroperasi pada tahun 2030, maka diperlukan proyeksi data konsumsi hingga tahun tersebut. Proyeksi dilakukan menggunakan metode regresi linear untuk memperoleh estimasi konsumsi *yoghurt*

pada tahun perancangan. Hasil proyeksi konsumsi tersebut selanjutnya disajikan pada gambar berikut.



Gambar1.3 Kurva linear data konsumsi di Indonesia

Berdasarkan gambar 1.3 tersebut, diperoleh persamaan regresi linear yaitu :

$$y = 9,1x - 18194 \quad (1.3)$$

keterangan :

y = kapasitas produksi pabrik yang akan direncanakan

x = tahun yang diproyeksi

Dari persamaan 1.3, dapat diproyeksikan nilai produksi pada tahun 2030 di Indonesia yaitu sebesar 279 ton/tahun.

1.2 Ekspor

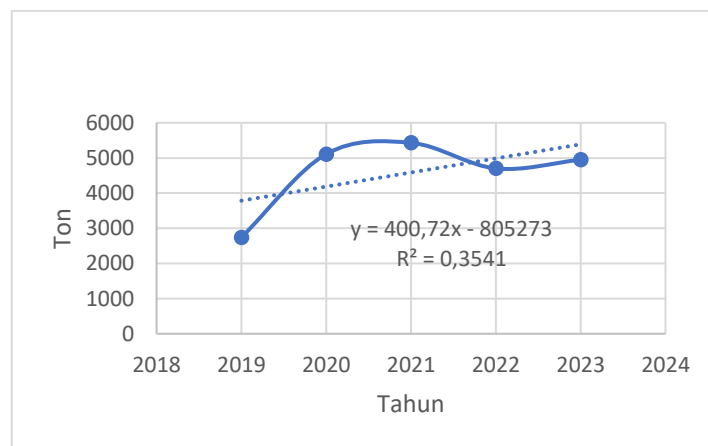
Tabel 1.6 Ekspor yogurt di Indonesia 2019-2023

Tahun ke-	Tahun	Ton/Tahun
1	2019	2741,42

2	2020	5109,08
3	2021	5430,79
4	2022	4700,32
5	2023	4949,41

Sumber : World Integrated Trade Solution, 2023

Berdasarkan data ekspor Indonesia pada tahun 2019-2023 menunjukkan adanya pertumbuhan yang relatif positif meskipun terjadi fluktuasi tahunan. Peningkatan volume ekspor pada periode tersebut mengindikasikan peluang pasar yang menjanjikan bagi pengembangan industri yogurt. Berikut profil kurva linear data ekspor di Indonesia.



Gambar 1.4 Kurva linear data ekspor di Indonesia

Gambar 1.4 Kurva linear data ekspor di Indonesia

Dari gambar 1.4, diperoleh persamaan regresi linear sebagai berikut:

$$y = 400,72x - 805273 \quad (1.4)$$

keterangan :

y = kapasitas produksi pabrik yang akan direncanakan

x = tahun yang diproyeksi

Berdasarkan persamaan 1.4, kapasitas ekspor *yoghurt* di Indonesia pada tahun 2030 diproyeksikan sebesar 8.188,6 ton/tahun.

Demand yoghurt pada tahun 2030 dihitung berdasarkan penjumlahan ekspor dan konsumsi, yaitu:

$$\begin{aligned}\textbf{Demand} &= \textbf{Ekspor} + \textbf{Konsumsi} \\ &= 8.182,86 + 279 \text{ (ton/tahun)} \\ &= 8467,6 \text{ ton/tahun}\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil proyeksi kebutuhan produksi, impor, ekspor, dan konsumsi *yoghurt* pada tahun 2030, peluang pasar *yoghurt* dapat ditentukan dengan mengacu pada selisih antara nilai *demand* dan total *supply* yang tersedia. Perhitungan peluang pasar dilakukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\textbf{Peluang} &= \textbf{Demand} - \textbf{Supply} \\ &= 8467,6 \text{ ton/tahun} - 5,74 \text{ ton/tahun} \\ &= 8.461,86 \text{ ton/tahun atau } 8.500 \text{ ton/tahun}\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan peluang pasar yang telah dilakukan dengan mengurangi total kapasitas *supply* terhadap nilai *demand* yang telah diproyeksikan. Hasilnya menunjukkan peluang sebesar 8.462,42 ton/tahun. Akan tetapi dengan mempertimbangkan faktor keamanan desain dan kemudahan

operasional, maka kapasitas produksi pabrik yogurt ditetapkan sebesar 8.500 ton/tahun.

Penentuan kapasitas produksi pada pra-rancangan pabrik yogurt ini dilakukan dengan mempertimbangkan kapasitas beberapa industri pengolahan susu yang telah beroperasi di Indonesia, sebagaimana disajikan pada Tabel 1.1. CV Cita Nasional memiliki kapasitas produksi sebesar 8.019 ton/tahun, sedangkan PT Susu KPBS Pangalengan (PT SKP) memiliki kapasitas produksi sebesar 6.600 ton/tahun. Selain itu, PT Industri Susu Alam Murni (PT ISAM) memiliki kapasitas pengolahan susu sebesar 33.000 ton/tahun. Kapasitas PT ISAM tersebut merupakan kapasitas total pengolahan berbagai produk susu, sehingga tidak seluruhnya dialokasikan untuk produksi yogurt. Berdasarkan perbandingan tersebut, kapasitas produksi sebesar 8.500 ton/tahun dipilih karena berada pada kisaran kapasitas industri pengolahan susu yang telah beroperasi di Indonesia. Kapasitas tersebut sedikit lebih besar dibandingkan CV Cita Nasional dan PT Susu KPBS Pangalengan (PT SKP), namun masih berada jauh di bawah kapasitas PT Industri Susu Alam Murni (PT ISAM). Oleh karena itu, kapasitas 8.500 ton/tahun dinilai layak sebagai kapasitas produksi pada pra-rancangan pabrik yogurt berbahan baku susu sapi karena realistis untuk pabrik baru serta masih memiliki peluang pengembangan kapasitas di masa

mendatang.

1.3 Tinjauan Pustaka

1.3.1 Susu Sapi

Susu sapi merupakan cairan bernutrisi tinggi yang dihasilkan oleh kelenjar mammae sapi dan secara alami berfungsi sebagai sumber gizi utama bagi anak sapi maupun manusia. Susu mengandung komponen nutrisi lengkap, termasuk protein, lemak, karbohidrat (terutama laktosa), vitamin, serta mineral esensial, yang menjadikannya salah satu pangan paling kaya gizi secara biologis. Komposisi kimia susu sapi umumnya terdiri atas sekitar 87% air, 3-4% lemak, 3.2-3.4% protein, 4.7-4.9% laktosa, dan $\pm 0.7\%$ mineral, meskipun variasi dapat terjadi tergantung ras sapi, pakan, dan kondisi lingkungan (Food and Agriculture Organization (FAO), 2025).

Protein susu tersusun atas sekitar 80% kasein dan 20% whey protein, yang keduanya berperan penting dalam pembentukan struktur *gel* dan tekstur pada produk fermentasi seperti yogurt. Selain sebagai sumber energi dan asam amino esensial, susu juga mengandung peptida bioaktif yang memiliki aktivitas fisiologis, termasuk antihipertensi, antimikroba, antioksidan, dan imunomodulator, dan senyawa bioaktif ini semakin meningkat selama proses fermentasi (Samtiya et al., 2022).

1.3.2 Yogurt

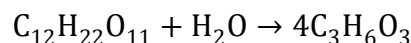
Yogurt adalah produk olahan susu yang dihasilkan melalui fermentasi oleh bakteri asam laktat, terutama *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* dan

Streptococcus thermophilus. Bakteri ini bekerja secara simbiotik untuk mengubah laktosa menjadi asam laktat, sehingga pH susu menurun dan protein, terutama kasein, menggumpal membentuk tekstur kental serta rasa khas yogurt (WULANNINGSIH, 2022). Untuk yogurt dari susu sapi (*whole-milk*), per 100 gram kira-kira mengandung ± 61 kcal energi, $\pm 3.5\text{--}3.7$ g protein, $\pm 3.2\text{--}3.3$ g lemak, dan $\pm 4.6\text{--}4.7$ g karbohidrat (termasuk laktosa/ gula susu), serta air sekitar 87–88% (Arnarson, 2023). Mineral-mineral esensial seperti kalsium ($\pm 120\text{--}121$ mg), fosfor (± 95 mg), kalium (± 155 mg), magnesium, zinc, dan sejumlah mikronutrien lain juga hadir dalam yogurt menjadikannya sumber nutrisi makro dan mikro yang relatif seimbang (VitaHoy.ch, 2018). Selama proses fermentasi terbentuk juga peptida bioaktif yang memiliki manfaat kesehatan, seperti antioksidan, antimikroba, dan imunomodulator, serta mendukung pencernaan (Noviyanti et al., 2021).

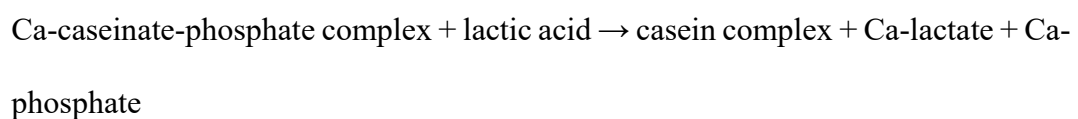
Manfaat yogurt sebagai pangan fungsional mencakup dukungan kesehatan pencernaan dan keseimbangan mikrobiota usus, kemudahan toleransi laktosa karena sebagian laktosa telah diubah, penyediaan protein dan mineral yang mendukung kesehatan tulang dan metabolisme, serta efek bioaktif dari peptida yang mendukung kesehatan secara umum (Astuty et al., 2021). Oleh karena itu, yogurt tidak hanya sekadar produk susu fermentasi biasa, tetapi juga merupakan pangan fungsional bernilai gizi tinggi dengan manfaat kesehatan tambahan, sehingga sangat sesuai sebagai produk unggulan dari pabrik berbahan baku susu sapi murni.

1.3.3 Pemilihan Proses

Metode yang digunakan dalam pembuatan produk ini adalah fermentasi. Fermentasi merupakan proses pengolahan yang memanfaatkan aktivitas mikroorganisme untuk menguraikan senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana. Senyawa kompleks, seperti protein yang terdapat pada bahan pangan, dipecah menjadi komponen sederhana dengan bantuan enzim yang dihasilkan oleh mikroorganisme dalam kondisi yang terkontrol (Siddiqui et al., 2023). Dalam proses ini, fermentasi dilakukan menggunakan susu sapi murni sebagai bahan dasar, kemudian ditambahkan bakteri *Lactobacillus bulgaricus* dan *Streptococcus thermophilus* sebagai kultur starter. Kedua bakteri menghasilkan enzim β -galaktosidase yang menghidrolisis laktosa menjadi glukosa dan galaktosa, yang selanjutnya dimetabolisme melalui jalur *Embden–Meyerhof* hingga membentuk piruvat. Piruvat selanjutnya, direduksi oleh enzim laktat dehidrogenase menjadi asam laktat, sesuai reaksi kimia (Tamime & Robinson, 1999) :



Akumulasi asam laktat menyebabkan penurunan pH susu hingga mendekati titik isoelektrik kasein. Pada kondisi ini, kompleks kalsium, kaseinat, dan fosfat mengalami destabilisasi dan terpecah sehingga kasein berkoagulasi membentuk *gel*, melalui reaksi:



Koagulasi ini menghasilkan struktur *gel* protein yang menjadi ciri khas yogurt, sehingga seluruh perubahan susu menjadi yogurt terutama dikendalikan oleh fermentasi laktosa menjadi asam laktat dan pembentukan *gel* kasein akibat penurunan pH.

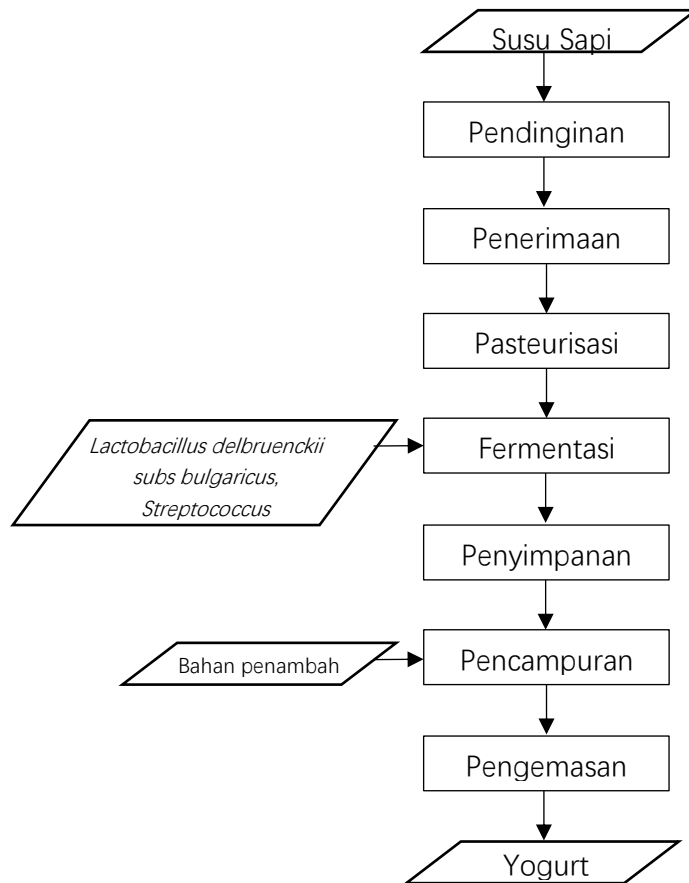
Secara umum *yoghurt* dapat diklasifikasikan menjadi dua metode yaitu *set yoghurt* dan *stirred yoghurt* (Tamime & Robinson, 1999). *Set yoghurt* merupakan *yoghurt* yang difermentasi langsung di dalam kemasan akhir tanpa proses pengadukan, sehingga membentuk struktur *gel* yang utuh dengan viskositas relatif tinggi. Namun, tidak adanya proses pengadukan menyebabkan distribusi asam laktat kurang merata, sehingga dapat menimbulkan perbedaan tingkat keasaman dalam produk. Sebaliknya, *stirred yoghurt* diproduksi melalui fermentasi yang diikuti dengan proses pengadukan, sehingga menghasilkan tekstur yang lebih homogen dan viskositas yang lebih rendah (Guénard-Lampron et al., 2019). Berdasarkan karakteristiknya, metode *stirred yoghurt* lebih tepat diterapkan dalam pra-rancangan pabrik *yoghurt* dari susu sapi, karena mampu menghasilkan produk dengan viskositas rendah dan pH yang lebih seragam. Sebaliknya, pada metode *set yoghurt*, viskositas yang tinggi dan kurang meratanya distribusi asam laktat dapat menyebabkan variasi tingkat keasaman, sehingga rasa asam produk tidak konsisten. Dengan demikian, penggunaan metode *stirred yoghurt* lebih sesuai untuk memenuhi spesifikasi mutu dan konsistensi produk yang diinginkan.

Tabel 1.7 Pemilihan Proses

Aspek	Set Yogurt	Stirred Yogurt
Proses Fermentasi	langsung di dalam kemasan	Dalam tangki fermentasi
Pengadukan	Tanpa pengadukan	Ada pengadukan
Tekstur	Gel utuh dengan viskositas tinggi	Lebih homogen, viskpsitas lebih rendah
Distibusi Asam Laktat dan pH	Kurang merata	Lebih merata

Secara umum, tahapan pembuatan *stirred yoghurt* pada berbagai industri memiliki prinsip yang sama, yaitu fermentasi yang diikuti dengan proses pengadukan, sementara perbedaannya terletak pada kondisi operasi. Oleh karena itu, dalam pra-rancangan pabrik ini digunakan pendekatan prinsip kerja yang mengacu pada praktik industri PT Greenfields sebagai pabrik *yoghurt* yang telah berdiri dan beroperasi secara komersial. Proses pengadukan berperan penting dalam pengendalian sifat reologi *yoghurt*, terutama viskositas dan kekakuan, sehingga harus dikendalikan dengan baik agar tidak merusak struktur protein. Pada skala industri, pengadukan umumnya dilakukan selama 5–10 menit untuk memperoleh karakteristik tekstur yang diinginkan tanpa menurunkan kualitas produk (Guénard-Lampron et al., 2019). Pembuatan *yoghurt stirred* dari susu sapi dilakukan dalam

beberapa tahapan, utama yaitu (Fitriana & Salsabila, 2017) :



Gambar1. 5 Diagram alir produksi yoghurt stirred

1. Penerimaan, penanganan, dan penyimpanan susu

Tahap penerimaan susu merupakan langkah awal yang penting dalam produksi *stirred yoghurt*, di mana susu segar yang dikumpulkan secara bulk dari peternakan diterima di pabrik menggunakan *road tanker*, kemudian ditakar atau ditimbang untuk memastikan akurasi volume yang diterima. Setelah dilakukan pengambilan sampel untuk analisis kimia dan mikrobiologis, susu disaring guna menghilangkan kontaminan fisik seperti jerami dan kotoran. Selanjutnya, susu didinginkan hingga $<5^{\circ}\text{C}$ dengan *plate cooler* sebelum disimpan di tangki untuk menjaga kualitas dan

mencegah pertumbuhan mikroba selama menunggu proses berikutnya. Tahap ini memastikan bahwa hanya susu dengan mutu baik yang dapat diproses lebih lanjut melalui standardisasi, homogenisasi, dan perlakuan panas sebagai prasyarat pembentukan kualitas *yoghurt* yang optimal.

2. Pasteurisasi

Susu yang telah diterima kemudian dipasteurisasi pada suhu 95°C selama 5 menit. Tahap ini bertujuan untuk membunuh mikroorganisme patogen, mengurangi mikroba perusak, serta menginaktivasi enzim yang dapat menyebabkan perubahan rasa dan kualitas susu. Pemilihan suhu tinggi pada proses yogurt diperlukan untuk mengubah struktur protein *whey* dan kasein, sehingga dapat membentuk *gel* yogurt yang lebih kuat dan kental saat fermentasi. Proses ini menjadi langkah kritis dalam menghasilkan tekstur yogurt yang baik.

3. Homogenisasi

Susu yang telah dipasteurisasi kemudian dihomogenisasi pada tekanan 200 bar menggunakan alat *homogenizer*. Tujuan homogenisasi adalah mengecilkan ukuran globula lemak sehingga tersebar secara seragam dalam susu, sehingga mencegah terjadinya pemisahan fase lemak selama proses fermentasi maupun penyimpanan.

4. Fermentasi dalam Tangki

Susu terhomogenisasi kemudian dialirkan ke tangki fermentasi stainless steel yang bersifat tertutup dan steril. Tahap fermentasi dilakukan dengan inokulasi *starter culture* spesifik *yoghurt*, yaitu *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* dan *Streptococcus thermophilus* dalam proporsi seimbang. Fermentasi

dilaksanakan pada suhu 43°C selama 6–7 jam hingga pH turun mencapai $\pm 4,4$. Selama fermentasi, laktosa diubah menjadi asam laktat, yang menyebabkan koagulasi protein susu sehingga terbentuk gel *yoghurt*. Pada sistem produksi ini, fermentasi menghasilkan koagulum utuh, sehingga Setelah selesai tahap ini *yoghurt* belum diaduk (masih *set* seperti *yoghurt set*).

5. Pendinginan Setelah Fermentasi (*Buffer tank*)

Setelah pH dan tekstur sesuai, yogurt dialirkan menuju *buffer tank* yang bersuhu 18–20°C. Pendinginan ini bertujuan menghentikan aktivitas bakteri starter sehingga pH tidak terus turun dan yogurt tidak menjadi terlalu asam. Tangki penyangga ini juga berfungsi sebagai penampungan sementara sebelum tahap pengolahan berikutnya, sehingga alur produksi tetap lancar dan kapasitas fermentasi dapat dimaksimalkan pada *shift* berikutnya. Pada tahap ini koagulum masih terjaga struktur aslinya.

6. *Blending* (Pengadukan dan Penambahan Gula)

Yogurt dari *buffer tank* kemudian dikirim ke tangki *mixing/blending* untuk dilakukan pengadukan terkontrol hingga koagulum pecah dan berubah menjadi tekstur *stirred*. Pada tahap ini, bahan perasa seperti gula ditambahkan sesuai formulasi produk. Penambahan dilakukan pada bagian bawah tangki untuk menjamin pencampuran homogen dan mencegah terbentuknya gumpalan. Proses *blending* mengubah gel padat hasil fermentasi menjadi *yoghurt stirred* yang teksturnya lebih cair dan mudah dikonsumsi.

7. *Filling dan Packaging*

Yoghurt yang sudah tercampur secara homogen kemudian dialirkan ke *filling machine* untuk dikemas sesuai jenis kemasan yang digunakan. Kemasan dapat berupa cup atau botol plastik dengan penutup yang sesuai untuk menjaga kesegaran produk. Proses pengisian dilakukan dalam kondisi higienis menggunakan sistem tertutup untuk mencegah kontaminasi selama pengemasan. Setelah kemasan ditutup rapat, produk kemudian melewati tahap pelabelan sebelum didistribusikan sebagai *yoghurt stirred* siap edar ke konsumen.

1.4 Tinjauan Termodinamika dan Kinetika

1.4.1 Tinjauan Termodinamika

Proses produksi *yoghurt* dari susu sapi melibatkan beberapa unit operasi dengan konsumsi energi utama, yaitu pasteurisasi, homogenisasi, fermentasi, pendinginan, dan pengemasan, dimana pasteurisasi dan homogenisasi merupakan tahap paling intensif energi karena melibatkan pemanasan dan tekanan tinggi,

1. Entalpi Pembentukan (ΔH_f)

Entalpi pembentukan (ΔH_f) merupakan perubahan entalpi yang terjadi ketika 1 mol suatu senyawa terbentuk dari unsur-unsurnya dalam kondisi standar, yaitu pada suhu 298,15 K dan tekanan 1 atm. Besarnya nilai entalpi pembentukan ini sangat penting dalam analisis termodinamika suatu reaksi, karena digunakan untuk menghitung perubahan entalpi reaksi (ΔH_{rxn}) serta jumlah panas yang dilepaskan atau diserap selama reaksi berlangsung. Informasi ini menjadi krusial dalam

perancangan reaktor, terutama untuk menentukan kebutuhan sistem pendinginan atau pemanasan agar proses produksi berjalan efisien.

Tabel 1.7 Nilai entalpi setiap komponen pada suhu 298,15K

Komponen	$\Delta H_f(\text{kJ/mol})$
$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$	-2221,2
H_2O	-285,8
$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$	-671

Perubahan Entalpi reaksi (ΔH_{rxn}) dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\Delta H_{\text{rx}} = \left(\Delta H_{\text{produk}} - \Delta H_{\text{reaktan}} \right)_{298,15}$$

$$\Delta H_{\text{rx}} = 4\Delta H_{298,15}(\text{CH}_3\text{OH}) - \left[\Delta H_{298,15}(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) + \Delta H_{298,15}(\text{H}_2\text{O}) \right]$$

$$\Delta H_{\text{rx}} = 4(-671) - [(-2221,2) - (285,8)]$$

$$\Delta H_{\text{rx}} = -2684 - (-2507)$$

$$\Delta H_{\text{rx}} = -177 \text{ kJ/mol}$$

Berdasarkan perhitungan perubahan entalpi reaksi, diperoleh nilai (ΔH_{rxn}) sebesar -177 kJ/mol, yang menunjukkan bahwa reaksi ini bersifat *eksoterm*. Hal ini berarti reaksi melepaskan energi panas ke lingkungan, sehingga secara termodinamika reaksi cenderung berlangsung spontan dari sisi entalpi. Temuan ini

memberikan informasi penting bagi perancangan reaktor, khususnya dalam pengendalian suhu dan efisiensi energi selama proses berlangsung.

2. Energi Bebas Gibbs

Energi bebas Gibbs (ΔG) merupakan besaran termodinamika yang mengombinasikan perubahan entalpi dan entropi suatu sistem, digunakan untuk menentukan arah dan spontanitas suatu reaksi pada suhu dan tekanan tertentu. Dengan kata lain, nilai ΔG memberikan informasi mengenai sejauh mana suatu reaksi dapat berlangsung secara spontan. Reaksi cenderung terjadi secara spontan jika nilai ΔG negatif, karena hal ini menunjukkan bahwa sistem dapat melepaskan energi dan hanya memerlukan sedikit energi eksternal untuk berlangsung. Berikut ini disajikan data energi bebas Gibbs (ΔG°) pada suhu 25°C untuk masing-masing komponen:

Tabel 1.8 Nilai Energi Gibbs setiap komponen pada suhu 298,15K

Komponen	$\Delta G^\circ (kJ/mol)$
$C_{12}H_{22}O_{11}$	-1320,1
H_2O	-237,13
$C_3H_6O_3$	-400

Perubahan Energi Gibbs (ΔG°) dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\Delta G^\circ = \left(\Delta G^\circ_{\text{produk}} - \Delta G^\circ_{\text{reaktan}} \right)_{298,15}$$

$$\Delta G^\circ = 4\Delta G^\circ_{298,15} (CH_3OH) - \left[\Delta G^\circ_{298,15} (C_{12}H_{22}O_{11}) + \Delta G^\circ_{298,15} (H_2O) \right]$$

$$\Delta G^{\circ} = 4(-400) - [(-1320,1) + (-237,13)]$$

$$\Delta G^{\circ} = -1600 - (-1557,23)$$

$$\Delta G^{\circ} = -42,77 \text{ kJ/mol}$$

Berdasarkan hasil perhitungan energi bebas Gibbs standar (ΔG°), diperoleh nilai ΔG° reaksi yang bernilai negatif. Hal ini menunjukkan bahwa reaksi fermentasi pada proses pembuatan yogurt dari susu sapi berlangsung secara spontan pada kondisi standar. Nilai ΔG° yang negatif menandakan bahwa reaksi tidak memerlukan masukan energi eksternal untuk dapat terjadi dengan sifat proses berupa ireversibel, sehingga secara termodinamika proses fermentasi dinilai layak untuk dijalankan. Hasil ini mendukung pemanfaatan fermentasi sebagai proses utama dalam produksi yogurt, serta menjadi dasar penting dalam perancangan dan pengendalian kondisi operasi agar proses berjalan optimal.

1.4.2 Tinjauan Kinetika

Berdasarkan data yang diperoleh, konversi reaksi fermentasi selama waktu operasi 10 jam mencapai sebesar 92,49% (Serna Cock & Rodríguez de Stouvenel, 2006). Selain itu, untuk konstanta kecepatan reaksi rata-rata yogurt dari susu sapi diperoleh sebesar $0,259 \text{ jam}^{-1}$ (Serna Cock & Rodríguez de Stouvenel, 2006)

BAB II.PERANCANGAN PRODUK

2.1 Spesifikasi Produk

2.1 Spesifikasi produk

Komponen	Kandungan (%)
Air	82,63
Protein	2,45
Lemak	2,86
Laktosa	0,27
Asam Laktat	3,59
Mineral	0,57
Gula (Tambahan)	6,99
<i>Cerboxymethyl Cellulose (CMC)</i>	0,6

(Sumber: Tamime & Robinson, 2007)

2.2 Spesifikasi Bahan Baku

Bahan baku utama yaitu susu sapi, di peroleh dari PT Greenfields, Kabupaten Malang. Spesifikasi bahan baku susu sapi ditunjukan pada Tabel 2.2 spesifikasi bahan baku.

2.2 Spesifikasi bahan baku

Komponen	Kandungan (%)
Protein	3,0
Lemak	3,5
Gula (laktosa)	4,5
Mineral	0,7

Air	88,3
-----	------

(Sumber:PT Greenfields, 2021)

2.3 Spesifikasi Bahan Pendamping

Lactobacillus Streptococcus

- Kerajaan : *Bacteria*
- Divisi : *Firmicutes*
- Kelas : *Bacilli*
- Ordo : *Lactobacillales*
- Famili : *Lactobacillaceae*
- Genus : *Lactobacillus*
- Spesies : *Lactobacillus Streptococcus*
- Diperoleh dari : Alibaba Express

Streptococcus thermophilus

- Kerajaan : *Bacteria*
- Divisi : *Firmicutes*
- Kelas : *Bacilli*
- Ordo : *Lactobacillales*
- Famili : *Streptococcaceae*
- Genus : *Streptococcus*
- Spesies : *Streptococcus thermophilus*
- Diperoleh dari : Alibaba Express

Gula (Sukrosa)

- Rumus molekul : $C_6H_{12}O_6$
- Berat Molekul : 342,30 g/mol
- Wujud : Padatan kristal berwarna putih
- Densitas : 1,587 g/cm³
- Titik lebur (1 atm) : 186 °C
- Kelarutan (20 °C) : 203,9 g/100 mL
- Diperoleh dari : Pabrik Gula Kabet Baru, Kabupaten Malang

CMC

- Rumus molekul : $C_8H_{16}NaO_8$
- Berat Molekul : 265.204 g/mol
- Wujud : Serbuk kuning muda
- Densitas : 1,6 g/cm³ ,padat
- Titik lebur (1 atm) : 274°C
- Titik didih (1 atm) : 527.1°C at 760 mmHg
- Kelarutan : *Soluble*
- Diperoleh dari : Alibaba Express

2.4 Pengendalian Kualitas

Pengendalian kualitas merupakan suatu rangkaian kegiatan terencana yang bertujuan untuk memastikan bahwa proses produksi dan produk akhir berada pada tingkat mutu yang telah ditetapkan. Dalam industri pengolahan yogurt dari susu sapi, pengendalian kualitas memiliki peranan yang sangat penting karena bahan

baku susu bersifat mudah rusak dan proses produksinya melibatkan aktivitas mikrobiologis melalui fermentasi. Oleh karena itu, pengendalian kualitas tidak hanya berfungsi sebagai kegiatan inspeksi akhir, tetapi juga sebagai upaya pencegahan untuk menjaga kestabilan mutu produk selama proses berlangsung.

Tujuan pengendalian kualitas adalah menjamin agar yogurt yang dihasilkan memiliki karakteristik fisik, kimia, dan mikrobiologi yang sesuai standar dengan biaya produksi yang efisien. Pengendalian kualitas yang baik akan menghasilkan produk dengan pH, tekstur, rasa, dan keamanan pangan yang konsisten (Tamime & Robinson, 2007). Pengendalian kualitas pada pabrik pengolahan yogurt dari susu sapi meliputi pengendalian kualitas bahan baku dan pengendalian kualitas proses produksi.

a). Pengendalian Kualitas Bahan Baku

Susu sapi sebagai bahan baku utama dalam pembuatan yogurt harus memenuhi persyaratan mutu tertentu agar mampu mendukung proses fermentasi secara optimal. Mutu susu sangat menentukan keberhasilan pertumbuhan bakteri asam laktat serta karakteristik produk akhir yang dihasilkan. Oleh karena itu, pengendalian kualitas bahan baku merupakan tahapan awal yang bersifat kritis dalam keseluruhan sistem produksi yogurt.

Pengendalian kualitas bahan baku dilakukan melalui pengujian sifat fisik, kimia, dan mikrobiologi susu sapi. Pemeriksaan fisik meliputi evaluasi warna dan aroma untuk memastikan kesegaran susu. Secara kimia, pengukuran pH susu segar yang umumnya berada pada kisaran 6,6–6,8 dilakukan untuk mengidentifikasi

kemungkinan terjadinya kerusakan awal. Selain itu, analisis kandungan protein dan lemak diperlukan karena komponen tersebut berperan penting dalam pembentukan struktur gel yogurt. Pengujian mikrobiologi juga dilakukan untuk memastikan jumlah mikroorganisme awal berada dalam batas yang diizinkan sehingga tidak mengganggu proses fermentasi (Walstra et al., 2005)

b). Pengendalian Kualitas Proses Produksi

Pengendalian kualitas proses produksi bertujuan untuk memastikan bahwa setiap tahapan pengolahan yogurt berlangsung sesuai dengan kondisi operasi yang telah ditetapkan. Proses produksi yogurt dari susu sapi meliputi tahap pasteurisasi, fermentasi, dan pendinginan, yang masing-masing memerlukan pengendalian parameter proses secara ketat. Pasteurisasi dilakukan untuk menurunkan jumlah mikroorganisme patogen dan mikroba perusak, sekaligus meningkatkan sifat fungsional protein susu. Pemanasan susu pada suhu tinggi diketahui menyebabkan denaturasi protein whey yang selanjutnya berinteraksi dengan kasein, sehingga meningkatkan kekuatan dan stabilitas struktur gel yogurt (Lucey & Singh, 1997). Selanjutnya, pada tahap fermentasi, pengendalian suhu dan waktu sangat penting untuk mengatur laju pembentukan asam laktat oleh bakteri starter. Fermentasi yang berlangsung pada kondisi terkendali akan menghasilkan pH akhir yogurt pada kisaran 4,0–4,5, yang merupakan karakteristik mutu utama produk yogurt. Setelah fermentasi selesai, pendinginan cepat dilakukan untuk menghentikan aktivitas mikroba dan menjaga kestabilan mutu produk selama penyimpanan.

c). Alat Sistem Kontrol

Untuk mendukung pengendalian kualitas selama proses produksi, pabrik pengolahan yogurt dilengkapi dengan sistem instrumentasi dan kontrol yang berfungsi memantau serta mengendalikan variabel-variabel proses utama. Peralatan sistem kontrol yang digunakan antara lain:

1. Kontroler dan Indikator

Memantau nilai variabel proses (seperti suhu, level, dan laju alir) serta mengendalikan proses agar tetap berada pada nilai yang telah ditetapkan. Dalam kontroler dan Indikator ada beberapa yaitu (Anwar et al., 2025):

- 1) *Temperature Indicator Controller (TIC)*, digunakan untuk memantau dan mengendalikan suhu pada proses seperti pasteurisasi dan fermentasi, karena suhu sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan bakteri starter dan konsistensi yogurt.
- 2) *Flow Controller*, berfungsi untuk mengatur laju aliran susu dan bahan tambahan.
- 3) *Level Indicator Controller (LIC)*, berfungsi untuk mengawasi volume cairan di tangki.

2. Sensor

Mendeteksi perubahan variabel proses dan mengubahnya menjadi sinyal yang dapat dibaca oleh sistem kontrol (Allende-Prieto et al., 2025).

- 1) Sensor suhu (*thermocouple* atau RTD), digunakan untuk mendeteksi perubahan suhu secara *real time*.

- 2) Sensor aliran, berfungsi membaca laju alir susu atau cairan lain.
- 3) Sensor pH, berfungsi ntuk membaca pH selama proses fermentasi, salah satu parameter utama mutu yogurt.

3. Katup dan Akuator

Merupakan elemen pengendali akhir yang berfungsi mengatur aliran fluida berdasarkan sinyal dari *controller*.

- 1) Katup kontrol otomatis (*automatic control valve*), Mengatur aliran berdasarkan sinyal dari *controller*.
- 2) Katup manual (*manual hand valve*), Digunakan operator untuk intervensi langsung jika diperlukan.

4. Aliran sistem kontrol

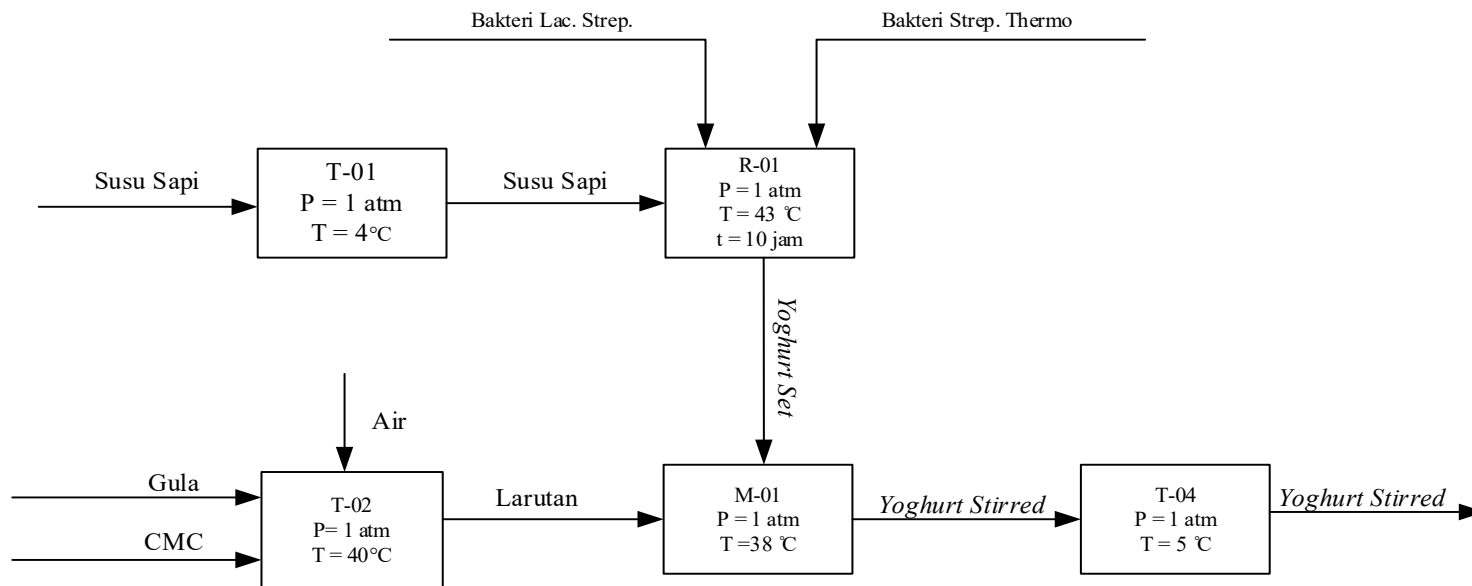
Dalam sistem pengendalian proses pengolahan yogurt, aliran sistem kontrol berfungsi sebagai media transmisi sinyal dan energi antara sensor, kontroler, dan aktuator. Aliran sistem kontrol yang diterapkan meliputi:

- 1) Aliran elektrik, digunakan untuk mentransmisikan sinyal dari sensor ke kontroler serta dari kontroler ke sistem aktuasi.
- 2) Aliran pneumatik, digunakan untuk menggerakkan aktuator seperti katup kontrol otomatis dengan memanfaatkan udara tekan.
- 3) Aliran mekanik, berupa gerakan fisik atau perubahan posisi yang terjadi akibat perubahan level atau aliran fluida dalam sistem proses.

BAB III PERANCANGAN PROSES

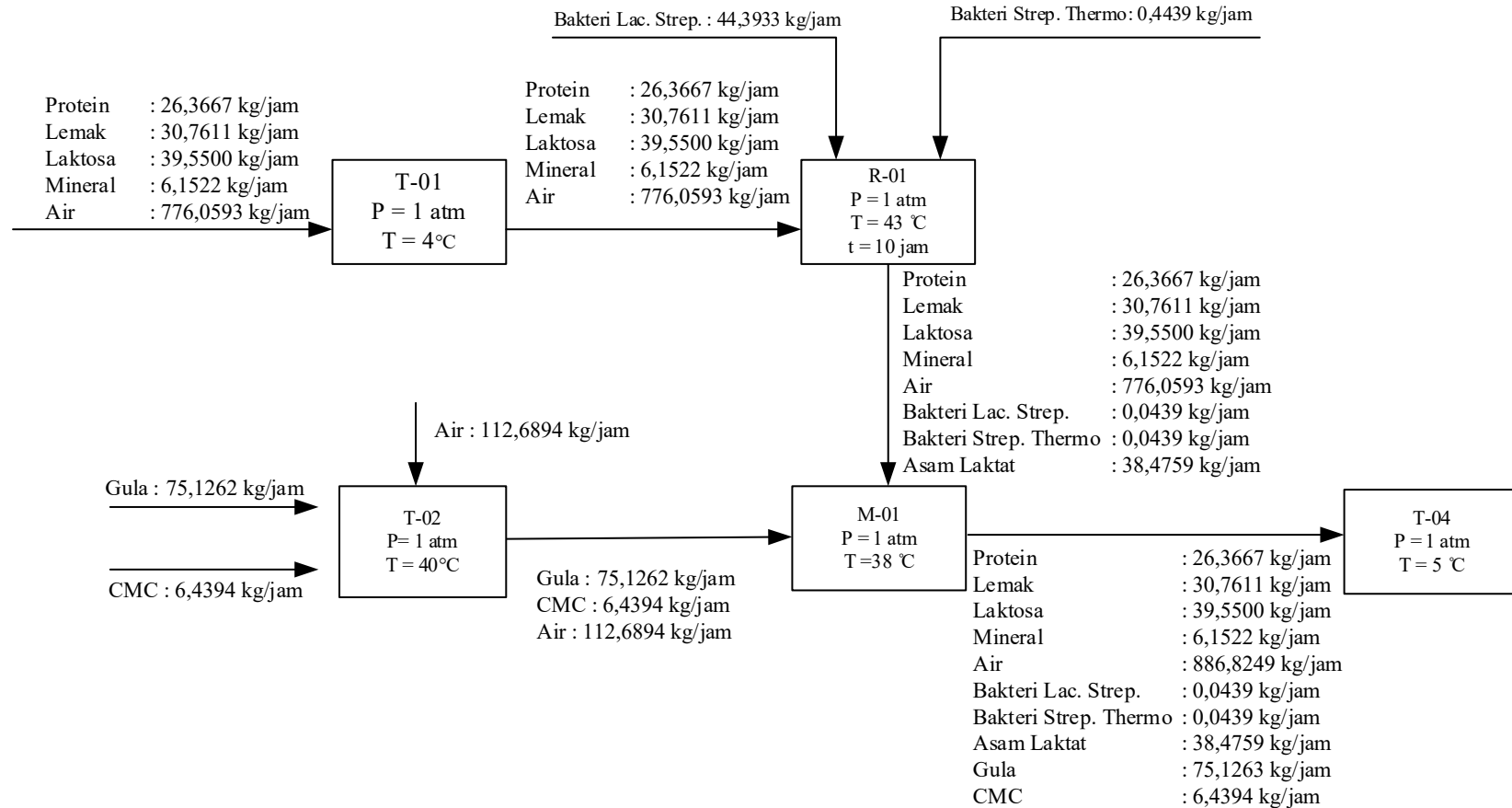
3.1 Diagram Alir Proses dan Material

3.3.1 Diagram Alir Kualitatif



Gambar 3.1 Diagram alir kualitatif

3.3.2 Diagram Alir Kuantitatif



Gambar 3.2 Diagram Alir Kuantitatif

3.2 Uraian Proses

Proses pembuatan *yoghurt* dari susu sapi dibagi menjadi tiga tahap yakni:

- a. Persiapan Bahan Baku
- b. Pembuatan Produk
- c. Penyimpanan Produk

3.2.1 Persiapan Bahan Baku

Susu sapi segar yang diperoleh dari peternakan PT Greenfield diterima pada suhu sekitar 35°C dan dialirkan ke tangki bahan baku susu. Pada unit ini, susu didinginkan pada suhu 4°C (Aryana & Olson, 2017). Pendinginan dilakukan untuk menjaga kualitas susu serta menghambat pertumbuhan mikroorganisme yang dapat menyebabkan kerusakan bahan baku selama penyimpanan sementara. Susu yang telah didinginkan kemudian dialirkan menuju *heat exchanger* untuk menjalani proses pasteurisasi. Pada tahap ini, susu dipanaskan hingga suhu 95°C pada tekanan 1 atm selama 5 menit (Lee & Lucey, 2010). Pasteurisasi bertujuan untuk mengurangi jumlah mikroorganisme patogen dan mikroorganisme pembusuk yang terdapat dalam susu sehingga keamanan dan mutu produk dapat terjamin. Setelah proses pasteurisasi selesai, susu didinginkan kembali pada unit pendingin hingga mencapai suhu 43°C. Suhu tersebut dipilih karena merupakan kondisi optimum untuk pertumbuhan bakteri starter yang digunakan pada proses fermentasi (Lee & Lucey, 2010).

3.2.2 Pembuatan Produk

Susu yang telah mencapai suhu 43°C selanjutnya dialirkan ke dalam fermentor. Pada unit ini ditambahkan kultur starter yang terdiri atas *Streptococcus thermophilus* dan *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. Kedua bakteri tersebut berfungsi untuk mengubah laktosa menjadi asam laktat sehingga pH susu menurun secara bertahap. Penurunan pH menyebabkan protein kasein mengalami koagulasi dan membentuk struktur gel yang menjadi karakteristik utama *yoghurt*. Fermentasi dilakukan pada suhu 43°C hingga diperoleh *yoghurt set* (Lee & Lucey, 2010). Secara terpisah, gula kristal dan CMC dilarutkan dalam tangki pelarutan pada suhu sekitar 40°C (Cancela et al., 2005). Larutan yang telah homogen kemudian dicampurkan dengan *yoghurt* hasil fermentasi di dalam *mixer* pada suhu 38°C (SORDI S.r.l., 2022). Penambahan gula bertujuan untuk meningkatkan cita rasa produk, sedangkan CMC berfungsi sebagai penstabil yang dapat memperbaiki tekstur, meningkatkan viskositas, dan memperpanjang umur simpan *yoghurt* (Prabandari, 2011).

3.2.3 Penyimpanan Produk

Yoghurt yang telah didinginkan hingga suhu 5°C kemudian dialirkan ke tangki produk *yoghurt* untuk penyimpanan sementara sebelum proses pengemasan dan distribusi. Penyimpanan dilakukan pada tekanan atmosfer dan suhu rendah untuk menjaga kestabilan mutu produk. Suhu penyimpanan sebesar 5°C dipertahankan guna menghambat pertumbuhan mikroorganisme kontaminan, mempertahankan sifat fisik dan kimia *yoghurt*, serta menjaga viabilitas bakteri

asam laktat yang masih hidup di dalam produk. Dengan demikian, kualitas *yoghurt* dapat tetap terjaga hingga sampai ke konsumen (Lee & Lucey, 2010).

3.3 Spesifikasi Alat

3.3.1 Reaktor (R-01)

a. Spesifikasi Umum

Kode	:	R-01
Fungsi	:	sebagai tempat fermentasi susu oleh bakteri <i>Lactobacillus bulgaricus</i> dan <i>Streptococcus thermophilus</i> yang mengubah laktosa menjadi asam laktat sehingga terbentuk <i>yoghurt</i>
Jenis /Tipe	:	Reaktor Batch dilengkapi jaket pendingin
Mode Operasi	:	Batch
Jumlah	:	2

b. Kondisi Operasi

Suhu	:	43 °C
Tekanan	:	1 atm
Kondisi Operasi	:	Eksotermis

c. Konstruksi dan Material

Bahan Konstruksi	:	<i>Stainless Steel SA-167 grade 11 Type 316</i>
Diameter (ID) Shell	:	2,9586 m
Tebal Shell	:	0,3750 in
Tinggi Total	:	4,1001 m
Bentuk	:	silinder tegak (vertikal) dengan dasar dan atap berbentuk <i>torispherical</i>
Volume Reaktor	:	21,0294 m ³

d. Spesifikasi Pengaduk

Jenis Pengaduk	:	<i>Marine propeller with 3 blade s pitch=2D</i>
Diameter Pengaduk	:	0,99 m
Lebar baffle	:	0,10 m
Jumlah Impeller :	:	1 buah
Tinggi Baffle	:	2,37 m
Pitch	:	1,97 m
Lebar Blade	:	0,20 m
Panjang Blade	:	0,49 m
Ketebalan Blade	:	0,05 m
Kecepatan Pengaduk	:	84 rpm
Daya Motor	:	3 HP

e. Jaket Pendingin

Fungsi	:	Menjaga suhu operasi pada reactor (R-01) agar tidak berubah
Tebal Jacket	:	0,2479 in
Massa Pendingin	:	14,39 kg/jam

3.3.2 Mixer

a. Spesifikasi Umum

Kode	:	M-01
Fungsi	:	Mencampurkan larutan dari tangki pelarutan ke dalam <i>yoghurt set</i>
Jenis /Tipe	:	Tangki berpengaduk dilengkapi jaket pendingin
Jumlah	:	1 unit

b. Kondisi Operasi

Suhu	:	38 °C
Tekanan	:	1 atm

c. Konstruksi dan Material

Bahan Konstruksi	:	<i>Stainless Steel SA-240 tipe 316 Grade M</i>
Diameter mixer	:	0,8054 m
Tinggi mixer	:	1,2637 m

Bentuk	:	silinder tegak (vertikal) dengan dasar dan atap berbentuk <i>torispherical</i>
Volume mixer	:	0,4619 m ³

d. Spesifikasi Pengaduk

Jenis Pengaduk	:	Anchor
Diameter Pengaduk	:	0,4027 m
Jarak pengaduk	:	0,0532 m
Lebar Blade	:	0,0322 m
Ketebalan Blade	:	0,0161 m
Tinggi blade	:	0,7651
Jumlah Pengaduk	:	1
Kecepatan Pengaduk	:	56 rpm
Daya Pengaduk	:	62,14 Watt

e. Jaket Pendingin

Fungsi	:	Menjaga suhu Operasi pada Mixer (M-01) agar tidak berubah
Tebal Jaket	:	0,1875 in
Massa Air pendingin	:	324 kg/jam

3.3.3 Hopper 1

a. Spesifikasi Umum

Kode	:	HP-01
Fungsi	:	Menampung CMC dan mengumpankan kedalam tangki pelarutan
Jumlah	:	1 unit

b. Kondisi Operasi

Suhu	:	30 °C
Tekanan	:	1 atm

c. Konstruksi dan Material

Bahan Konstruksi	:	<i>Stainless Steel SA-167 Type 304 Grade 3,</i>
Volume	:	0,0132 m ³
Diameter	:	0,4659 m
Tinggi	:	0,2314 m
Tebal shell		0,125 in
Bentuk	:	Silinder vertikal dengan alas berbentuk kerucut

3.3.4 Hopper 2

a. Spesifikasi Umum

Kode	:	HP-02
Fungsi	:	Menampung gula kristal dan mengumpankan kedalam tangki pelarutan
Jumlah	:	1 unit

b. Kondisi Operasi

Suhu	:	30 °C
Tekanan	:	1 atm

c. Konstruksi dan Material

Bahan Konstruksi	:	<i>Stainless Steel SA-167 Type 304 Grade 3</i>
Volume tangki	:	0,1545 m ³
Diameter tangki	:	1,0566 m
Tinggi tangki	:	0,5268 m
Tebal shell		0,125 in
Bentuk	:	Silinder vertikal dengan alas berbentuk kerucut

3.3.5 Alat Penyimpanan Bahan Baku dan Produk

Tabel 31 Spesifikasi Alat Penyimpanan Bahan Baku

Parameter	T-01	T-02
Fungsi	Menyimpan bahan baku susu sapi	Melarutkan gula kristal & cmc dengan air
Jenis	Silinder tegak (vertikal) dengan dasar dan atap berbentuk <i>torispherical</i>	Silinder tegak (vertikal) dengan dasar dan atap berbentuk <i>torispherical</i>
Bahan Konstruksi	<i>Stainless Steel SA-240 tipe 316 Grade M</i>	<i>Stainless Steel SA-240 tipe 316 Grade M</i>
Jumlah Alat	1 Unit	1 Unit
Kondisi Operasi		
- Suhu	4 °C	40°C
- Tekanan	1 atm	1 atm
Dimensi		
- Diameter	3,0480 m	0,5727 m
- Tinggi	3,6576 m	0,5727 m
- Tebal	0,1875 in	0,1875 in
- Volume	26,6742 m ³	0,1474 m ³
Pengaduk		
- Jenis Pengaduk	<i>Marine propeller with 3 blades pitch=2D</i>	<i>Turbine with 6 flat blade</i>
- Diameter	1,0160 m	0,1909 m
- Lebar Pengaduk	0,2032 m	0,0477 m
- Panjang Daun	0,5080 m	-
- Ketebalan <i>blade</i>	0,0508 m	-
- Pitch	2,0320 m	-
- Lebar <i>Baffle</i>	-	0,0325 m
- Jumlah Pengaduk	1	1
- Kecepatan Pengaduk	68 rpm	320 rpm

- Daya Motor	2237,1 Watt	372,85 Watt
Jaket		
- Fungsi	Menjaga suhu Operasi pada Tangki Penyimpanan (T-01) agar tidak berubah	Menjaga suhu Operasi pada Tangki (T-02) agar tidak berubah
- Tebal Jaket	0,25 in	0,1875 in
- Massa Air Pendingin/Pemanas	8546,79 kg/jam	276 kg/jam

Tabel 3.2 Spesifikasi alat penyimpanan (lanjutan)

Parameter	T-03
Fungsi	Menyimpan <i>yoghurt</i> sebelum dikemas
Jenis	Silinder tegak (vertikal) dengan dasar dan atap berbentuk <i>torispherical</i>
Bahan Konstruksi	<i>Stainless Steel, SA-316 grade C</i>
Jumlah Alat	1 Unit
Kondisi Operasi	
- Suhu	5 °C
- Tekanan	1 atm
Dimensi	
- Diameter	3,048 m
- Tinggi	2,134 m
- Tebal	0,1875 in
- Volume	15,560 m ³
Jaket	
- Tebal	0,250 in
- Massa Air Pendingin	11.616,77 kg/jam

3.3.6 Alat Penukar Panas

Pada proses pasteurisasi, apabila waktu penahanan produk lebih dari 16 detik, maka digunakan holding tube untuk mempertahankan susu pada suhu pasteurisasi selama waktu yang ditentukan. *Holding tube* merupakan pipa yang dipasang setelah *heat exchanger* (HE) sehingga produk tetap berada pada suhu pasteurisasi sebelum memasuki tahap pendinginan. Oleh karena itu, diperlukan perhitungan dimensi holding tube agar waktu tinggal yang dihasilkan sesuai dengan kebutuhan proses.

Berikut perhitungan dalam penentuan Panjang *holding tube* :

Pada bagian Holding Tube, perhitungan dapat disusun sebagai berikut:

1. Dasar perancangan

Laju Alir massa, m = kg/jam

Densitas susu, = 948,kg/m³

Diameter Holding Tube, ID = 1,38 in = 0,0350 m

Waktu holding, t = 300 detik

2. Perhitungan debit volumetrik

$$Q = \frac{m}{\rho} = \frac{878,8894 \frac{kg}{jam}}{948,565 kg/m^3} = 0,9266 \frac{m^3}{jam} = 0,000257 \frac{m^3}{s}$$

Menghitung jari-jari pipa

$$r = \frac{D}{2} = \frac{0,0350 m}{2} = 0,0175 m$$

Menghitung Panjang Holding Tube

$$\text{Panjang holding tube } (L) = \frac{t \times Q}{\pi r^2} = \frac{300 \text{ detik} \times 0,000257 \frac{m^3}{s}}{3.14159 \times (0,0175 m)^2}$$

$$= 80,01 m$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, diperoleh panjang holding tube sebesar 80,1 m untuk mencapai waktu holding selama 5 menit pada laju alir dan diameter pipa yang digunakan.

Tabel 3.3 Spesifikasi Alat Penukar Panas

Parameter	HE-01
Fungsi	Memanaskan susu sapi untuk proses pasteurisasi dan mengurangi mikroorganisme patogen dari suhu 4 °C ke 95°C
Jenis	<i>Double Pipe Heat Exchanger</i>
Jenis Bahan	<i>Stainless Steel SA-167 type 316</i>
Jumlah Hairpin	2 buah
Anulus	
- IPS	2 in
- Sch.No	40
- OD	2,38 in
- ID	2,067 in
- <i>Surface Area</i>	0,622 ft ² /ft
Inner Pipe	
- IPS	1,25 in
- Sch.No	40
- OD	1,66 in
- ID	1,38 in
- <i>Surface Area</i>	0,435 ft ² /ft
A	14,928 ft ²
Ud	132,6629 Btu/jam.ft ² .°F
Uc	249,3536 Btu/jam.ft ² .°F
Rd	0,004 Btu/jam.ft ² .°F
Rd min	0,001 Btu/jam.ft ² .°F
Jumlah Alat	1 Unit

Tabel 3.4 Spesifikasi Lanjutan Alat Penukar Panas

Parameter	CL-01	CL-02
Fungsi	Mendinginkan susu sapi dari HE-01 menuju Reaktor dari suhu 95°C ke 43 °C	Mendinginkan susu sapi dari M-01 menuju Tangki Penyimpanan dari suhu 38 °C ke 5 °C
Jenis	<i>Double Pipe Heat Exchanger</i>	<i>Double Pipe Heat Exchanger</i>
Jenis Bahan	<i>Stainless Steel SA-167 type 316</i>	<i>Stainless Steel SA-167 type 316</i>
Jumlah Hairpin	3 buah	3 buah
Anulus		
IPS	2 in	2 in
Sch.No	40	40
OD	2,38 in	2,38 in
ID	2,067 in	2,067 in
<i>Surface Area</i>	0,622 ft ² /ft	0,622 ft ² /ft
<i>Inner Pipe</i>		
IPS	1,25 in	1,25 in
Sch.No	40	40
OD	1,66 in	1,66 in
ID	1,38 in	1,38 in
<i>Surface Area</i>	0,435 ft ² /ft	0,435 ft ² /ft
A	22,392 ft ²	22,392 ft ²
Ud	152,3277 Btu/jam.ft ² .°F	272,3154 Btu/jam.ft ² .°F
Uc	204,4245 Btu/jam.ft ² .°F	449,4782 Btu/jam.ft ² .°F
Rd	0,002 Btu/jam.ft ² .°F	0,0015 Btu/jam.ft ² .°F
Rd min	0,001 Btu/jam.ft ² .°F	0,0010 Btu/jam.ft ² .°F
Jumlah Alat	1 Unit	1 Unit

3.3.7 Alat Transportasi Bahan

Tabel 3.5 Spesifikasi pump

Kode	P-01	P-02	P-03
Fungsi	Mengalirkan susu sapi dari truk menuju T-01	Mengalirkan susu sapi T-01 menuju HE-01 dan CL-01 dan R-01	Mengalirkan yoghurt set dari R-01 ke Mixer-01
Jenis Pompa	<i>Centrifugal Single Stage Pump</i>	<i>Centrifugal Single Stage Pump</i>	<i>Rotary Lobe Pump (Sanitary Positive Displacement Pump)</i>
Bahan Konstruksi	<i>Stainless Steel SA-167 Type 316</i>	<i>Stainless Steel SA-167 Type 316</i>	<i>Stainless Steel SA-167 Type 316</i>
Dimensi Pipa			
- IPS	1 in	1 in	2,50 in
- Sch.No	40	40	40
- ID	1,05 in	1,05 in	2,47 in
- OD	1,32 in	1,32 in	2,88 in
Daya Pompa	29,86 watt	5,39 watt	218 watt
Daya Motor	62,14 Watt	37,29 watt	372,85 watt

Tabel 3.6 Spesifikasi pompa (Lanjutan)

Kode	P-04	P-05	P-06
Fungsi	Mengalirkan cairan dari (T-02) ke <i>Mixer -01</i>	Mengalirkan <i>Yoghurt stireed</i> dari M-01 ke CL-02	Mengalirkan Yogurt stireed dari CL-02 ke (T-03)
Jenis Pompa	<i>Centrifugal Single Stage Pump</i>	<i>Rotary Lobe Pump (Sanitary Positive Displacement Pump)</i>	<i>Rotary Lobe Pump (Sanitary Positive Displacement Pump)</i>
Bahan Konstruksi	<i>Stainless Steel SA-167 Type 316</i>	<i>Stainless Steel SA-167 Type 316</i>	<i>Stainless Steel SA-167 Type 316</i>
Dimensi			
- IPS	0,50 in	1,00 in	1,00 in
- Sch.No	40	40	40
- OD	0,62 in	1,05 in	1,05 in
- ID	0,84 in	1,32 in	1,32 in
Daya Pompa	4,27 watt	36,35 Watt	104,57 Watt
Motor Standar	37,29 watt	124,28 Watt	372,85 Watt

3.4 Neraca Massa

1. Neraca Massa Reaktor (R-01)

Tabel 3.7 Neraca Massa Reaktor (R-01)

Komponen	Input						Output	
	F4		F5		F6		F7	
	kg/jam	kg/batch	kg/jam	kg/batch	kg/jam	kg/batch	kg/jam	kg/batch
Protein	26,3667	263,6668	-	-	-	-	26,37	263,6668
Lemak	30,7611	307,6113	-	-	-	-	30,76	307,6113
Laktosa	39,5500	395,5002	-	-	-	-	3,00	29,9789
Mineral	6,1522	61,5223	-	-	-	-	6,15	61,5223
Air	776,0593	7760,5934	-	-	-	-	774,14	7741,3554
Bakteri Lac. Strep.	-	-	0,0439	0,4394	-	-	0,04	0,4394
Bakteri Strep. Thermo	-	-	-	-	0,0439	0,4394	0,04	0,4394
Asam Laktat	-	-	-	-	-	-	38,48	384,7593
Sub Total	878,8894	8788,894	0,0439	0,4394	0,0439	0,4394	878,98	8789,7729
Total (kg/jam)	878,9773						878,9773	
Total (kg/batch)	8789,7727						8789,7727	

2. Neraca Massa Tangki Penyimpanan Bahan Baku (T-01)

Tabel 3.8 Neraca Massa Tangki Penyimpanan Bahan Baku (T-01)

Komponen	Input	Output
	F1	F2
	kg/jam	kg/jam
Protein	26,3667	26,3667
Lemak	30,7611	30,7611
Laktosa	39,5500	39,5500
Mineral	6,1522	6,1522
Air	776,0593	776,0593
Sub Total	878,8894	878,8894
Total (kg/jam)	878,8894	878,8894

3. Neraca Massa Tangki Pelarutan (T-02)

Tabel 3.9 Neraca Massa Tangki Pelarutan (T-02)

Komponen	Input			Output
	F8	F9	F10	F11
	kg/jam	kg/jam	kg/jam	kg/jam
Gula	75,1263	-	-	75,1263
Air	-	112,6894	-	112,6894
cmc	-	-	6,4394	6,4394
Sub Total	75,1263	112,6894	6,4394	194,2551
Total (kg/jam)	75,1263	112,6894	6,4394	194,2551
Total (kg/jam)	194,255			194,2551

4. Neraca Massa Mixer (M-01)

Tabel 3.10 Neraca Massa Mixer (M-01)

Komponen	Input		Output
	F7	F11	F12
	kg/jam	kg/jam	kg/jam

Protein	26,3667	-	26,3667
Lemak	30,7611	-	30,7611
Laktosa	2,9979	-	2,9979
Mineral	6,1522	-	6,1522
Air	774,1355	112,6894	886,8249
Bakteri <i>Lac. Strep.</i>	0,0439	-	0,0439
Bakteri <i>Strep. Thermo</i>	0,0439	-	0,0439
Asam Laktat	38,4759	-	38,4759
Gula	-	75,1263	75,1263
CMC	-	6,4394	6,4394
Sub Total	878,9773	194,2551	1073,2323
Total (kg/jam)	1073,2323		1073,2323

5. Neraca Massa Tangki Penyimpanan Produk

Tabel 3.11 Neraca Massa Tangki Penyimpanan Produk

Komponen	Input	Output
	F13	F14
	kg/jam	kg/jam
Protein	26,3667	26,3667
Lemak	30,7611	30,7611
Laktosa	2,9979	2,9979
Mineral	6,1522	6,1522
Air	886,8249	886,8249
Bakteri <i>Lac. Strep.</i>	0,0439	0,0439
Bakteri <i>Strep. Thermo</i>	0,0439	0,0439
Asam Laktat	38,4759	38,4759
Gula	75,1263	75,1263
CMC	6,4394	6,4394
Sub Total	1.073,2323	1.073,2323
Total (kg/jam)	1.073,2323	1.073,2323

3.5 Neraca Panas

1. Neraca Panas Tangki Penyimpanan Bahan Baku (T-01)

Tabel 3.12 Neraca Panas Tangki Penyimpanan Bahan Baku (T-01)

Komponen	Input	Output
	Panas ,(Kj/jam)	Panas ,(Kj/jam)
	Susu Sapi	Susu Sapi
Suhu,°C	35	4
Protein	594,27	-1244,22
Lemak	612,09	-1298,93
Laktosa	632,03	-1347,01
mineral	81,65	-172,01
Air	36094,74	-75008,32
Total Panas Komponen	38014,77	-79070,50
Beban Pendingin	-	117,085
Panas Total	38014,77	38014,77

2. Neraca Panas Heat Exchanger (HE-01)

Tabel 3.13 Neraca Panas Heat Exchanger (HE-01)

Komponen	Input	Output
	Panas ,(Kj/jam)	Panas ,(Kj/jam)
	<i>Susu Sapi</i>	<i>Susu Sapi</i>
Suhu,°C	4	95
Protein	-1244,2227	4179,59
Lemak	-1298,9319	4178,42
Laktosa	-1347,0122	4266,86
mineral	-172,0137	565,05
Air	-75008,3168	258305,02
Total Panas Komponen	-79070,4973	271494,95
Beban Panas	350565,4425	-

Panas Total	271494,9452	271494,9452
--------------------	--------------------	--------------------

3. Neraca Panas Cooler 1 (CL-01)

Tabel 3.14 Neraca Panas Cooler 1 (CL-01)

Komponen	Input	Output
	Panas ,(Kj/jam)	Panas ,(Kj/jam)
	Susu Sapi	Susu Sapi
Suhu,°C	95	43
Protein	4179,591253	1070,44
Lemak	4178,42216	1098,49
Laktosa	4266,863049	1132,85
mineral	565,0520314	146,80
Air	258305,0167	65153,37
Total Panas Komponen	271494,9452	68601,94
Beban Pendingin	-	202,893
Panas Total	271494,9452	271494,9452

4. Neraca Panas Reaktor (R-01)

Tabel 3.15 Neraca Panas Reaktor (R-01)

Komponen	Input	Output
	Panas ,(Kj/jam)	Panas ,(Kj/jam)
	Susu Sapi	<i>Yoghurt Set</i>
Suhu,°C	43	43
Protein	1070,4444	1070,44
Lemak	1098,4877	1098,49
Laktosa	1132,8453	85,87
mineral	146,7983	146,80
Air	65153,3686	64991,86
Bakteri <i>Lac.strep</i>	-	-
Bakteri <i>Strep .Thermo</i>	-	-

Asam laktat	-	181,27
Total Panas Komponen	68601,9443	67574,73
Panas Reaksi	-18,9173	-
Beban Pendingin	-	1.008,302
Panas Total	68583,0270	68583,0270

5. Neraca Panas Tangki Pelarutan (T-02)

Tabel 3.16 Neraca Panas Tangki Pelarutan (T-02)

Komponen	Input	Output
	Panas ,(Kj/jam)	Panas ,(Kj/jam)
	Campuran gula kristal,cmc dan air	Larutan gula kristal,cmc dan air yang telah tercampur
Suhu,°C	30	40
Gula	473,30	1419,89
Air	2355,21	7065,63
cmc	59,24	177,73
Total Panas Komponen	2887,75	8663,24
Beban Panas	5775,492	-
Panas Total	8663,24	8663,24

6. Neraca Panas Mixer (M-01)

Tabel 3.17 Neraca Panas Mixer (M-01)

Komponen	Input		Output
	Panas ,(Kj/jam)		Panas ,(Kj/jam)
	<i>Yoghurt Set</i>	Larutan	<i>Yoghurt Stirred</i>
Suhu,°C	43	40	38
Protein	1070,44		772,76
Lemak	1.098,49		794,84

Laktosa	85,87	62,18
Mineral	146,80	106,10
Air	74452,60	53676,69
Bakteri <i>Lac. Strep.</i>	-	-
Bakteri <i>Strep. Thermo</i>	-	-
Asam Laktat	181,27	130,59
Larutan gula dan cmc	8663,24	7508,14
Total Panas Komponen	85698,70	63051,30
Beban Pendingin	-	22647,40
Panas Total	85698,70	85698,70

7. Neraca Panas Cooler 2 (CL-02)

Tabel 3.18 Neraca Panas Cooler 2 (CL-02)

Komponen	Input	Output
	Panas ,(Kj/jam)	Panas ,(Kj/jam)
	<i>Yoghurt Stirred</i>	<i>Yoghurt Stirred</i>
Suhu, °C	38	5
Protein	772,76	-1185,10
Lemak	794,84	-1236,69
Laktosa	62,18	-97,20
Mineral	106,10	-163,81
Air	53676,69	-81659,28
Bakteri <i>Lac. Strep.</i>	-	-
Bakteri <i>Strep. Thermo</i>	-	-
Asam Laktat	130,59	-197,63
Larutan gula dan cmc	7508,14	-11550,98
Total Panas Komponen	63051,30	-96090,70
Beban Pendingin	-	159141,9926
Panas Total	63051,30	63051,30

8. Neraca Panas Tangki Penyimpanan Produk (T-03)

Tabel 3. 19 Neraca Panas Tangki Penyimpanan Produk (T-03)

Komponen	Input	Output
	Panas ,(Kj/jam)	Panas ,(Kj/jam)
	<i>Yoghurt Stirred</i>	<i>Yoghurt Stirred</i>
Suhu, °C	4	5
Protein	-1.185,10	-1.244,22
Lemak	-1.236,69	-1.298,93
Laktosa	-97,20	-102,10
Mineral	-163,81	-172,01
Air	-81.659,28	-85.714,12
Bakteri <i>Lac. Strep.</i>	0,00	0,00
Bakteri <i>Strep. Thermo</i>	0,00	0,00
Asam Laktat	-197,63	0,00
Larutan gula dan cmc	-11.550,98	-11.550,98
Total Panas Komponen	-96.090,70	-100.082,38
Beban Pendingin	-	3.991,68
Panas Total	-96.090,70	-96.090,70

BAB IV

PERANCANGAN PABRIK

4.1 Lokasi Pabrik

Pemilihan lokasi pabrik merupakan salah satu aspek penting dalam perancangan suatu pabrik karena berkaitan erat dengan aspek teknis, operasional, dan ekonomis yang akan memengaruhi keberlangsungan proses produksi. Penentuan lokasi yang tepat dapat meningkatkan efisiensi distribusi bahan baku, mempermudah pemasaran produk, menjamin ketersediaan utilitas, serta menekan biaya operasional secara keseluruhan. Oleh karena itu, pabrik *yoghurt* susu sapi dengan kapasitas produksi 8.500 ton/tahun direncanakan didirikan di Kecamatan Wagir, Kabupaten Malang, Jawa Timur.



Gambar 4.1 Peta rencana lokasi pabrik

Pemilihan lokasi tersebut didasarkan pada beberapa pertimbangan sebagai berikut:

1. Penyediaan Bahan Baku

Ketersediaan bahan baku merupakan faktor utama dalam menentukan lokasi pabrik karena susu sapi segar sebagai bahan baku utama *yoghurt* memiliki karakteristik mudah mengalami penurunan kualitas apabila penyimpanan dan distribusinya tidak dilakukan secara tepat. Oleh sebab itu, lokasi pabrik dipilih di Kecamatan Wagir, Kabupaten Malang yang berdekatan dengan pemasok utama susu segar, yaitu PT Greenfields Indonesia di kawasan Gunung Kawi. Kedekatan lokasi dengan sumber bahan baku diharapkan mampu menjamin kontinuitas pasokan susu, mempertahankan kualitas bahan baku selama proses distribusi, serta menekan biaya transportasi dan penyimpanan.

2. Pemasaran

Aspek pemasaran merupakan salah satu faktor yang memengaruhi kelayakan pendirian pabrik karena berhubungan langsung dengan distribusi produk kepada konsumen. Kabupaten Malang memiliki posisi geografis yang strategis dan didukung oleh akses transportasi yang memadai menuju berbagai wilayah pemasaran potensial di Jawa Timur, seperti Kota Malang, Surabaya, Kediri, Blitar, dan sekitarnya. Selain itu, meningkatnya minat masyarakat terhadap produk pangan fermentasi yang bernilai gizi tinggi memberikan peluang pasar yang baik bagi produk *yoghurt*.

3. Utilitas

Ketersediaan air merupakan faktor penting dalam industri *yoghurt* karena digunakan untuk proses produksi, sanitasi, pendinginan, dan kebutuhan domestik.

Sumber air utilitas direncanakan berasal dari sungai metro yang memiliki ketersediaan debit yang memadai. Air sungai kemudian diolah, agar memenuhi standar.

4. Tenaga Kerja

Tenaga kerja merupakan salah satu faktor penting dalam menunjang keberlangsungan kegiatan produksi. Kabupaten Malang memiliki ketersediaan sumber daya manusia yang cukup memadai, baik tenaga kerja tingkat menengah maupun tenaga profesional lulusan perguruan tinggi. Selain aspek pendidikan, keterampilan teknis, kedisiplinan, dan pengalaman kerja menjadi faktor yang dipertimbangkan dalam proses rekrutmen guna memperoleh tenaga kerja yang kompeten dan produktif.

5. Transportasi

Fasilitas transportasi menjadi aspek pendukung yang penting dalam kegiatan operasional pabrik, baik untuk pengangkutan bahan baku maupun distribusi produk akhir. Kecamatan Wagir memiliki akses jalan yang cukup baik sehingga mempermudah mobilitas kendaraan distribusi susu segar dari pemasok menuju pabrik serta pemasaran produk *yoghurt* ke berbagai daerah tujuan secara efektif dan efisien.

6. Letak Geografis

Secara geografis, Kecamatan Wagir memiliki kondisi lingkungan yang cukup mendukung untuk pendirian industri karena relatif aman dari risiko bencana alam seperti banjir besar dan tanah longsor. Selain itu, kedekatan lokasi dengan

sentra peternakan sapi perah di kawasan Malang turut memberikan keuntungan dalam menjaga keberlanjutan pasokan bahan baku bagi proses produksi *yoghurt*.

4.2 Tata Letak Pabrik

Tata letak pabrik merupakan aspek penting dalam perancangan fasilitas industri karena berpengaruh terhadap efisiensi operasional, keselamatan kerja, dan kelancaran proses produksi. Penempatan area perkantoran, unit proses, gudang bahan baku, serta gudang produk harus dirancang secara optimal agar mendukung kegiatan produksi secara efektif. Faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam perancangan tata letak pabrik meliputi (Timmerhaus & West, 2003):

1. Perluasan Pabrik

Area perluasan perlu disediakan untuk mengakomodasi peningkatan kapasitas produksi maupun penambahan unit proses pada masa mendatang tanpa mengganggu kegiatan operasional pabrik.

2. Harga Tanah

Harga tanah memengaruhi besarnya investasi awal yang diperlukan. Pada lokasi dengan harga tanah yang tinggi, pemanfaatan lahan harus dilakukan secara efisien melalui pengaturan tata ruang yang optimal atau pembangunan fasilitas bertingkat sesuai kebutuhan.

3. Kualitas, Kuantitas, dan Letak Bangunan

Bangunan pabrik harus memenuhi standar teknis dan keselamatan yang berlaku, baik dari segi kekuatan konstruksi maupun kelengkapan fasilitas pendukung. Penempatan bangunan yang teratur akan mempermudah kegiatan operasional, perawatan peralatan, dan mobilitas pekerja di dalam area pabrik.

4. Faktor Keselamatan dan Keamanan

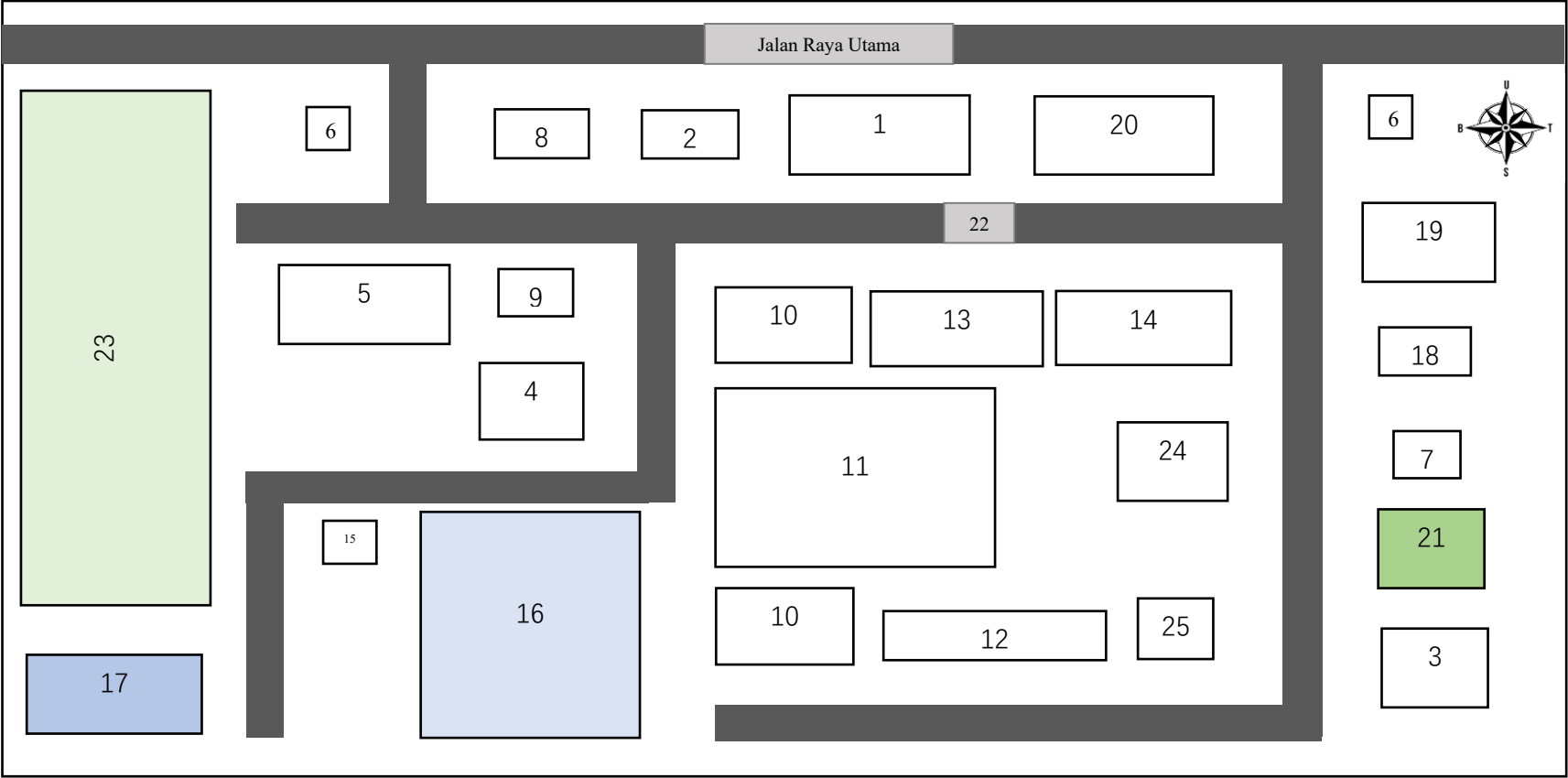
Keselamatan dan keamanan merupakan aspek utama dalam perancangan tata letak pabrik. Penempatan tangki bahan baku, tangki produk, dan tangki bahan bakar harus berada pada area khusus dengan jarak aman antarbangunan untuk mengurangi risiko kebakaran, ledakan, dan kecelakaan kerja. Selain itu, fasilitas keselamatan seperti hidran dan sistem proteksi kebakaran harus tersedia sesuai standar yang berlaku. Adapun rincian kebutuhan luas lahan dan bangunan pabrik disajikan pada Tabel berikut :

Tabel 4.1 Perincian luas tanah dan bangunan pabrik

No	Nama Bangunan	Ukuran (m)	Jumlah	Luas (m ²)
1	Kantor Utama	30 × 20	1	600
2	Kantor Keamanan	15 × 10	1	150
3	Bengkel	15 × 10	1	150
4	Ruang Kontrol	15 × 15	1	225
5	Laboratorium & <i>Quality Control</i>	25 × 20	1	500
6	Pos Keamanan	4 × 4	2	32
7	Kantin	9 × 8	1	72
8	Poliklinik	15 × 10	1	150
9	Tempat Ibadah	10 × 8	1	80
10	Area Disinfeksi	20 × 8	2	320
11	Area Proses	14 × 27	1	387
12	<i>Packaging Line</i>	35 × 12	1	420
13	<i>Area Loading & Unloading</i>	30 × 15	1	450
14	Area Parkir Kendaraan Berat	25 × 20	1	500
15	Gudang Bahan kimia	4 × 4	1	16
16	Gudang Bahan Kering	8 × 8	1	70
17	Gudang Pendingin	7 × 7	1	47
18	Area Utilitas	38 × 38	1	1455
19	IPAL (Pengolahan Limbah)	20 × 10	1	200
20	Area Pemadam Kebakaran	14 × 8	1	112
21	Area Evakuasi	20 × 15	1	300
22	Tempat Parkir Kendaraan	15 × 15	1	225
23	Taman	15 × 10	1	150
24	Jalan	300 × 10	1	3000
25	Daerah Perluasan	70 × 30	1	2100

Tata letak pabrik dirancang untuk menciptakan aliran material dan lalu lintas yang efisien sehingga mendukung kelancaran produksi, keselamatan kerja, dan efisiensi biaya operasional. Perancangan tata letak mempertimbangkan ketersediaan area pengembangan pabrik, penempatan unit proses dengan jarak yang aman, serta pemisahan bangunan penunjang seperti kantor dan laboratorium dari area proses. Selain itu, ruang kontrol, fasilitas utilitas, area penyimpanan, jaringan jalan, jalur perpipaan, dan sistem drainase harus ditempatkan secara optimal untuk memudahkan operasi, pemeliharaan, dan distribusi material di dalam pabrik (Towler & Sinnott, 2021)

Skala 1: 1000



Gambar 4.2 Layout pabrik yogurt

Keterangan :

- | | |
|--|---------------------------------|
| 1. Kantor Utama | 14. Area Parkir Kendaraan Berat |
| 2. Kantor Keamanan | 15. Gudang Bahan Kimia |
| 3. Bengkel | 16. Area Utilitas |
| 4. Ruang Kontrol | 17. IPAL (Pengolahan Limbah) |
| 5. Laboratorium & <i>Quality Control</i> | 18. Area Pemadam Kebakaran |
| 6. Pos Keamanan | 19. Area Evakuasi |
| 7. Kantin | 20. Tempat Parkir Kendaraan |
| 8. Poliklinik | 21. Taman |
| 9. Tempat Ibadah | 22. Jalan |
| 10. Area Disinfeksi | 23. Daerah Perluasan |
| 11. Area Proses | 24. Gudang Bahan Kering |
| 12. <i>Packaging Line</i> | 25. Gudang Pendingin |
| 13. Area Loading & Unloading | |

4.3 Tata letak Mesin/Alat Proses (*Machines Layout*)

Tata letak alat proses merupakan pengaturan posisi dan susunan peralatan yang digunakan dalam kegiatan produksi sehingga tercipta proses yang efisien, aman, dan mudah dioperasikan. Perancangan tata letak peralatan proses perlu dilakukan secara cermat untuk mendukung kelancaran operasional pabrik serta memudahkan kegiatan pengawasan dan pemeliharaan. Beberapa aspek yang perlu diperhatikan dalam perancangan tata letak alat proses adalah sebagai berikut:

1. Aliran Bahan Baku dan Produk

Tata letak peralatan harus dirancang agar aliran bahan baku, bahan antara, dan produk berlangsung secara teratur serta berkesinambungan. Pengaturan aliran yang baik dapat meningkatkan efisiensi proses, mengurangi waktu perpindahan material, serta mendukung kelancaran dan keamanan operasi produksi.

2. Sirkulasi Udara

Sistem sirkulasi udara di area proses harus diperhatikan untuk menjamin kondisi kerja yang aman dan nyaman. Aliran udara yang baik dapat mencegah terjadinya akumulasi gas, uap, atau zat berbahaya pada suatu area tertentu yang berpotensi membahayakan keselamatan pekerja. Selain itu, arah angin dominan perlu dipertimbangkan dalam penempatan peralatan dan fasilitas pendukung.

3. Pencahayaan

Seluruh area pabrik harus memiliki tingkat pencahayaan yang memadai guna mendukung kelancaran aktivitas operasional dan pengawasan proses. Pada area yang memiliki tingkat risiko tinggi, diperlukan sistem penerangan tambahan untuk meningkatkan keselamatan kerja dan memudahkan penanganan kondisi darurat.

4. Aksesibilitas Pekerja dan Kendaraan

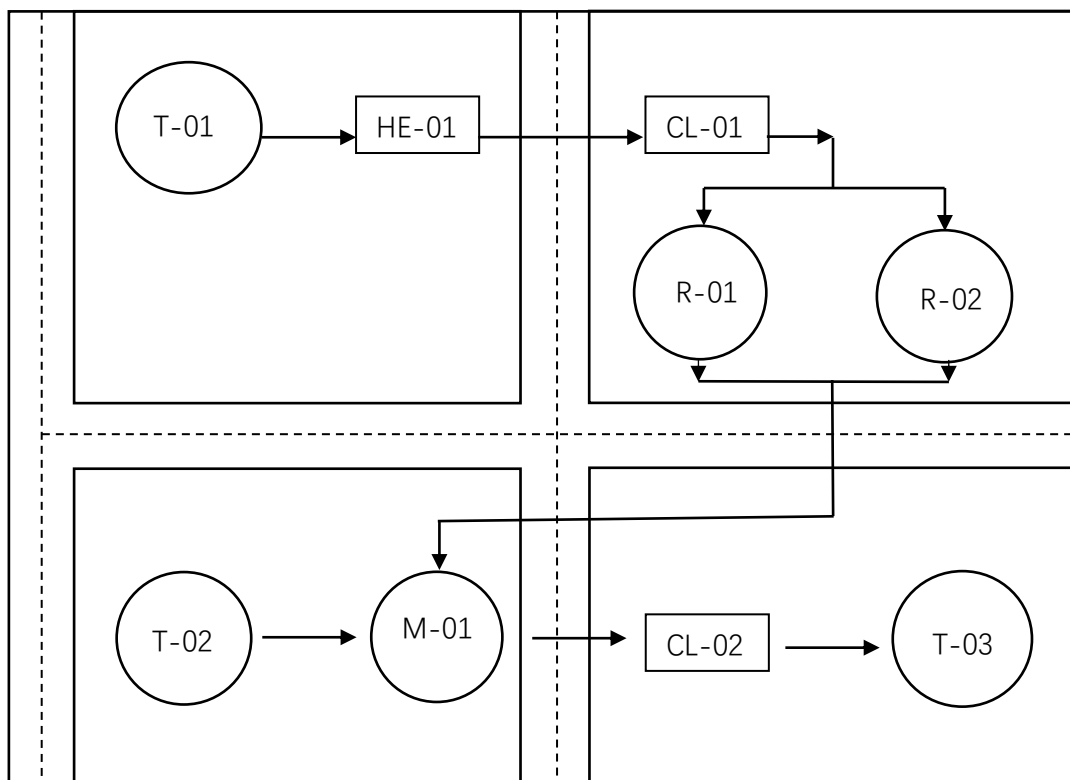
Tata letak peralatan harus memungkinkan pekerja dan kendaraan operasional bergerak dengan mudah dan aman di dalam area pabrik. Akses yang baik akan mempermudah kegiatan inspeksi, pengoperasian, perawatan, maupun perbaikan peralatan apabila terjadi gangguan selama proses produksi berlangsung.

5. Pertimbangan Ekonomi

Penempatan peralatan proses harus dilakukan secara optimal untuk meminimalkan biaya investasi, operasional, dan pemeliharaan. Tata letak yang efisien dapat mendukung kelancaran proses produksi serta meningkatkan produktivitas dan keuntungan perusahaan.

6. Jarak Antar Peralatan

Jarak antarperalatan perlu disesuaikan dengan kondisi operasi dan aspek keselamatan. Peralatan yang beroperasi pada tekanan dan suhu tinggi sebaiknya ditempatkan dengan jarak yang aman dari peralatan lain guna mengurangi risiko penyebaran dampak apabila terjadi kebakaran, ledakan, atau keadaan darurat lainnya. Berdasarkan pertimbangan tersebut, tata letak alat proses pada pabrik *yoghurt* disusun untuk mendukung kelancaran aliran proses, kemudahan operasi dan pemeliharaan, serta menjamin aspek keselamatan dan efisiensi produksi. Tata letak pabrik dan tata letak alat proses disajikan pada gambar berikut.



Gambar 4.3 Tata letak mesin proses

4.4.1 Bentuk Organisasi Perusahaan

Bentuk perusahaan yang dipilih adalah Perseroan Terbatas (PT) yang berbentuk badan hukum. Badan hukum ini disebut perseroan sebab modal terdiri dari penjualan saham dan bank. Perseroan terbatas harus didirikan memakai akte autentik (Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 40 Tahun 2007 Tentang Perseroan Terbatas, 2007). Dasar-dasar pertimbangan pemilihan perusahaan perseroan terbatas adalah sebagai berikut:

1. Kontinuitas perusahaan sebagai badan hukum lebih terjamin sebab tidak tergantung pada pemegang saham, di mana pemegang saham dapat berganti ganti.
2. Pemegang saham mempunyai tanggung jawab yang terbatas terhadap adanya hutang-hutang perusahaan, sehingga resiko pemegang saham hanya terbatas sampai modal yang disetorkan.
3. Dapat memperluas lapangan usaha, karena lebih mudah memperoleh tambahan modal dengan menjual saham-saham baru.
4. Mudah memindahkan hak pemilik dengan menjual saham kepada orang lain.
5. Manajemen dan sosialisasi yang lebih memungkinkan pengelolaan sumber sumber modal secara efisien.
6. Pemegang saham melalui rapat umum pemegang saham dapat memilih direktur yang cakap dan berkualitas untuk menjalankan perusahaan.

Bentuk perusahaan ini dipimpin oleh direksi yang terdiri dari seorang direktur utama dan dibantu oleh direktur lainnya. Direktur dipilih oleh rapat umum anggota,

yang dipilih menjadi direktur tidak selalu orang yang memiliki saham, dapat juga orang lain. Pekerjaan direksi sehari-hari diawasi oleh rapat umum para pemilik saham.

Dewan komisaris berhak mengadakan pemeriksaan sendiri atau dibantu akuntan pabrik apabila perusahaan tidak berjalan sebagaimana mestinya. Direksi dan komisaris dipilih kembali oleh rapat umum pemilik saham setelah masa jabatan habis. Kekuasaan tertinggi dalam perseroan terbatas adalah rapat umum para pemilik saham yang biasanya dilakukan satu tahun sekali.

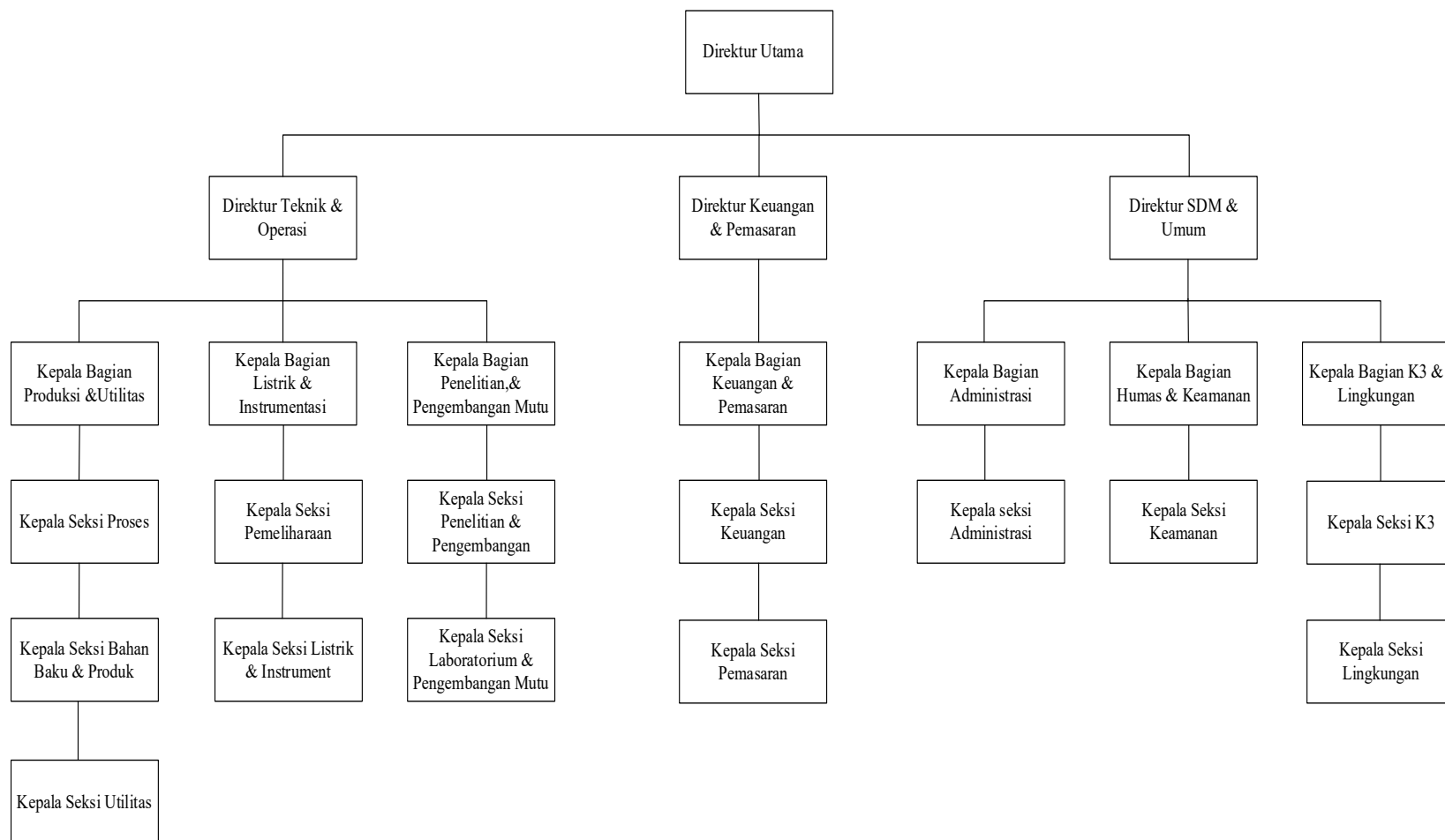
4.4.2 Struktur Organisasi Perusahaan

Struktur organisasi merupakan salah satu unsur penting dalam menunjang keberhasilan suatu perusahaan. Struktur organisasi yang baik dapat memperjelas pembagian tugas, wewenang, dan tanggung jawab setiap bagian sehingga koordinasi serta komunikasi antarbagian dapat berlangsung secara efektif. Dengan demikian, kegiatan operasional perusahaan dapat berjalan dengan lancar dan tujuan perusahaan dapat tercapai secara optimal. Sistem organisasi yang diterapkan pada pabrik ini adalah sistem garis dan staf (*line and staff organization*) (Harahap et al., 2023). Sistem ini dipilih karena memiliki pembagian tugas, wewenang, dan tanggung jawab yang jelas. Setiap karyawan bertanggung jawab langsung kepada satu atasan, sehingga alur koordinasi dan pelaksanaan pekerjaan menjadi lebih teratur. Wewenang dalam organisasi mengalir dari direktur kepada kepala bagian atau kepala departemen, kemudian diteruskan kepada karyawan pada tingkat yang lebih rendah. Selain itu, terdapat staf ahli yang bertugas memberikan saran,

pertimbangan, dan masukan kepada direktur dalam proses pengambilan keputusan.

Beberapa keunggulan sistem organisasi garis dan staf adalah sebagai berikut:

1. Pembagian wewenang dan tanggung jawab yang jelas sehingga setiap karyawan memahami tugas dan perannya dalam organisasi.
2. Proses pengambilan keputusan dan penyampaian instruksi dapat dilakukan dengan lebih cepat karena hubungan antara atasan dan bawahan berlangsung secara langsung.
3. Pelaksanaan kegiatan perusahaan menjadi lebih efektif dan efisien karena setiap bagian memiliki tugas dan tanggung jawab yang terdefinisi dengan baik.
4. Direktur dapat memperoleh masukan dan pertimbangan dari staf ahli sehingga keputusan yang diambil menjadi lebih tepat dan mendukung pencapaian tujuan perusahaan.



Gambar 4.4 Bagan struktur organisasi perusahaan

4.4.3 Jumlah Karyawan

Sumber daya manusia (SDM) merupakan salah satu faktor utama dalam keberlangsungan dan efisiensi operasional pabrik etilen dari ethanol ini. Oleh karena itu, jumlah tenaga kerja serta tingkat pendidikan yang sesuai harus diperhitungkan secara matang agar operasional pabrik berjalan optimal dengan tenaga kerja yang kompeten di bidangnya masing-masing. Dalam perusahaan ini, tenaga kerja dibagi berdasarkan tingkatan jabatan dan divisi yang mencerminkan struktur organisasi fungsional-hierarkis. Setiap jabatan memiliki persyaratan pendidikan minimal sesuai dengan bidang keahliannya masing-masing.

Persyaratan ini bertujuan untuk memastikan bahwa karyawan memiliki kualifikasi yang memadai guna menjalankan tugas dan tanggung jawabnya dengan baik. Berikut adalah rincian jumlah tenaga kerja dan tingkat Pendidikan minimal berdasarkan jabatan di pabrik ini:

Tabel 4.2 Rincian jumlah tenaga kerja

No	Jabatan	Jumlah	Tingkat Pendidikan Minimal
1	Direktur Utama	1	S2 Teknik Kimia / Manajemen Industri
2	Direktur Teknik dan Operasi	1	S2 Teknik Kimia
3	Direktur Keuangan dan Pemasaran	1	S2 Manajemen, Akuntansi, atau Ekonomi
4	Direktur SDM dan Umum	1	S2 Manajemen SDM, Psikologi, atau Manajemen
5	Kepala Bagian Produksi dan Utilitas	1	S1 Teknik Kimia
6	Kepala Bagian Listrik dan Instrumentasi	1	S1 Teknik Elektro / Instrumentasi
7	Kepala Bagian Penelitian, Pengembangan, Pengendalian Mutu	1	S1 Teknik Kimia, Kimia, atau Teknologi Pangan

8	Kepala Bagian Keuangan dan Pemasaran	1	S1 Akuntansi, Manajemen, atau Ekonomi
9	Kepala Bagian Administrasi	1	S1 Administrasi Bisnis / Manajemen
10	Kepala Bagian Humas dan Keamanan	1	S1 Manajemen, Ilmu Komunikasi, atau Hukum
11	Kepala Bagian K3 dan Lingkungan	1	S1 Teknik Lingkungan, Teknik Kimia, atau K3
12	Kepala Seksi Proses	2	S1 Teknik Kimia
13	Kepala Seksi Bahan Baku dan Produk	1	S1 Teknik Kimia atau Teknologi Pangan
14	Kepala Seksi Utilitas	1	S1 Teknik Kimia / Teknik Mesin
15	Kepala Seksi Pemeliharaan	1	S1 Teknik Mesin
16	Kepala Seksi Listrik dan Instrument	1	S1 Teknik Elektro
17	Kepala Seksi Penelitian dan Pengembangan	1	S1 Teknik Kimia, Kimia, atau Teknologi Pangan
18	Kepala Seksi Laboratorium dan Pengembangan Mutu	1	S1 Kimia atau Teknik Kimia
19	Kepala Seksi Keuangan	1	S1 Akuntansi
20	Kepala Seksi Pemasaran	1	S1 Manajemen Pemasaran
21	Kepala Seksi Keamanan	1	D3/S1 Manajemen atau Hukum
22	Kepala Seksi K3	1	S1 K3, Teknik Lingkungan, atau Teknik Kimia
23	Kepala Seksi Lingkungan	1	S1 Teknik Lingkungan
24	Karyawan Produksi	2	SMA/SMK Kimia Industri atau D3 Teknik Kimia
25	Karyawan Utilitas	2	SMA/SMK Teknik Mesin/Listrik atau D3 Teknik Mesin
26	Karyawan Bahan Baku dan Produk	1	SMA/SMK Kimia Industri atau D3 Teknik Kimia
27	Karyawan Listrik, Instrumentasi dan Pemeliharaan	1	SMK Elektro/Mesin atau D3 Teknik Elektro/Mesin
28	Karyawan K3 dan Pengolahan Limbah	1	SMA/SMK atau D3 K3/Teknik Lingkungan
29	Karyawan Kas/Anggaran	2	D3 Akutansi
30	Karyawan Pemasaran/Penjualan	2	D3 Manajemen Pemasaran
31	Karyawan Humas dan Keamanan	2	SMA/SMK atau D3 Manajemen
32	Karyawan Administrasi	2	D3 Administrasi Bisnis

			D3 Kimia Analis, Kimia, atau
33	Karyawan QC/Laboratorium	2	Teknik Kimia
34	Operator Produksi	18	D3 Teknik Kimia
35	Operator Utilitas	11	D3 Teknik Mesin
36	<i>Security</i>	4	SMA/ sederajat
37	<i>Cleaning Service</i>	8	SMA/ sederajat
Total Karyawan		82	

Jumlah tenaga kerja pada pabrik *yoghurt* dari susu sapi dengan kapasitas produksi 8.500 ton/tahun ditentukan berdasarkan analisis kebutuhan tenaga kerja, perbandingan dengan pabrik *yoghurt* yang telah beroperasi, serta pertimbangan efektivitas operasional dan kelancaran proses produksi.

4.4.4 Gaji Karyawan

Gaji karyawan dalam perusahaan ini dirancang berdasarkan beberapa faktor utama, yaitu:

- Standar Upah Minimum di Malang. Perusahaan menetapkan batas, bawah gaji berdasarkan Upah Minimum Regional (UMR) di daerah Malang, yaitu berkisar $\pm$ Rp 4.078.570 per bulan untuk pekerja dengan keterampilan dasar. Posisi dengan keahlian khusus atau tanggung jawab lebih besar mendapatkan gaji lebih tinggi sesuai standar industri petrokimia.
- Standar Industri, Industri memerlukan tenaga kerja yang memiliki keterampilan teknis tinggi, terutama di bidang produksi, pemeliharaan, dan pengendalian kualitas. Oleh karena itu, gaji untuk operator, teknisi, dan engineer lebih tinggi dibandingkan dengan industri manufaktur umum.
- Struktur Organisasi dan Efisiensi Anggaran Perusahaan menetapkan jumlah tenaga kerja 82 orang, sehingga pengeluaran gaji harus tetap efisien agar tidak membebani keuangan perusahaan. Gaji eksekutif dan manajerial

ditetapkan lebih tinggi karena tanggung jawab strategis, sedangkan pekerja operasional memiliki gaji sesuai standar industri.

4.4.4.1 Gaji Pokok Karyawan

Berikut adalah rincian gaji pokok karyawan berdasarkan jabatan:

Tabel 4.3 Rincian gaji pokok karyawan

Jabatan	Jumlah	Gaji/Bulan	Jumlah	Gaji/Tahun
		(Rp)	(Rp)	(Rp)
Direktur Utama	1	Rp24.471.420	Rp24.471.420	Rp293.657.040
Direktur Teknik dan Operasi	1	Rp16.314.280	Rp16.314.280	Rp195.771.360
Direktur Keuangan dan Pemasaran	1	Rp16.314.280	Rp16.314.280	Rp195.771.360
Direktur SDM dan Umum	1	Rp16.314.280	Rp16.314.280	Rp195.771.360
Kepala Bagian Produksi dan Utilitas	1	Rp10.196.425	Rp10.196.425	Rp122.357.100
Kepala Bagian Listrik dan Instrumentasi	1	Rp10.196.425	Rp10.196.425	Rp122.357.100
Kepala Bagian Penelitian. Pengembangan. Pengendalian Mutu	1	Rp10.196.425	Rp10.196.425	Rp122.357.100
Kepala Bagian Keuangan dan Pemasaran	1	Rp10.196.425	Rp10.196.425	Rp122.357.100
Kepala Bagian Administrasi	1	Rp10.196.425	Rp10.196.425	Rp122.357.100
Kepala Bagian Humas dan Keamanan	1	Rp10.196.425	Rp10.196.425	Rp122.357.100
Kepala Bagian K3 dan Lingkungan	1	Rp10.196.425	Rp10.196.425	Rp122.357.100
Kepala Seksi Proses	2	Rp8.157.140	Rp16.314.280	Rp195.771.360
Kepala Seksi Bahan Baku dan Produk	1	Rp8.157.140	Rp8.157.140	Rp97.885.680

Kepala Seksi Utilitas	1	Rp8.157.140	Rp8.157.140	Rp97.885.680
Kepala Seksi Pemeliharaan	1	Rp8.157.140	Rp8.157.140	Rp97.885.680
Kepala Seksi Listrik dan Instrument	1	Rp8.157.140	Rp8.157.140	Rp97.885.680
Kepala Seksi Penelitian dan Pengembangan	1	Rp8.157.140	Rp8.157.140	Rp97.885.680
Kepala Seksi Laboratorium dan Pengembangan Mutu	1	Rp8.157.140	Rp8.157.140	Rp97.885.680
Kepala Seksi Keuangan	1	Rp8.157.140	Rp8.157.140	Rp97.885.680
Kepala Seksi Pemasaran	1	Rp8.157.140	Rp8.157.140	Rp97.885.680
Kepala Seksi Keamanan	1	Rp8.157.140	Rp8.157.140	Rp97.885.680
Kepala Seksi K3	1	Rp8.157.140	Rp8.157.140	Rp97.885.680
Kepala Seksi Lingkungan	1	Rp8.157.140	Rp8.157.140	Rp97.885.680
Karyawan Produksi	2	Rp6.117.855	Rp12.235.710	Rp146.828.520
Karyawan Utilitas	2	Rp6.117.855	Rp12.235.710	Rp146.828.520
Karyawan Bahan Baku dan Produk	1	Rp6.117.855	Rp6.117.855	Rp73.414.260
Karyawan Listrik. Instrumentasi dan Pemeliharaan	1	Rp6.117.855	Rp6.117.855	Rp73.414.260
Karyawan K3 dan Pengolahan Limbah	1	Rp6.117.855	Rp6.117.855	Rp73.414.260
Karyawan Kas/Anggaran	2	Rp6.117.855	Rp12.235.710	Rp146.828.520
Karyawan Pemasaran/Penjualan	2	Rp6.117.855	Rp12.235.710	Rp146.828.520
Karyawan Humas dan Keamanan	2	Rp6.117.855	Rp12.235.710	Rp146.828.520
Karyawan Administrasi	2	Rp6.117.855	Rp12.235.710	Rp146.828.520
Karyawan QC/Laboratorium	2	Rp6.117.855	Rp12.235.710	Rp146.828.520

Operator Produksi	18	Rp6.933.569	Rp123.556.200	Rp1.482.674.395
Operator Utilitas	11	Rp6.933.569	Rp74.133.720	Rp889.604.637
Security	4	Rp4.894.284	Rp19.577.136	Rp234.925.632
Cleaning Service	8	Rp4.486.427	Rp35.891.416	Rp430.696.992
Total	82	Rp327.101.314	Rp607.994.061	Rp7.295.928.736

4.4.4.2 Tunjangan Karyawan

Selain gaji pokok, perusahaan juga memberikan berbagai tunjangan dan fasilitas kepada karyawan sebagai bentuk penghargaan atas kontribusi mereka serta untuk meningkatkan kesejahteraan dan keselamatan kerja.

Tabel 4.4Tunjangan karyawan

Jenis Tunjangan/Fasilitas	Penerima
Tunjangan Jabatan	Direktur, Kepala Bagian, dan Kepala Seksi
Tunjangan Kesehatan (BPJS Kesehatan dan BPJS Ketenagakerjaan)	Seluruh Karyawan
Tunjangan Hari Raya (THR)	Seluruh Karyawan
Pakaian Kerja dan APD (2 pasang/tahun)	Seluruh Karyawan Operasional

Keterangan :

- Tunjangan Jabatan diberikan kepada Direktur, Kepala Bagian, dan Kepala Seksi sesuai dengan tingkat tanggung jawab dan wewenang yang dimiliki. Besarnya tunjangan jabatan ditetapkan sebesar 10%–20% dari gaji pokok per bulan.
- Tunjangan Kesehatan diberikan kepada seluruh karyawan melalui kepesertaan BPJS Kesehatan dan BPJS Ketenagakerjaan sesuai ketentuan yang berlaku.

- c. Tunjangan Hari Raya (THR) diberikan kepada seluruh karyawan sebesar satu kali gaji pokok dan dibayarkan satu kali dalam setahun menjelang hari raya keagamaan.
- d. Pakaian Kerja dan Alat Pelindung Diri (APD) diberikan kepada seluruh karyawan operasional sebanyak dua pasang per tahun guna mendukung keselamatan dan kesehatan kerja selama menjalankan tugas

4.4.4.3 Jadwal Kerja Karyawan

Dalam merancang sistem kerja shift untuk karyawan yang bertugas secara bergantian di pabrik, diperlukan pertimbangan yang matang dari berbagai aspek, termasuk psikologi kerja, regulasi ketenagakerjaan di Indonesia, serta praktik umum di industri. Jadwal kerja yang ideal harus mampu menjaga kesinambungan operasional pabrik selama 24 jam tanpa mengabaikan kesejahteraan dan keselamatan tenaga kerja. Pabrik *yoghurt* dari susu sapi direncanakan beroperasi selama 24 jam sehari secara kontinyu. karyawan dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. Karyawan *Non Shift*

Karyawan non-shift terdiri dari manajerial, staf administrasi, tim pemasaran, keuangan, serta SDM yang bekerja dengan jam kerja reguler.

Hari kerja : Senin – Jumat

Jam kerja : 08.00 – 17.00

Istirahat siang : 12.00 – 13.00

Hari libur : Sabtu, Minggu, dan hari libur nasional

Karyawan *non-shift* bekerja selama 40 jam per minggu, sesuai dengan standar yang ditetapkan dalam Undang-Undang Ketenagakerjaan Indonesia. Kebijakan Tambahan untuk Karyawan Non-Shift:

- a. Jam Fleksibel : Untuk beberapa posisi seperti staf administrasi dan keuangan, diberikan toleransi jam masuk antara 07.30– 08.30, dengan tetap memenuhi total 8 jam kerja per hari.
- b. Kerja dari Rumah (WFH) : Manajer dan staf tertentu dapat diberikan opsi bekerja dari rumah dalam kondisi khusus, seperti kondisi kesehatan atau keadaan darurat.
- c. Lembur : Jika harus bekerja di luar jam kerja reguler, karyawan non-shift mendapatkan kompensasi lembur sesuai aturan perusahaan.

2. Karyawan *Shift*

Karyawan shift merupakan karyawan yang terlibat langsung dalam kegiatan operasional pabrik, baik pada proses produksi maupun utilitas, serta bagian yang mendukung keamanan dan kelancaran operasi pabrik. Karyawan yang termasuk dalam kelompok ini antara lain operator produksi, operator utilitas, petugas listrik dan instrumentasi, kepala shift, serta petugas keamanan.

Sistem kerja karyawan shift diatur secara bergiliran karena proses produksi berlangsung selama 24 jam setiap hari. Pembagian kerja dilakukan ke dalam empat regu, yaitu Regu A, B, C, dan D. Setiap hari, tiga regu bertugas pada Shift I, Shift II, dan Shift III, sedangkan satu regu lainnya mendapat jadwal libur. Selain itu, seluruh karyawan shift memperoleh hak cuti tahunan selama 12 hari.

Tabel 4.5 Jadwal shift karyawan

Regu	Hari									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	II	II	II		III	III	III		I	I
B		III	III	III		I	I	I		II
C	III		I	I	I		II	II	II	
D	I	I		II	II	II		III	III	III

Tabel 4.6 Jadwal shift karyawan (lanjutan)

Regu	Hari									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A	I		II	II	II		III	III	III	
B	II	II		III	III	III		I	I	I
C	III	III	III		I	I	I		II	II
D		I	I	I		II	II	II		III

Tabel 4.7 Jadwal shift karyawan (lanjutan)

Regu	Hari									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A	I	I	I		II	II	II		III	III
B		II	II	II		III	III	III		I
C	II		III	III	III		I	I	I	
D	III	III		I	I	I		II	II	II

Keterangan :

Hari : 1, 2, 3, ..., 30

Regu : Tim kerja bergiliran (A, B, C, D)

Shift :

I = Pagi (07.00–15.00)

II = Sore (15.00–23.00)

III = Malam (23.00–07.00)

 = Libur

BAB V.UTILITAS

Unit utilitas merupakan salah satu bagian pendukung dalam pabrik yang berfungsi menyediakan berbagai kebutuhan penunjang proses produksi. Perancangan unit utilitas dilakukan untuk menjamin kelancaran dan keberlangsungan operasional pabrik melalui penyediaan sarana dan energi yang dibutuhkan selama proses berlangsung. Kebutuhan tersebut meliputi air, udara bertekanan, steam, dan bahan bakar. Selain sebagai penyedia kebutuhan penunjang, unit utilitas juga berperan dalam mengatur distribusi energi yang digunakan oleh peralatan proses dan fasilitas pabrik. Unit utilitas yang digunakan pada pabrik ini meliputi:

1. Unit Penyediaan dan Pengolahan Air (*Water Treatment System*)
2. Unit Penyediaan Udara Tekan (*Instrument Air System*)
3. Unit Pembangkit *Steam*
4. Unit Penyedia Bahan Bakar
5. Unit pembangkit listrik (*Power Plant System*)
6. Unit Pengolahan Limbah

5.1. Unit Penyedia dan Pengolahan Air

5.1.1 Kebutuhan Air

Kebutuhan air di pabrik yogurt dari susu sapi yaitu :

1. Air Domestik

Air domestik digunakan untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari karyawan, seperti keperluan sanitasi, toilet, dan kebersihan. Kebutuhan air domestik dihitung

berdasarkan jumlah karyawan dan standar kebutuhan air sebesar 120 kg/hari per orang.

Tabel 5.1 Kebutuhan air untuk keperluan umum

No	Kebutuhan	Massa (kg/jam)
1	Air domestik	407,56
	Total	407,56

2. Service Water

Service water merupakan air yang digunakan untuk menunjang kegiatan operasional di luar proses produksi, seperti kebutuhan bengkel, laboratorium, pemadam kebakaran, kantin, mushalla, dan taman.

Tabel 5.2 Keperluan untuk Service Water

No	Kebutuhan	Massa	
1	Bengkel	200	kg/hari
2	Laboratorium	300	kg/hari
3	Pemadam Kebakaran	4000	kg/hari
4	Kantin, Musholla, Taman	6000	kg/hari
		10500	kg/hari
Total Kebutuhan Air <i>Service</i>		437,5	kg/jam
Kebutuhan <i>Over Design</i>		525	kg/jam

3. Air Pendingin

Air pendingin digunakan untuk menyerap panas dari berbagai peralatan proses sehingga suhu operasi dapat dipertahankan sesuai kebutuhan. Sistem pendingin pada pabrik ini terdiri atas *chiller* dan *cooling tower*.

Tabel 5.3 Kebutuhan air pendingin

Nama Alat	Kode	Jumlah	Jumlah Air Menguap
Heat Exchanger	CL-01	2.173,50	44,339
Heat Exchanger	CL-02	8.709,78	26,652
Mixer	M-01	324,05	4,958

Reaktor	R-02	14,43	0,221
Tangki Bahan Baku	T-01	8.546,79	26,153
Tangki Penyimpanan Produk	T-03	291,38	1,189
Total (kg/jam)		20.059,93	157,60

Tabel 5. 4 Perhitungan Drift loss, Blowdown, dan Makeup Water

Nama Alat	Kode	<i>Drift loss</i> (Wd)	<i>Blowdown</i> (Wb)	<i>Makeup water</i>
Heat Exchanger	CL-01	0,522	43,818	88,679
Heat Exchanger	CL-02	2,090	24,562	53,304
Mixer	M-01	0,078	4,880	9,916
Reaktor	R-02	0,003	0,217	0,441
Tangki Bahan Baku	T-01	2,051	24,102	52,306
Tangki Produk	T-03	0,070	1,119	2,378
Total (kg/jam)		7,485	4,814	98,698

Sistem pendingin pada prarancangan pabrik *yoghurt* menggunakan dua jenis media, yaitu *chiller* dan *cooling water*. *Chiller* diterapkan pada *Heat Exchanger* CL-02, Tangki Bahan Baku (T-01), dan Tangki Penyimpanan Produk (T-03) karena ketiga peralatan tersebut memerlukan air pendingin bersuhu rendah (1–5°C) untuk menjaga kestabilan suhu, mempertahankan mutu bahan baku, serta menjamin kualitas produk selama penyimpanan. Sementara itu, *Heat Exchanger* CL-01, Mixer (M-01), dan Reaktor (R-02) menggunakan *cooling water*.

4. Air steam

Air *steam* digunakan sebagai air umpan *boiler* untuk menghasilkan steam yang digunakan sebagai media pemanas pada proses produksi.

Tabel 5.5 Kebutuhan Air steam

Kebutuhan Air <i>Steam</i>		Massa (kg/jam)
No	Alat	
1	HE-01	166
2	T-02	2,7323
Total Kebutuhan <i>Steam</i>		169
Kebutuhan <i>Over Design</i>		202
<i>Blowdown</i>		30
<i>Steam Trap</i>		10
<i>Water Make Up Steam</i>		40

5. Air proses

Air proses merupakan air yang digunakan secara langsung dalam proses produksi.

Tabel 5.6 Kebutuhan Air proses

Kebutuhan Air Proses		Massa (kg/jam)
No	Alat	
1	T-02	113
Total Kebutuhan Air		113
Kebutuhan <i>Over Design</i>		135

6. Total Kebutuhan Air

Berdasarkan seluruh perhitungan kebutuhan air pada berbagai unit utilitas dan proses, diperoleh total kebutuhan air pabrik yogurt dari susu. Sistem pendingin merupakan utilitas yang paling dominan dalam penggunaan air dan memerlukan pengelolaan yang baik untuk menjaga efisiensi operasional pabrik.

Tabel 5.7 Total Kebutuhan Air

No	Kebutuhan	Massa (kg/jam)
1	<i>Domestic Water</i>	407,56
2	<i>Service Water</i>	525

3	<i>Cooling Water</i>	24071,9121
4	<i>Steam Water</i>	202
5	<i>Process Water</i>	135
Total Kebutuhan Air		25342,001

Tabel 5.8 Total Kebutuhan Air (Lanjutan)

Kebutuhan Air	25342	kg/jam
	218954889,3	kg/tahun
	241352,4	ton/tahun

5.1.2 Sumber Air

Kebutuhan air pada pabrik yogurt dari susu sapi ini direncanakan dipenuhi dari Sungai Metro yang berada di wilayah Kepanjen, Kabupaten Malang, Provinsi Jawa Timur. Sungai Metro merupakan salah satu anak Sungai Brantas yang mengalir melalui Kota Malang hingga Kabupaten Malang dan dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan, seperti air bersih, irigasi, dan kegiatan industri..Lokasi pabrik direncanakan berada di Kecamatan Kepanjen relatif dekat dengan aliran Sungai Metro sehingga memudahkan pengambilan dan distribusi air ke area pabrik. Sebelum digunakan untuk memenuhi kebutuhan proses maupun utilitas, air Sungai Metro akan diolah terlebih dahulu pada unit pengolahan air (*water treatment plant*) agar memenuhi standar kualitas yang dipersyaratkan.

5.1.3 Unit Pengolahan Air

Air sungai yang digunakan sebagai sumber air baku pabrik perlu diolah terlebih dahulu agar memenuhi kualitas yang sesuai dengan kebutuhan operasional. Setiap unit di pabrik memiliki persyaratan kualitas air yang berbeda, terutama pada unit boiler yang memerlukan air dengan tingkat kemurnian lebih tinggi

dibandingkan kebutuhan umum. Oleh karena itu, sebelum digunakan, air sungai akan melewati beberapa tahap pengolahan pada unit pengolahan air (*water treatment plant*) sehingga dapat memenuhi spesifikasi yang diperlukan. Adapun tahapan pengolahan air yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Screening

Screening merupakan tahap awal dalam sistem pengolahan air yang berfungsi untuk menyaring benda-benda berukuran besar seperti sampah plastik, kayu, ranting, dan material terapung lainnya yang terbawa bersama air laut. Screening dilakukan menggunakan bar screen dengan jarak antar bilah tertentu agar hanya partikel besar saja yang tertahan, sementara air serta partikel halus dapat terus mengalir ke tahap berikutnya. Setelah dilakukan screening / penyaringan, air laut akan dipompa menuju kolam ekualisasi.

2. Ekualisasi dan Sedimentasi

Air hasil screening dialirkan ke kolam ekualisasi yang berfungsi menampung dan menstabilkan laju alir serta kualitas air sebelum masuk ke unit pengolahan lanjutan. Kolam ini juga berperan sebagai buffer untuk mengatasi fluktuasi debit dan konsentrasi zat terlarut. Setelah ekualisasi, dilanjutkan dengan proses sedimentasi untuk mengendapkan partikel tersuspensi berukuran besar akibat gravitasi. Proses ini membantu mengurangi beban pencemaran pada tahapan berikutnya.

3. Koagulasi, Flokulasi, dan Pengendapan

Air dari bak ekualisasi dipompa menuju *Mixer* (M-01) untuk proses koagulasi. Pada tahap ini ditambahkan aluminium sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) sebagai koagulan dan natrium karbonat (Na_2CO_3) sebagai pengatur pH. Pengadukan cepat dilakukan agar bahan kimia tercampur merata dan dapat menetralkan muatan partikel koloid yang terdapat dalam air. Selanjutnya, air dialirkan ke *Clarifier* (CL-01) untuk proses flokulasi dan pengendapan. Pada unit ini partikel-partikel halus bergabung membentuk flok yang berukuran lebih besar sehingga mudah mengendap sebagai lumpur (*sludge*). Lumpur yang terbentuk dikeluarkan dari bagian bawah clarifier, sedangkan air jernih pada bagian atas dialirkan ke unit filtrasi untuk pengolahan lebih lanjut.

4. Filtrasi

Filtrasi adalah proses penyaringan suspended matter pada air dan bertujuan untuk menyaring partikel halus yang belum terendapkan. Pada pabrik ini filtrasi dilakukan menggunakan media *filter* pasir (*sand filter*) dan karbon aktif (*carbon filter*)

a) Sand Filter

Sand filter menggunakan lapisan pasir kuarsa bergradasi sebagai media penyaring. Air mengalir dari atas ke bawah melalui lapisan pasir, di mana partikel tersuspensi dan sisa flok akan tertahan di permukaan dan di antara pori-pori pasir. Proses ini efektif untuk menurunkan kekeruhan air. Pasir yang digunakan sebagai media filtrasi adalah pasir besi, pasir kuarsa, dan gravel.

b) Carbon Filter

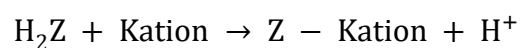
Carbon filter atau saringan karbon aktif digunakan untuk menghilangkan zat organik, warna, bau, rasa, serta sisa klorin dari air. Media yang digunakan adalah karbon aktif granular yang memiliki luas permukaan sangat besar dan daya adsorpsi tinggi terhadap zat-zat tersebut.

5. Demineralisasi

Demineralisasi merupakan proses penghilangan ion-ion terlarut dalam air yang dapat menyebabkan pembentukan kerak (*scale*) pada *boiler*. Proses ini dilakukan menggunakan kolom penukar ion yang berisi resin kation dan resin anion. Resin kation berfungsi menukar ion-ion bermuatan positif, sedangkan resin anion menukar ion-ion bermuatan negatif. Melalui proses ini, kandungan mineral dalam air dapat dikurangi sehingga kualitas air umpan boiler memenuhi spesifikasi yang diperlukan. Proses yang terjadi selama demineralisasi adalah sebagai berikut.

a) *Cation Exchanger*

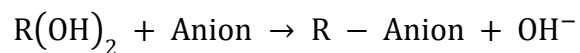
Cation exchanger adalah penukar ion positif dengan resin kation. Ion-ion positif seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} , dan Fe^{2+} dalam air akan ditukar dengan ion hidrogen (H^{+}). Media yang digunakan dalam unit ini adalah resin tipe C-300 dengan notasi H2Z berdasarkan referensi Powell (1995). Reaksi pertukaran ion dapat digambarkan sebagai berikut:



Ketika resin telah jenuh oleh ion-ion kation, dilakukan proses regenerasi menggunakan larutan asam sulfat (H_2SO_4). Asam sulfat berfungsi untuk menggantikan kembali ion-ion positif yang tertahan di resin dengan ion (H^+) sehingga resin dapat digunakan kembali untuk proses penukaran ion selanjutnya.

b) *Anion Exchanger*

Anion exchanger merupakan alat penukar ion negatif dengan resin anion. Ion negatif seperti Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , dan HCO_3^- , akan bertukar dengan ion OH^- dari resin sehingga air yang sebelumnya bersifat asam menjadi netral. Pada unit ini, digunakan resin tipe C-500P dengan notasi $\text{R}(\text{OH})_2$. Reaksi penukarannya dapat dituliskan sebagai berikut:



Ion H^+ yang berasal dari cation exchanger akan bereaksi dengan ion OH^- yang dilepaskan oleh resin anion exchanger, membentuk air (H_2O). Sehingga hasil akhir dari proses demineralisasi adalah air dengan kemurnian tinggi, bebas dari ion-ion terlarut. Ketika resin anion telah jenuh oleh anion-anion dari air baku, dilakukan proses regenerasi menggunakan larutan natrium hidroksida (NaOH). Larutan NaOH berfungsi untuk melepaskan anion yang terikat pada resin dan menggantinya kembali dengan ion OH^- , sehingga resin dapat digunakan kembali.

6. Deaerasi

Deaerasi merupakan proses penghilangan gas terlarut, terutama oksigen (O_2) dan karbon dioksida (CO_2), dari air demineralisasi. Proses ini juga bertujuan mengurangi kandungan logam seperti mangan (Mn) dan besi (Fe), serta menghilangkan bau, rasa, dan warna yang tidak diinginkan. Penghilangan gas terlarut penting untuk mencegah korosi pada pipa dan boiler, sedangkan pengurangan kandungan mineral dapat meminimalkan pembentukan kerak pada permukaan perpindahan panas. Pada perancangan ini, proses deaerasi dilakukan secara mekanis melalui kontak antara air dan udara sehingga gas-gas terlarut dapat terlepas dari air.

7. Boiler

Boiler adalah alat untuk menghasilkan steam. Steam akan digunakan untuk pemanas pada alat pabrik selama proses produksi. Proses yang terjadi di dalam boiler adalah air yang keluar dari deaerator akan dipanaskan pada tekanan dan suhu tertentu menggunakan bahan bakar.

Selama pengoperasian *boiler*, air yang diuapkan akan meninggalkan zat padat terlarut (*Total Dissolved Solids/TDS*) yang lama-kelamaan akan terkonsentrasi di dalam sistem boiler. Jika konsentrasi TDS dan suspended *solids* terlalu tinggi, dapat menyebabkan pembentukan endapan dan kerak yang berpotensi menyebabkan fouling pada boiler. Untuk mencegah hal tersebut, dilakukan proses *blowdown*.

8. *Cooling tower*

Cooling tower merupakan unit utilitas yang digunakan untuk menurunkan suhu air pendingin yang telah digunakan pada peralatan proses sehingga dapat digunakan kembali. Air pendingin yang keluar dari peralatan proses dengan suhu yang lebih tinggi dialirkan ke bagian atas cooling tower dan didistribusikan secara merata. Selanjutnya, air dikontakkan dengan udara yang dialirkan dari bagian bawah atau samping menara sehingga terjadi perpindahan panas dari air ke udara. Sebagian kecil air mengalami penguapan yang menyebabkan panas terbawa keluar bersama aliran udara. Akibatnya, suhu air pendingin menurun dan dapat disirkulasikan kembali ke peralatan proses. Kehilangan air akibat penguapan digantikan dengan *make-up water* untuk menjaga kestabilan operasi sistem pendingin.

5.1.4 Spesifikasi Alat Utilitas

a. Alat Pengolahan Air

1) *Screener* (SC-01)

Fungsi : Menyaring benda-benda kasar terapung atau melayang di air agar tidak terbawa ke dalam unit pengolahan

Spesifikasi

Jenis : *Bar Screen (Coarse Screen)*

Bahan : Aluminium

Panjang : 10 ft

Lebar : 8 ft

Ukuran Lubang : 1 cm

2) *Equalization Tank* (ET-01)

Fungsi : Menampung air sungai yang sudah disaring untuk mengatur debit air sungai agar tetap konstan saat masuk ke proses selanjutnya

Jenis : Berbentuk bak persegi yang diperkuat beton bertulang

Spesifikasi

Volume Bak : 187,3637 m³

Panjang : 9,0834 m

Lebar : 4,5417 m

Tinggi : 4,5417 m

Jumlah : 1 buah

3) *Mixer* (M-01)

Fungsi : Mencampur air keluar bak dengan larutan alum

Jenis : Tangki silinder tegak berpengaduk

Spesifikasi

Volume : 7,6672 m³

Diameter : 2,4469 m

Tinggi : 1,6313 m

Jumlah : 1 buah

Pengaduk

- Jenis : *paddle 4 blade s*
- Diameter : 0,8156 m
- Jarak Impeller : 0,4078 m
- Lebar *Blade* : 0,0897 m
- Panjang *Blade* : 0,2039 m
- Daya Motor : 1.491,4 Watt

4) *Mixer (M-02)*

Fungsi : Mencampur air keluar bak dengan larutan kaporit

Jenis : Tangki silinder tegak berpengaduk

Spesifikasi

Volume : 35,2133 m³

Diameter : 4,0673 m

Tinggi : 2,7115 m

Jumlah : 1 buah

Pengaduk

- Jenis : *paddle 4 blade s*
- Diameter : 1,3557 m
- Jarak *Impeller* : 0,6778 m
- Lebar *Blade* : 0,1491 m
- Panjang *Blade* : 0,3389 m

- Daya Motor : 7457 Watt

5) Clarifier (CL-01)

Fungsi : Menjalankan proses koagulasi, flokulasi, dan sedimentasi gumpalan padatan yang telah diendapkan dari campuran air dan alum

Jenis : Tangki silinder tegak berpengaduk

Spesifikasi

Volume : 23,4175 m³

Diameter : 3,0595 m

Tinggi : 3,0595 m

Tinggi Kerucut 0,3824 m

Tinggi Total 3,4419 m

Jumlah : 1 buah

Pengaduk

- Jenis : *paddle 4 blade s*

- Diameter : 1,0198 m

- Jarak Impeller : 0,5099 m

- Lebar Balde : 0,1122 m

- Panjang Blade : 0,2549 m

- Daya Motor : 2237,1 Watt

6) Saringan Pasir-Sand Filter (SF-01)

Fungsi : Menyaring sisa pengotor padat berukuran kecil dan sukar mengendap dalam air

Jenis : *Gravity sand filter (vertical cylindrical tank* dengan tumpukan pasir dan kerikil)

Spesifikasi

- Volume tangki penyaring : 4,86 m³
- Diameter Tangki : 2,25 m
- Tinggi Lapisan Pasir : 1,014 m
- Tinggi Filter : 1,22 m
- Luas Penampang ,A : 3,991 m²
- Jumlah : 1

7) Carbon Filter (CF-01)

Fungsi : Menyaring sisa pengotor padat berukuran kecil dan sukar mengendap dalam air yang tidak tersaring oleh *sand filter* (FU-01).

Jenis : *Vertical cylindrical tank* dengan tumpukan karbon aktif

Spesifikasi

- Luas Penampang, A : 0,8506 m²
- Diameter : 1,0410 m

- Tinggi filter : 3,8236 m
- Tinggi Tumpukan : 3,8236 m
- Volume karbon aktif : 2,3767 m³
- Massa Karbon Aktif : 1320,48 kg
- Jumlah : 1

8) Bak Penampung Sementara (BP-01)

Fungsi : Tempat penampungan sementara air baku (*raw water*) setelah proses penyaringan sebelum didistribusikan ke unit-unit pengolahan selanjutnya.

Jenis : Berbentuk bak persegi yang diperkuat beton bertulang dan dilapisi porselin

Spesifikasi

Volume bak : 46,835 m³

Panjang : 4,5415 m

Lebar : 4,5415 m

Tinggi : 2,2708 m

Jumlah : 1 buah

9) Cold Basin (CB-01)

Fungsi : Menampung air untuk keperluan proses pendingin dan hasil dari cooling tower

Jenis	: Bak persegi panjang dengan beton bertulang
Spesifikasi	
Volume bak	: 149,715 m ³
Panjang	: 6,6901 m
Lebar	: 6,6901 m
Tinggi	: 3,3450 m
Jumlah	: 1 buah

10) Cold Basin (CB-02)

Fungsi	: Menampung air untuk keperluan proses pendingin dan hasil dari cooling tower
Jenis	: <i>Vertical cylindrical tank</i>
Spesifikasi	
Volume bak	: 1,6027 m ³
Diameter	: 1,2686 m
Tinggi	: 1,2686 m
Jumlah	: 1 buah

11) Hot Basin (HB-01)

Fungsi	: Menampung air proses yang akan didinginkan oleh <i>cooling tower</i> .
Jenis	: Berbentuk bak persegi yang diperkuat beton bertulang dan dilapisi porselin

Spesifikasi

Volume bak	: 149,715 m ³
Panjang	: 6,690 m
Lebar	: 6,690 m
Tinggi	: 3,345 m
Jumlah	: 1 buah

12) *Cooling Tower* (CT-01)

Fungsi : Mendinginkan air pendingin yang keluar dari proses sebelum disirkulasikan kembali

Jenis : *Induced Draft Cooling Tower*

Tipe *Counter Current Packed Tower*

Spesifikasi

Luas Penampang Menara : 13 m³

Diameter : 4,07 m

Tinggi Total *Cooling Tower* : 3,73 m

Packing

Jenis *Ceramic Raschig Ring*

Diameter *Packing* 0,073 m

Tinggi *Packing* 0,73m

Fan

Tipe *Axial Fan*

Daya Motor 10 Hp

Make-Up Water : 696,07 kg/jam

Jumlah : 1 buah

13) *Chiller* (CH-01)

a. Dasar Pemilihan *Chiller*

Chiller merupakan salah satu peralatan utilitas yang berfungsi menghasilkan air dingin (*chilled water*) sebagai media pendingin untuk menyerap panas dari fluida proses sehingga temperatur operasi dapat dipertahankan sesuai dengan kondisi yang diinginkan. Pada industri yoghurt, *chiller* berperan penting dalam proses pendinginan produk setelah pasteurisasi serta menjaga suhu penyimpanan bahan baku dan produk agar kualitas, stabilitas, dan keamanan produk tetap terjaga. Jenis *chiller* yang dipilih pada prarancangan ini adalah *water-cooled screw chiller*, yaitu sistem refrigerasi yang menggunakan kompresor tipe *screw* sebagai komponen utama dan air sebagai media pelepas panas pada kondensor. Tipe ini dipilih karena memiliki efisiensi energi yang tinggi, mampu beroperasi secara kontinu, serta sesuai untuk memenuhi kebutuhan pendinginan pada industri pengolahan yoghurt. Beban pendinginan masing-masing unit dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Keterangan:

Q = Beban pendingin, kkal/jam

W = laju alir air pendingin, kg/jam

C_p = kalor jenis air, kkal/kg °C

ΔT = perubahan temperature air pendingin, °C

Beban pendinginan total diperoleh dari penjumlahan kebutuhan pendinginan pada unit proses sebagai berikut:

Tabel 5.9 Pendinginan pada Unit Proses yang Menggunakan Chiller

Unit	Cp (kkal/kg °C)	ΔT (°C)	Beban Pendinginan (kkal/jam)
<i>Heat Exchanger</i> (CL-02)	1	3	31355,21
Tangki Bahan Baku (T-01)	1	3	30768,43
Tangki Produk (T-03)	1	4	1398,61
Total			63522,61

Kapasitas *chiller* dihitung berdasarkan satuan Ton *Refrigeration* (TR):

$$1 \text{ TR} = 3024 \frac{\text{kkal}}{\text{jam}}$$

$$TR = \frac{63522,61 \text{ kkal/jam}}{3024 \text{ kkal/jam}} = 21,01$$

Berdasarkan Tabel 5.10, diperoleh total beban pendinginan sebesar 63.522,25 kkal/jam atau setara dengan 21,01 Ton Refrigeration (TR). Oleh karena itu, dipilih water-cooled screw chiller dengan kapasitas 22 TR karena mampu memenuhi kebutuhan pendinginan proses serta menyediakan faktor keamanan terhadap kemungkinan peningkatan beban pendinginan selama operasi pabrik. Pemilihan water-cooled screw chiller juga didasarkan pada efisiensinya yang tinggi, kemampuan beroperasi secara kontinu, serta kesesuaiannya untuk aplikasi

industri dengan beban pendinginan yang relatif besar seperti industri pengolahan yoghurt.

Fungsi	: Untuk menghasilkan <i>chilled water</i> bersuhu 4–5°C yang digunakan sebagai media pendingin pada unit proses yang memerlukan temperatur rendah.
Jenis	: <i>Water Cooled Screw Chiller (Custom OEM/ODM)</i>
Jumlah	: 1 Unit
Spesifikasi	
Kapasitas Pendinginan	: 22 TR
Refrigeran	: R-22
Tipe Kompresor	: <i>Semi-Hermetic Screw Type</i>
Daya Kompresor	: 35 kW
Daya Pompa	: 3 kw
Tegangan Operasi	: 3 Phase, 380 V, 50 Hz
Tipe Evaporator	: <i>Internal Thread High Efficiency Shell and Tube Heat Exchanger</i>
Tipe Kondensor	: <i>External Thread High Efficiency Shell and Tube Heat Exchanger (Water Cooled)</i>
Dimensi (P × L × T)	: 2500 mm × 1150 mm × 1300 mm

14) *Heat Exchanger* (HE-01)

Parameter	HE-01
------------------	--------------

Fungsi	: Memanaskan air utilitas sampai suhu 40 C
Jenis	: <i>Double Pipe Heat Exchanger</i>
Jenis Bahan	: <i>Stainless Steel SA-167 type 316</i>
Jumlah Hairpin	: 2 buah
Anulus	
- IPS	: 2 in
- Sch.No	: 40
- OD	: 2,38 in
- ID	: 2,067 in
- Surface Area	: 0,622 ft ²
Inner Pipe	
- IPS	: 1,25 in
- Sch.No	: 40
- OD	: 1,66 in
- ID	: 1,38 in
- Surface Area	: 0,435 ft ²
A	: 7,464 ft ²
Ud	: 3,7143 Btu/jam.ft ² .°F
Uc	: 23,5949 Btu/jam.ft ² .°F
Rd	: 0,227 Btu/jam.ft ² .°F
Rd min	: 0,001 Btu/jam.ft ² .°F
Jumlah Alat	: 1 Unit

15) Daerator (DE-01)

Fungsi : Menghilangkan gas CO_2 dan O_2 yang terikat dalam feed water yang menyebabkan kerak pada *reboiler*.

Jenis : Tangki silinder horizontal

Spesifikasi

Volume : 0,6390 m³

Diameter : 0,9337 m

Tinggi : 0,9337 m

Jumlah : 1 buah

16) Alat Penyimpanan

Tabel 5.10 Spesifikasi tangki penyimpanan

Tangki	TPU 1	TPU-02	TPU-03	TPU-04
Fungsi	Menyiapkan dan menyimpan larutan alum 5 % untuk 1 minggu	Menampung kebutuhan air untuk pemakaian layanan umum (<i>service water</i>) seperti bengkel, laboratorium, pemadam kebakaran dll	Menampung air untuk keperluan kantor	Menghilangkan mineral yang masih terkandung dalam air dengan cara mengikat ion-ion positif (Na^+ , Ca^{2+} , Ba) yang ada dalam air
Jumlah Tangki	1	1	1	1
Jenis Tangki	Tangki silinder	Tangki silinder tegak	Tangki silinder tegak	Tangki silinder tegak
Spesifikasi				
- Bahan Konstruksi	<i>Carbon steel</i>	<i>Carbon steel</i>	<i>Carbon steel</i>	<i>Carbon steel</i>
- Volume Tangki	15,737 m ³	15,12 m ³	35 m ³	0,599 m ³
- Diameter	2,156 m	2,68 m	3,553 m	0,914 m
- Tinggi	4,312 m	2,68 m	3,553 m	0,914 m

Tabel 5.11 Spesifikasi tangki penyimpanan (lanjutan)

Tangki	TPU 5	TPU-07	TPU-08	TPU-09
Fungsi	Menyimpan H_2SO_4 untuk regenerasi penukar kation	Menyimpan NaOH untuk regenerasi penukar Anion	Menampung air demineralisasi sebelum digunakan sebagai air proses & umpan boiler.	Menyimpan larutan N_2H_4
Jumlah Tangki	1	1	1	1
Jenis Tangki	Tangki silinder	Tangki silinder tegak	Tangki silinder tegak	Tangki silinder tegak
Spesifikasi				
- Bahan Konstruksi	<i>Carbon steel</i>	<i>Carbon steel</i>	<i>Carbon steel</i>	<i>Carbon steel</i>
- Volume Tangki	9,636 m ³	2,808 m ³	0,801 m ³	0,8145 m ³
- Diameter	3,504 m	1,529 m	1,0076 m	1,0124 m
- Tinggi	3,504 m	1,529 m	1,0076 m	1,0124 m

17) Alat Transportasi

Tabel 5.12 Spesifikasi pompa utilitas

Kode	PU-01	PU-02	PU-03	PU-04	PU-05
Fungsi	Memompa air dari ET-01 ke M-01	Mengalirkan Larutan dari Tangki Larutan (Tawas) (TPU-01) menuju ke mixer (M-01)	Memompa air dari M-01 ke CL-01	Mengalirkan air dari <i>Clafier</i> (CL-01) ke <i>Sand Filter</i> (SF-01)	Mengalirkan air dari <i>Sand Filter</i> (SF-01) ke <i>Carbon Filter</i> (CF-01)
Jenis Pompa	<i>Centrifugal Single Stage Pump</i>	<i>Centrifugal Single Stage Pump</i>	<i>Centrifugal Single Stage Pump</i>	<i>Centrifugal Single Stage Pump</i>	<i>Centrifugal Single Stage Pump</i>
Bahan Konstruksi	<i>Stainless Steel SA-167 Type 316</i>	<i>Stainless Steel SA-167 Type 316</i>	<i>Stainless Steel SA-167 Type 316</i>	<i>Stainless Steel SA-167 Type 316</i>	<i>Stainless Steel SA-167 Type 316</i>
Dimensi Pipa					
- IPS	6 in	0,125 in	6,00 in	6,00 in	6,00 in
- Sch.No	40	40,00 in	40,00 in	40,00 in	40,00 in
- ID	6,07 in	0,269 in	6,07 in	6,07 in	6,07 in
- OD	6,63 in	0,405 in	6,63 in	6,63 in	6,63 in
Daya Pompa	602,04 Watt	0,590 Watt	752,96 Watt	341,02 Watt	969,95 Watt
Daya Motor	745,70 Watt	37,29 Watt	1.118,55 Watt	745,70 Watt	1.491,40 Watt

Tabel 5.13 Spesifikasi pompa utilitas (lanjutan)

Kode	PU-06	PU-07	PU-08	PU-09
Fungsi	Mengalirkan air dari <i>Carbon Filter</i> (CF-01) Ke Bak Penampungan sementara (BP-01)	Mengalirkan air dari bak penampungan sementara (BP-01) menuju tangki air bertekanan (TU-02)	Mengalirkan air dari bak penampungan sementara (BP-01) menuju <i>Mixer</i> (M-02)	Mengalirkan air dari <i>Mixer</i> (M-02) menuju tangki air bersih (TPU-04)
Jenis Pompa	<i>Centrifugal Single Stage Pump</i>	<i>Centrifugal Single Stage Pump</i>	<i>Centrifugal Single Stage Pump</i>	<i>Centrifugal Single Stage Pump</i>
Bahan Konstruksi	<i>Stainless Steel SA-167 Type 316</i>	<i>Stainless Steel SA-167 Type 316</i>	<i>Stainless Steel SA-167 Type 316</i>	<i>Stainless Steel SA-167 Type 316</i>
Dimensi Pipa				
- IPS	6 in	0,75 in	0,75 in	0,75 in
- Sch.No	40	40	40	40
- ID	6,07 in	0,82 in	0,82 in	0,82 in
- OD	6,63 in	1,05 in	1,05 in	1,05 in
Daya Pompa	595,12 Watt	15,70 Watt	11,75 Watt	14,9308 Watt
Daya Motor	745,70 Watt	37,22 Watt	37,29 Watt	37,29 Watt

Tabel 5.14 Spesifikasi pompa utilitas (lanjutan)

Kode	PU-10	PU-11	PU-12	PU-13
Fungsi	Mengalirkan air dari Bak Penampung Sementara (BP-01) menuju <i>Cold Bansin</i> (CB-01)	Mengalirkan air dari <i>Cold Bansin</i> (CB-01) menuju <i>Package Water Colled Chiller</i>	Mengalirkan air dari <i>Package Water Colled Chiller</i> menuju unit proses	Mengalirkan air dari <i>Cold Bansin</i> (CB-01) menuju <i>unit proses normal water</i>
Jenis Pompa	<i>Centrifugal Single Stage Pump</i>	<i>Centrifugal Single Stage Pump</i>	<i>Centrifugal Single Stage Pump</i>	<i>Centrifugal Single Stage Pump</i>
Bahan Konstruksi	<i>Stainless Steel SA-167 Type 316</i>	<i>Stainless Steel SA-167 Type 316</i>	<i>Stainless Steel SA-167 Type 316</i>	<i>Stainless Steel SA-167 Type 316</i>
Dimensi Pipa				
- IPS	6 in	6 in	6 in	1,50 in
- Sch.No	40	40	40	40
- ID	6,07 in	6,07 in	6,07 in	1,16 in
- OD	6,63 in	6,63 in	6,63 in	1,90 in
Daya Pompa	830,458 Watt	135,8539 Watt	88,4019 Watt	22,6027 Watt
Daya Motor	1.118,55 Watt	372,85 Watt	186,43 Watt	37,29 Watt

Tabel 5. 15 Spesifikasi pompa utilitas (lanjutan)

Kode	PU-14	PU-15	PU-16	PU-17	PU-18
Fungsi	Mengalirkan air dari <i>unit chilled water</i> dan Normal <i>water</i> ke HB-01	Mengalirkan air dari <i>Hot bansin</i> (HB-01) menuju <i>Cooling Tower</i> (CT-01)	Mengalirkan air kembali dari <i>Cooling Tower</i> (CT-01) menuju <i>Cold Bansin</i> (CB-01)	Mengalirkan air dari Bak Penampung Sementara (BP-01) menuju Tangki <i>Kation Exchanger</i> (TPU-05)	Mengalirkan Larutan H_2SO_4 dari Tangki Larutan (TPU-05) menuju Tangki <i>Kation Exchanger</i> (TPU-04)
Jenis Pompa	<i>Centrifugal Single Stage Pump</i>	<i>Centrifugal Single Stage Pump</i>	<i>Centrifugal Single Stage Pump</i>	<i>Centrifugal Single Stage Pump</i>	<i>Centrifugal Single Stage Pump</i>
Bahan Konstruksi	<i>Stainless Steel SA-167 Type 316</i>	<i>Stainless Steel SA-167 Type 316</i>	<i>Stainless Steel SA-167 Type 316</i>	<i>Stainless Steel SA-167 Type 316</i>	<i>Stainless Steel SA-167 Type 316</i>
Dimensi Pipa					
- IPS	6 in	6 in	6 in	1,00 in	0,25 in
- Sch.No	40	40	40	40,00	40,00
- ID	6,07 in	6,07 in	6,07 in	1,05 in	0,36 in
- OD	6,63 in	6,63 in	6,63 in	1,32 in	0,54 in
Daya Pompa	187,4006 Watt	187,4006 Watt	221,4244 Watt	22,97 Watt	2,11 Watt
Daya Motor	372,85 Watt	372,85 Watt	372,85 Watt	37,29 Watt	93,21 Watt

Tabel 5.16 Spesifikasi pompa utilitas (lanjutan)

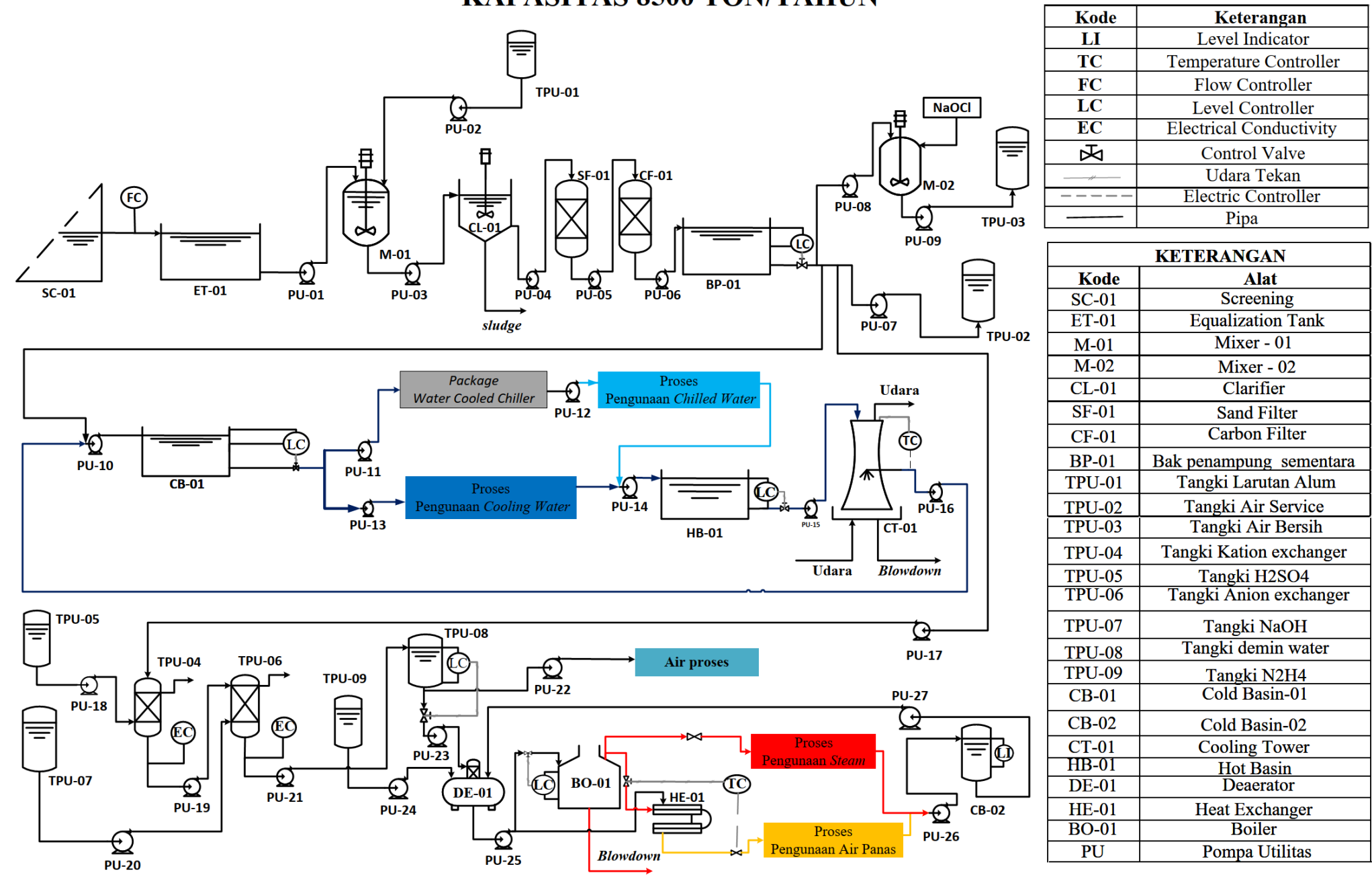
Kode	PU-19	PU-20	PU-21	PU-22	PU-23
Fungsi	Mengalirkan air dari Tangki <i>Kation Exchanger</i> (TPU-04) menuju Tangki <i>Anion Exchanger</i> (TPU-06)	Mengalirkan Larutan NaoH dari Tangki Larutan (TPU-07) menuju Tangki <i>Anion Exchanger</i> (TPU-06)	Mengalirkan air dari Tangki <i>Anion Exchanger</i> (TPU-06) menuju Tangki Penampungan sementara (TPU-08)	Mengalirkan air dari Tangki penampungan sementara (TPU-08) menuju air proses	Mengalirkan air dari Tangki Penampung Sementara (TPU-08) menuju Daerator (DE-01)
Jenis Pompa	<i>Centrifugal Single Stage Pump</i>	<i>Centrifugal Single Stage Pump</i>	<i>Centrifugal Single Stage Pump</i>	<i>Centrifugal Single Stage Pump</i>	<i>Centrifugal Single Stage Pump</i>
Bahan Konstruksi	<i>Stainless Steel SA-167 Type 316</i>	<i>Stainless Steel SA-167 Type 316</i>	<i>Stainless Steel SA-167 Type 316</i>	<i>Stainless Steel SA-167 Type 316</i>	<i>Stainless Steel SA-167 Type 316</i>
Dimensi Pipa					
- IPS	1,00 in	0,13 in	1 in	0,50 in	0,75 in
- Sch.No	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
- ID	1,05 in	0,27 in	1,05 in	0,66 in	0,82 in
- OD	1,32 in	0,41 in	1,32 in	0,84 in	1,05 in
Daya Pompa	11,07 Watt	0,005 Watt	9,50 Watt	1,55 Watt	11,29 Watt
Daya Motor	37,29 Watt	37,29 Watt	37,29 Watt	37,29 Watt	37,29 Watt

Tabel 5.17 Spesifikasi pompa utilitas (lanjutan)

Kode	PU-24	PU-25	PU-26	PU-27
Fungsi	Mengalirkan N ₂ H ₄ dari Tangki N ₂ H ₄ (TPU-10) menuju Daerator (DE-01)	Mengalirkan air dari Daerator (DE-01) menuju <i>Boiler</i> dan HE-01	Mengalirkan air dari <i>unit</i> air <i>steam</i> dan <i>unit</i> air panas menuju <i>Cold Basin</i> (CB-02)	Mengalirkan air dari <i>Cold Bansin</i> (CB-02) menuju Daerator kembali (DE-01)
Jenis Pompa	<i>Centrifugal Single Stage Pump</i>	<i>Centrifugal Single Stage Pump</i>	<i>Centrifugal Single Stage Pump</i>	<i>Centrifugal Single Stage Pump</i>
Bahan Konstruksi	<i>Stainless Steel SA-167 Type 316</i>	<i>Stainless Steel SA-167 Type 316</i>	<i>Stainless Steel SA-167 Type 316</i>	<i>Stainless Steel SA-167 ype 316</i>
Dimensi Pipa				
- IPS	0,13 in	0,75 in	0,75 in	0,75 in
- Sch.No	40,00	40,00	40,00	40,00
- ID	0,27 in	0,82 in	0,82 in	0,82 in
- OD	0,41 in	1,05 in	1,05 in	1,05 in
Daya Pompa	0,0002 Watt	3,96 Watt	11,318 Watt	8,826 Watt
Daya Motor	37,29 Watt	37,29 Watt	37,29 Watt	37,29 Watt

5.1.5 Diagram Unit Pengolahan Air

DIAGRAM UNIT PENGOLAHAN AIR PABRIK YOGURT DARI SUSU SAPI
KAPASITAS 8500 TON/TAHUN



Gambar 5. 1 Diagram unit pengolahan air

5.2 Unit Penyediaan Udara Tekan (*Instrument Air System*)

Unit penyedia udara tekan berfungsi untuk menyediakan suplai udara bertekanan yang digunakan sebagai penggerak berbagai sistem kontrol dan instrumen pneumatik di pabrik. Sistem kontrol ini sangat penting dalam menjaga kestabilan dan keandalan operasi proses, seperti menggerakkan valve, aktuator, dan sistem kontrol otomatis lainnya yang bekerja dengan tekanan udara. Kebutuhan udara tekan untuk 22 alat kontrol proses dan 16 alat kontrol utilitas adalah sebesar 77,484 m³/jam.

Udara atmosfer dihisap dan dikompresi hingga tekanan 6 bar menggunakan *Single-Stage Reciprocating Compressor*. Udara terkompresi yang dihasilkan masih mengandung uap air yang dapat menyebabkan korosi serta mengganggu kinerja sistem pneumatik. Oleh karena itu, udara dialirkan ke tangki silika gel untuk menurunkan kadar kelembapan melalui proses adsorpsi oleh media silika gel. Setelah proses pengeringan, udara kering dialirkan langsung ke sistem kontrol pneumatik untuk digunakan sebagai media penggerak instrumen dan peralatan kontrol.

Tabel 5.18 Perancangan Kompresor

Parameter	Nilai
Jenis	Single Stage Reciprocating Compressor
Kapasitas Volumetrik	77,484 m ³ /jam
Suction Temperature	30 °C
Suction Pressure	1 atm
Discharge Pressure	6 bar

Rasio Tekanan	5,92 : 1
Efisiensi	85%
Daya Motor	10 HP

Tabel 5.19 Tangki silica gel

Parameter	Nilai
Jenis	Silinder Vertikal
Diameter	1,0573 m
Tinggi	1,0573 m
Kapasitas Silika Adsorpsi Silika Gel	0,43 kg air/kg silika
Kebutuhan Silika Gel	4,504 kg/jam
Regenerasi	24 jam
Volume Silika Gel	1,392 m ³
Massa Jenis Silika Gel	2.330 kg/m ³
Kebutuhan Silika Gel Penyimpanan	3.243,50 kg/bulan

5.3 Unit Pembangkit *Steam*

Unit pembangkit steam berfungsi untuk memenuhi kebutuhan steam pada proses produksi *yoghurt*. Steam yang dihasilkan digunakan sebagai media pemanas pada heater (HE-01) dan tangki pelarutan (T-02).

Tabel 5.20 Kebutuhan steam

Nama Alat	Kode	Jumlah (kg/jam)
Heater	HE-01	165,852
Tangki Pelarutan	T-02	2,732
Total		168,6

Tabel 5.21 Tabel spesifikasi teknis boiler

Parameter	Nilai
Tipe Steam	<i>Saturated Steam</i>
Suhu Steam	150 °C
Tekanan Steam	4,7 atm
Kapasitas Produksi Steam	250 kg/jam
Kebutuhan Kalor Total	582.851 kJ/jam
Luas Perpindahan Panas	1,989 m ²

Air proses dari tangki (TPU-08) dialirkan menuju deaerator (DE-01) untuk menghilangkan gas-gas terlarut yang dapat menyebabkan korosi pada sistem boiler. Selanjutnya, air yang telah mengalami proses deaerasi dipompa menuju boiler (BO-01). Di dalam boiler, air dipanaskan hingga menghasilkan saturated steam pada suhu 150°C dan tekanan 4,7 atm. Steam yang dihasilkan kemudian didistribusikan ke unit-unit proses yang memerlukan pemanasan menggunakan steam. Setelah digunakan, steam mengalami kondensasi dan berubah menjadi kondensat yang selanjutnya dialirkan ke *cooling* basin (CB-02). Sebagian air dari deaerator juga dialirkan menuju *heat exchanger* (HE-01) untuk dipanaskan sebelum digunakan pada unit proses yang membutuhkan air panas. Setelah digunakan dalam proses, air tersebut dialirkan ke *cooling basin* (CB-02). (CB-02) berfungsi sebagai tempat penampungan kondensat dari proses steam dan air panas bekas proses. Air yang terkumpul di dalam *cooling* basin kemudian disirkulasikan kembali ke deaerator sebagai air umpan *boiler* sehingga dapat digunakan kembali dalam sistem utilitas.

5.4 Unit Penyedia Bahan Bakar

Unit penyedia bahan bakar berfungsi untuk menyediakan dan menyimpan bahan bakar yang digunakan pada unit utilitas pabrik, yaitu boiler dan generator cadangan. Bahan bakar yang digunakan adalah solar (*fuel oil*) karena mudah

diperoleh di pasaran, mudah disimpan dan ditangani, memiliki nilai kalor yang tinggi, serta mampu menghasilkan pembakaran yang stabil sehingga sesuai digunakan untuk mendukung operasional *boiler* dan generator.

Tabel 5.22 Kebutuhan Bahan Bakar

Nama Alat	Jumlah (kg/jam)
<i>Boiler</i>	15,93
Generator Cadangan	12,03
Total	27,42

Untuk menjamin ketersediaan bahan bakar selama operasi, dirancang tangki penyimpanan dengan kapasitas penyimpanan selama 3 hari. Volume kebutuhan bahan bakar yang diperoleh sebesar 1,3369 m³. Dengan mempertimbangkan faktor overdesign sebesar 20%, volume tangki penyimpanan yang digunakan adalah 1,6042 m³.

Tabel 5.23 Tabel spesifikasi tangki bahan bakar

Parameter	Nilai
Fungsi	Menyimpan bahan bakar solar
Jenis Tangki	Silinder Tegak
Bahan Bakar	Solar (<i>Fuel Oil</i>)
Waktu Penyimpanan	3 hari
Volume Kebutuhan	1,6042 m ³
Diameter Tangki	1,007 m
Tinggi Tangki	1,4749 m

5.5 Unit pembangkit listrik (*Power Plant System*)

Unit pembangkit listrik dibangun untuk memenuhi kebutuhan pasokan listrik bagi alat alat proses, utilitas, instrumentasi, maupun kebutuhan penunjang pabrik

lainnya seperti kantor, laboratorium, dan perumahan karyawan. Kebutuhan listrik akan dipenuhi oleh PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero), namun akan digunakan pembangkit cadangan apabila arus listrik dari PT. PLN mengalami gangguan yaitu generator. Generator yang digunakan dalam pabrik ini menggunakan bahan bakar solar.

Tabel 5. 24 Spesifikasi teknis generator

Parameter	Nilai
Tipe	<i>AC Three Phase Diesel Generator (Silent/Soundproof Type)</i>
Kapasitas	246 kW
Tegangan	230/400 V
Frekuensi	50 Hz
Efisiensi	80%
Bahan Bakar	Solar (<i>Fuel Oil</i>)

5.6 Kebutuhan Listrik di Pabrik

Kebutuhan listrik di pabrik dibagi menjadi kebutuhan listrik alat proses dan alat utilitas serta instrumentasi. Kebutuhan listrik untuk fasilitas penunjang masuk ke dalam kebutuhan listrik lainnya.

1. Kebutuhan Listrik Alat Proses

Tabel 5.25 Kebutuhan listrik alat proses

Alat	Kode Alat	Daya	
		Hp	Watt
Tangki bahan baku	T-01	3	2237,1
Tangki pelarutan	T-02	0,5	372,9
<i>Mixer</i>	M-01	0,08	62,1

Reaktor	R-01	6	4474,2
Pompa-01	P-01	0,08	62,1
Pompa-02	P-02	0,05	37,3
Pompa-03	P-03	0,50	372,9
Pompa-04	P-04	0,05	37,3
Pompa-05	P-05	0,17	124,3
Pompa-06	P-06	0,17	124,3
Total		10,60	7904,4
Power yang dibutuhkan	8003,846		Watt
	8,003846		kW

2. Kebutuhan Listrik untuk Alat Utilitas

Tabel 5.26 .Kebutuhan listrik untuk alat utilitas

Alat	Kode Alat	Daya	
		Hp	Watt
<i>Clarifier</i>	CL-01	3	2237,1
<i>Mixer</i>	M-01	2	1491,4
<i>Mixer</i>	M-02	10	7457
<i>Cooling Tower</i>	BL-01	10,0	7457
<i>Compressor Udara</i>	CPU-01	10	7457,00
<i>Chiller</i>	CH-01	51	38030,7
Pompa-01	PU-01	1,0	745,7
Pompa-02	PU-02	0,05	37,285
Pompa-03	PU-03	1,50	1118,55
Pompa-04	PU-04	1,00	745,7
Pompa-05	PU-05	2,00	1491,4
Pompa-06	PU-06	1	745,7
Pompa-07	PU-07	0,05	37,285
Pompa-08	PU-08	0,05	37,285
Pompa-09	PU-09	0,05	37,285
Pompa-10	PU-10	1,50	1118,55
Pompa-11	PU-11	0,50	372,85
Pompa-12	PU-12	0,25	186,425
Pompa-13	PU-13	0,05	37,285

Pompa-14	PU-14	0,50	372,85
Pompa-15	PU-15	0,50	372,85
Pompa-16	PU-16	0,50	372,850
Pompa-17	PU-17	0,05	37,285
Pompa-18	PU-18	0,13	93,2125
Pompa-19	PU-19	0,05	37,285
Pompa-20	PU-20	0,05	37,285
Pompa-21	PU-21	0,05	37,285
Pompa-22	PU-22	0,05	37,285
Pompa-23	PU-23	0,05	37,285
Pompa-24	PU-24	0,05	37,285
Pompa-25	PU-25	0,05	37,285
Pompa-26	PU-26	0,05	37,285
Pompa-27	PU-27	0,05	37,285
Total		97,025	72426,1125

Total Power Alat Utilitas	72.426	Watt
	72	kW

3. Kebutuhan Sistem Kendali dan Otomasi

Sistem kendali dan otomasi digunakan untuk mengendalikan laju alir, temperatur, tekanan, dan level cairan secara otomatis menggunakan instrumen kontrol yang terhubung dengan PLC dan HMI guna menjaga kelancaran dan kestabilan proses produksi. Total kebutuhan ini diperkirakan sebesar 25% dari kebutuhan listrik power plant, yaitu 24,13 KW

4. Kebutuhan Penerangan

Mencakup penerangan di area produksi, perkantoran, jalan, serta fasilitas umum. Besarnya 15% dari listrik power plant, yaitu 14,48 kW

5. Kebutuhan Kantor dan Elektronik

Meliputi AC, komputer, printer, dan peralatan elektronik kantor lainnya.

Kebutuhannya sekitar 10% dari *power plant*, yaitu 14,48 kW

6. Kebutuhan Laboratorium dan Bengkel

Melibatkan alat-alat laboratorium dan peralatan bengkel. Besarnya 15% dari kebutuhan listrik *power plant*, yaitu 14,48 kW

Dengan sistem suplai listrik utama dan cadangan yang terencana, kebutuhan energi pabrik dapat terpenuhi secara stabil dan berkelanjutan. Rincian total kebutuhan listrik disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 5.27 Total kebutuhan listrik pabrik

Total Kebutuhan Listrik Pabrik		
No	Keperluan	Kebutuhan (kW)
1	<i>Power plant</i> dan Utilitas	96,3966
2	Alat Kontrol	24,0992
3	Penerangan	14,4595
4	Peralatan Kantor	14,4595
5	Bengkel, Lab	14,4595
Total		163,8743

5.7 Unit Pengolahan Limbah

Pabrik susu *yoghurt* bubuk dari susu segar memproduksi beberapa limbah padat, cair, dan gas dari proses pencucian serta utilitas dalam pabrik. Limbah yang dihasilkan tidak dapat dibuang langsung ke lingkungan karena dapat mengakibatkan pencemaran yang memiliki efek berkelanjutan. Unit pengolahan

limbah dalam pabrik dapat dikategorikan menjadi 3 bagian berdasarkan fasa limbah tersebut:

1) Limbah Gas

Gas buang dari generator berbahan bakar solar mengandung beberapa zat pencemar seperti partikulat, sulfur oksida (SO_x), nitrogen oksida (NO_x), hidrokarbon (HC), dan karbon monoksida (CO) yang dapat menurunkan kualitas udara. Emisi tersebut dapat diolah menggunakan *unit wet scrubber*. Pada proses ini, gas buang dialirkan ke dalam *scrubber* dan dikontakkan dengan larutan air yang mengandung natrium hidroksida (NaOH) yang disemprotkan melalui *nozzle*. Larutan tersebut berfungsi menyerap gas pencemar, terutama SO_x dan sebagian NO_x, serta menangkap partikulat yang terbawa dalam aliran gas. Setelah melewati *wet scrubber*, gas dialirkan ke *unit carbon filter* untuk menghilangkan sisa hidrokarbon dan partikel halus yang masih tersisa. Dengan kombinasi kedua unit tersebut, kandungan polutan dalam gas buang dapat dikurangi sehingga emisi yang dilepaskan ke atmosfer menjadi lebih aman bagi lingkungan (Warke et al., 2025).

2) Limbah Cair

Limbah cair yang dihasilkan pabrik ini umumnya berasal dari air bekas pencucian alat proses serta limbah sanitasi untuk keperluan pabrik atau perkantoran. Air bekas pencucian alat umumnya membawa susu yang mengandung kadar lemak, sehingga jika dibiarkan akan menumpuk dan menyebabkan pencemaran. Berikut adalah tahapan yang diperlukan untuk pengolahan limbah cair (Kolev Slavov, 2017):

a. *Screening* (Penyaringan)

Unit screening berfungsi untuk menyisihkan padatan berukuran besar seperti gumpalan *yoghurt*, sisa bahan baku, plastik, dan material asing lainnya yang terbawa dalam aliran limbah. Penyaringan dilakukan pada tahap awal untuk mencegah penyumbatan pipa dan kerusakan peralatan pada unit pengolahan berikutnya.

b. *Equalization Tank*

Equalization tank digunakan untuk menampung dan menghomogenkan limbah sehingga fluktuasi debit, suhu, pH, dan beban organik dapat diminimalkan. Bak ekualisasi umumnya dirancang dengan waktu penahanan 6–12 jam dan volume sebesar 25–50% dari total limbah harian. Unit ini sangat penting karena limbah industri *yoghurt* memiliki karakteristik yang berubah-ubah akibat proses produksi dan pencucian peralatan (CIP).

c. *Grease Trap*

Grease trap berfungsi untuk memisahkan lemak dan minyak yang berasal dari susu. Lemak susu memiliki densitas lebih rendah daripada air sehingga dapat dipisahkan secara gravitasi. Penghilangan lemak pada tahap awal diperlukan untuk mencegah gangguan pada proses biologis dan mengurangi akumulasi kerak dalam sistem perpipaan.

d. *Neutralization Tank*

Limbah *yoghurt* umumnya memiliki pH sekitar 4,5 akibat kandungan asam laktat hasil fermentasi, sedangkan limbah dari proses CIP dapat memiliki pH hingga 10–11. Oleh karena itu, diperlukan unit netralisasi untuk menyesuaikan

pH pada rentang 6–9 agar sesuai dengan kondisi optimum pertumbuhan mikroorganisme pada proses biologis.

e. *Dissolved Air Flotation (DAF)*

Unit DAF digunakan untuk menghilangkan lemak, protein terkoagulasi, dan padatan tersuspensi melalui proses flotasi menggunakan gelembung udara berukuran mikro. DAF efektif menurunkan beban organik limbah susu sebelum memasuki unit biologis sehingga dapat meningkatkan efisiensi pengolahan secara keseluruhan.

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

Reaktor *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB) digunakan sebagai pengolahan biologis primer untuk menurunkan kandungan bahan organik yang tinggi. Limbah *yoghurt* memiliki nilai COD sekitar 6,5 g/L dengan kandungan utama berupa laktosa, protein, dan lemak. Pada reaktor UASB, senyawa organik tersebut diuraikan oleh mikroorganisme anaerob menjadi biogas. Berdasarkan jurnal, efisiensi penyisihan COD pada reaktor UASB dapat mencapai 70–90%.

g. *Sequencing Batch Reactor (SBR)*

SBR digunakan sebagai pengolahan biologis aerobik lanjutan untuk menghilangkan sisa bahan organik yang belum terdegradasi pada proses anaerobik. Sistem ini dipilih karena mampu menangani fluktuasi beban limbah yang umum terjadi pada industri *yoghurt*. Menurut Slavov (2017), efisiensi penyisihan COD pada sistem SBR dapat mencapai 91–97%, sedangkan penyisihan nitrogen total dapat mencapai sekitar 80%.

h. *Secondary Clarifier*

Secondary clarifier berfungsi untuk mengendapkan flok biomassa yang terbentuk selama proses aerasi. Lumpur yang mengendap dipisahkan dari air olahan sehingga diperoleh efluen yang lebih jernih dan memenuhi persyaratan untuk tahap pengolahan berikutnya.

i. Unit Disinfeksi

Unit disinfeksi digunakan untuk mengurangi jumlah mikroorganisme patogen sebelum air hasil pengolahan dibuang ke lingkungan. Proses ini dapat dilakukan menggunakan klorin atau sinar *ultraviolet* (UV) sehingga kualitas efluen menjadi lebih aman bagi lingkungan perairan.

3) Limbah Padat

Lumpur yang dihasilkan dari unit DAF, reaktor UASB, dan secondary *clarifier* dialirkan menuju bak penampung lumpur (*sludge holding tank*) untuk dikumpulkan sebelum dilakukan proses pengentalan. Lumpur selanjutnya dikeringkan menggunakan unit *sludge drying bed* guna menurunkan kadar air dan mengurangi volumenya. Lumpur kering yang dihasilkan kemudian dapat dibuang ke tempat pembuangan akhir (TPA) atau dimanfaatkan lebih lanjut sesuai dengan ketentuan lingkungan yang berlaku.

BAB VI. EVALUASI EKONOMI

Evaluasi ekonomi merupakan bagian penting dalam studi kelayakan pendirian pabrik *yoghurt*. Tujuan evaluasi ini adalah untuk mengetahui apakah proyek tersebut layak dijalankan dari sisi investasi dan operasional. Dalam konteks pendirian pabrik *yoghurt*, evaluasi ekonomi diperlukan untuk memastikan bahwa biaya yang dikeluarkan selama masa konstruksi dan operasional dapat memberikan keuntungan yang memadai bagi investor serta memiliki tingkat risiko yang dapat diterima.

Pabrik *yoghurt* memiliki prospek yang baik karena *yoghurt* merupakan produk olahan susu yang memiliki permintaan pasar yang terus meningkat seiring dengan meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap pola hidup sehat. Selain itu, ketersediaan bahan baku susu segar yang memadai juga mendukung keberlangsungan operasi pabrik. Faktor-faktor yang akan ditinjau dalam evaluasi ekonomi ini mengacu pada metode Aries dan Newton, yang meliputi *Return on Investment* (ROI), *Pay Out Time* (POT), *Break Even Point* (BEP), *Shut Down Point* (SDP), dan *Internal Rate of Return* (IRR). Hasil evaluasi tersebut digunakan sebagai dasar untuk menentukan kelayakan pendirian pabrik *yoghurt* dari aspek ekonomi.

a. *Capital Investment*, yang terdiri dari:

- 1) *Fixed Capital Investment* (modal tetap)
- 2) *Working Capital Investment* (modal kerja)

b. *Manufacturing Cost*, yang terdiri dari:

- 1) *DirectManufacturing Cost* (biaya produksi langsung)
- 2) *IndirectManufacturing Cost* (biaya produksi tidak langsung)
- 3) *FixedManufacturing Cost* (biaya tetap)

c. *General Expense* (biaya umum)

Setelah meninjau komponen-komponen biaya tersebut, dilakukan analisis kelayakan finansial melalui indikator ekonomi seperti ROI (Return on Investment), POT (*Payout Time*), BEP (*Break Even Point*), DCFRR (*Discounted Cash Flow Rate of Return*), serta analisis risiko pabrik (*risk assessment*) untuk menilai tingkat risiko dari proyek ini

6.1 Dasar Perhitungan

Dasar-dasar perhitungan ekonomi dalam studi ini meliputi parameter parameter sebagai berikut :

- | | |
|---------------------------|------------------|
| 1) Kapasitas produksi | : 8500 ton/tahun |
| 2) Hari operasi | : 330 hari/tahun |
| 3) Umur alat | : 10 tahun |
| 4) Nilai tukar | : RP 17.789/USD |
| 5) Tahun pendirian pabrik | : 2030 |
| 6) UMR Kota Malang (2026) | : ± Rp 4.078.570 |

6.2 Penaksiran Harga Alat

Penaksiran harga alat dilakukan untuk memperkirakan biaya pengadaan peralatan utama dan pendukung proses produksi. Penilaian harga dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi ekonomi tahun 2026, karena pabrik mulai dipersiapkan sejak tahun tersebut, walaupun operasionalnya direncanakan mulai tahun 2030. Oleh karena itu, semua harga alat diasumsikan mengikuti nilai pasar tahun 2026.

Sumber harga peralatan didapatkan dari situs *Matche Equipment Cost Index*, namun harga yang tersedia adalah harga tahun 2014. Untuk menyesuaikan dengan harga tahun 2025, dilakukan eskalasi harga menggunakan *Chemical Engineering Plant Cost Index (CEPCI)*

Tabel 6.1 Indeks harga alat pada tahun 1963 - 2000

No	Tahun (Xi)	Indeks (Y _i)
1	1963	102,4
2	1964	103,3
3	1965	104,2
4	1966	107,2
5	1967	109,7
6	1968	113,7
7	1969	119
8	1970	125,7
9	1971	132,3
10	1972	137,2
11	1973	144,1
12	1974	165,4
13	1975	182,4
14	1976	192,1
15	1977	204,1
16	1978	218,8
17	1979	238,7
18	1980	261,2
19	1981	297

20	1982	314
21	1983	317
22	1984	322,7
23	1985	325,3
24	1986	318,4
25	1987	323,8
26	1988	342,5
27	1989	355,4
28	1990	357,6
29	1991	361,3
30	1992	358,2
31	1993	359,2
32	1994	368,1
33	1995	381,1
34	1996	381,7
35	1997	386,5
36	1998	389,5
37	1999	390,6
38	2000	394,1

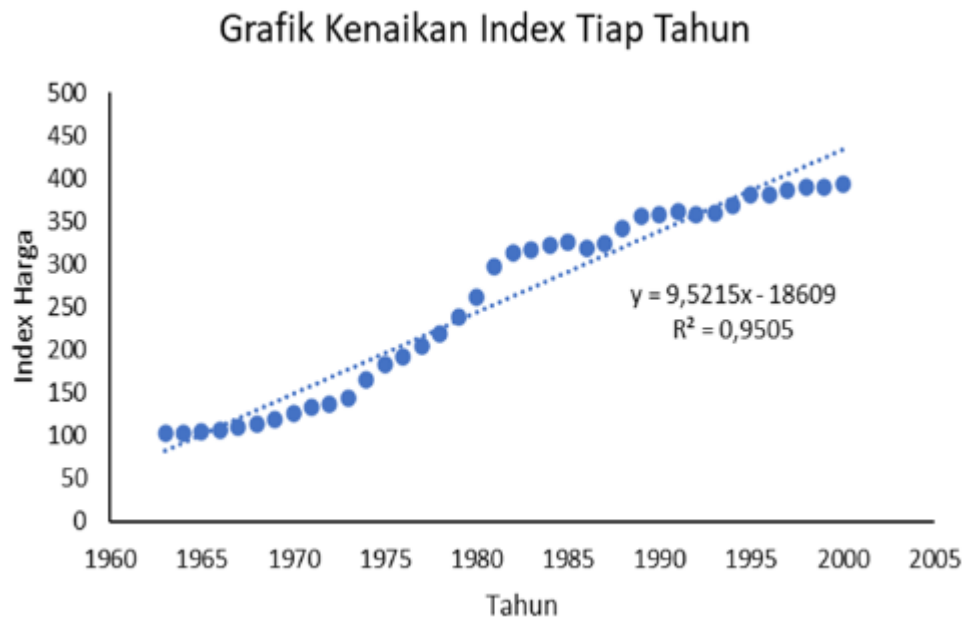
Dengan :

Ex : Harga alat pada tahun 2026

Ey : Harga alat pada tahun referensi 2024

Nx : CEPCI tahun 2026

Ny : CEPCI tahun 2014



Gambar 6.1 Regresi linier indeks harga

Persamaan regresi linear dari grafik CEPCI untuk memproyeksikan indeks adalah:

$$Y = 9,5215x - 18.609$$

Dari perhitungan tersebut, diperoleh bahwa nilai CEPCI pada tahun 2014 adalah sebesar 567,301, sedangkan nilai CEPCI pada tahun 2026 adalah sebesar 681,559. Nilai-nilai ini digunakan sebagai dasar untuk menyesuaikan harga alat dari tahun referensi ke tahun evaluasi agar mencerminkan kondisi ekonomi aktual pada saat perencanaan pabrik. Berdasarkan nilai indeks CEPCI tersebut, berikut hasil penyesuaian harga alat yang disajikan pada tabel berikut :

Tabel 6.2 Harga alat proses

Nama Alat	Kode Alat	Jumlah	EY	EX
T. Bahan Baku Susu Sapi	T-01	1	\$452.100,0	\$573.717,2
T.Pelarutan	T-02	1	\$34.000,0	\$43.146,2
T.Penyimpanan produk	T-03	1	\$101.300,0	\$128.550,2
Reaktor	R-01	2	\$395.500,0	\$1.003.783,1
<i>Mixer</i>	M-01	1	\$52.300,0	\$66.369,0
<i>Heat Exchanger</i>	HE-01	1	\$2.000,0	\$2.538,0
<i>Hopper 1</i>	HP-01	2	\$500,0	\$1.269,0
<i>Hopper 2</i>	HP-02	2	\$1.400,0	\$3.553,2
<i>Cooler</i>	CL-01	1	\$2.300,0	\$2.918,7
	CL-02	1	\$2.300,0	\$2.918,7
Pompa	P-01	1	\$7.600,0	\$9.644,4
	P-02	1	\$7.600,0	\$9.644,4
	P-03	1	\$7.300,0	\$9.263,7
	P-04	1	\$5.200,0	\$6.598,8
	P-05	1	\$1.800,0	\$2.284,2
	P-06	1	\$1.700,0	\$2.157,3
Total			\$1.868.356,3	
			\$33.236.189.795,0	

Tabel 6.3 Harga alat utilitas

Nama Alat	Kode Alat	Jumlah	EY	EX
<i>Screening</i>	SC-01	1	\$24.100,0	\$30.583,0
<i>Equalization Tank</i>	ET-01	1	\$62.700,0	\$79.566,6
<i>Mixer</i>	M-01	1	\$23.300,0	\$29.567,8
Tangki Larutan tawas	TPU-01	1	\$25.300,0	\$32.105,8
<i>Clafier</i>	CL-01	1	\$35.600,0	\$45.176,6
<i>Sand filter</i>	SF-01	1	\$27.500,0	\$34.897,6
<i>Carbon filter</i>	CF-01	1	\$18.700,0	\$23.730,4
Penampungan	BP-01	1	\$38.600,0	\$48.983,6
<i>Mixer</i>	M-02	1	\$51.400,0	\$65.226,9
Tangki Air bersih	TPU-03	1	\$39.400,0	\$49.998,8
Tangki Air Bertekanan	TPU-02	1	\$29.200,0	\$37.055,0
<i>Cold bansin</i>	CB-01	1	\$15.400,0	\$19.542,7
<i>Chiller 1 paket</i>	CH-01	2	\$25.000,0	\$52.798,0
<i>Hot Basin</i>	HB-01	1	\$15.400,0	\$19.542,7

<i>Cooling Tower</i>	CT-01	1	\$142.100,0	\$180.325,6
Tangki kation <i>Exchanger</i>	TPU-04	1	\$9.200,0	\$11.674,8
Tangki larutan H2SO4	TPU-05	1	\$47.200,0	\$59.897,0
Tangki Anion <i>Exchanger</i>	TPU-06	1	\$4.200,0	\$5.329,8
Tangki larutan NaOH	TPU-07	1	\$36.800,0	\$46.699,4
Tangki demin	TPU-08	1	\$10.200,0	\$12.943,9
Tangki N2H4	TPU-09	1	\$23.600,0	\$29.948,5
Daerator	DE-01	1	\$14.900,0	\$19.400,0
<i>Heat Exchanger</i>	HE-01	1	\$1.600,0	\$2.030,4
Boiler	BO-01	1	\$217.100,0	\$275.501,0
Cold Basin	CB-02	1	\$13.100,0	\$16.624,0
Kompresor	C-01	1	\$4.800,0	\$6.091,2
Tangki Silica Gel	TU-11	1	\$900,0	\$1.142,1
Tangki Bahan Bakr	TU-12	1	\$1.000,0	\$1.269,0
Generator	G-01	1	\$32.100,0	\$33.896,3
<i>Unit Cooler</i>	CU-01	2	\$1.102,9	\$2.329,3
Pompa	PU-01	1	\$19.300,0	\$24.491,8
Pompa	PU-02	1	\$1.800,0	\$2.284,2
Pompa	PU-03	1	\$19.300,0	\$24.491,8
Pompa	PU-04	1	\$19.300,0	\$24.491,8
Pompa	PU-05	1	\$19.300,0	\$24.491,8
Pompa	PU-06	1	\$19.300,0	\$24.491,8
Pompa	PU-07	1	\$5.400,0	\$6.852,6
Pompa	PU-08	1	\$5.400,0	\$6.852,6
Pompa	PU-09	1	\$5.400,0	\$6.852,6
Pompa	PU-10	1	\$19.300,0	\$24.491,8
Pompa	PU-11	1	\$19.300,0	\$24.491,8
Pompa	PU-12	1	\$19.300,0	\$24.491,8
Pompa	PU-13	1	\$8.300,0	\$10.532,7
Pompa	PU-14	1	\$19.300,0	\$24.491,8
Pompa	PU-15	1	\$19.300,0	\$24.491,8
Pompa	PU-16	1	\$19.300,0	\$24.491,8
Pompa	PU-17	1	\$6.500,0	\$8.248,5
Pompa	PU-18	1	\$5.400,0	\$6.852,6
Pompa	PU-19	1	\$6.500,0	\$8.248,5

Pompa	PU-20	1	\$2.800,0	\$3.553,2
Pompa	PU-21	1	\$6.500,0	\$8.248,5
Pompa	PU-22	1	\$4.300,0	\$5.456,7
Pompa	PU-23	1	\$5.400,0	\$6.852,6
Pompa	PU-24	1	\$1.800,0	\$2.284,2
Pompa	PU-25	1	\$5.400,0	\$6.852,6
Pompa	PU-26	1	\$5.400,0	\$6.852,6
Pompa	PU-27	1	\$5.400,0	\$6.852,6
Total			\$1.285.502,9	\$1.646.965,5
			\$22.867.811.674,0	\$29.297.870.005,7

6.3 Komponen Biaya

Dalam perancangan pabrik, analisis terhadap komponen biaya merupakan tahap penting untuk memperoleh estimasi kebutuhan dana secara menyeluruh. Dengan mengetahui rincian komponen biaya, maka kelayakan ekonomi dari pabrik dapat dianalisis secara objektif. Secara umum, komponen biaya dalam pendirian pabrik dibagi menjadi tiga kategori utama, yaitu *capital investment*, *Manufacturing cost*, dan *general expense*

a. *Capital Investment* (Modal)

Capital investment atau investasi modal merupakan seluruh biaya yang dikeluarkan sebelum pabrik mulai beroperasi secara penuh. Komponen ini dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu *fixed capital investment* dan *working capital investment*.

Tabel 6.4 Capital investment

Komponen	Biaya (Rp)
<i>Fixed Capital Cost</i>	Rp391.946.852.192,43
<i>Working Capital Cost</i>	Rp59.457.749.435,0

Total <i>Capital Investment</i>	Rp451.404.601.627,45
---------------------------------	-----------------------------

1) *Fixed capital investment (FCI)*

Meliputi pengeluaran untuk pembangunan fasilitas fisik seperti gedung, pembelian dan instalasi peralatan proses, tangki, pipa, serta konstruksi penunjang lainnya. Biaya ini bersifat jangka panjang dan umumnya hanya dilakukan sekali selama masa awal pembangunan pabrik.

Tabel 6.5 Physical Plant Cost

PEC (<i>Purchased Equipment Cost</i>)	Rp72.351.907.189,42
DEC (<i>Delivered Equipment Cost</i>)	Rp18.087.976.797,36
Biaya Pemasangan	Rp18.087.976.797,36
Biaya Pemipaan	Rp26.046.686.588,19
Biaya Instrumentasi dan Kontrol	Rp18.087.976.797,36
Biaya Instalasi Listrik	Rp7.235.190.718,94
Biaya Bangunan	Rp27.720.844.765
Biaya Pengembangan Lahan	Rp36.175.953.594,71
<i>Service Facilities</i>	Rp28.940.762.875,77
Biaya <i>Land</i>	Rp27.588.337.906
<i>Start Up Expenses Cost</i>	Rp69.134.077
Total PPC	Rp280.392.748.106,90

Tabel 6.6 Direct Plant Cost

<i>Engineering and Supervision Cost</i> (biaya teknik dan supervisi)	Rp42.058.912.216,03
<i>Construction Cost</i> (biaya konstruksi)	Rp42.058.912.216,03

<i>Contingenciest</i> (biaya tak terduga)	Rp27.436.279.653,47
Total DPC	Rp111.554.104.085,54

Tabel 6.7 Fixed capital investment (FCI)

Komponen	Biaya (Rp)
<i>Direct Plant Cost</i>	Rp111.554.104.085,54
<i>Indirect Plant Cost</i>	Rp280.392.748.106,90
Total Fixed Capital Investment	Rp391.946.852.192,43

2) *Working capital investment* (WCI)

Working capital investment adalah modal kerja yang dibutuhkan untuk menunjang aktivitas operasional pada tahap awal, termasuk pembelian bahan baku awal, gaji tenaga kerja sebelum pabrik menghasilkan pendapatan, dan biaya operasional awal lainnya.

Tabel 6.8 Working capital investment (WCI)

Komponen	Biaya (Rp)
<i>Working Capital Investment</i>	Rp59.457.749.435,0
Total Working Capital Investment	Rp59.457.749.435,0

b. Manufacturing Cost (Biaya Manufaktur)

Manufacturing cost atau biaya produksi merupakan seluruh biaya yang dikeluarkan dalam menjalankan proses produksi selama pabrik beroperasi. Biaya ini terbagi menjadi tiga kategori utama, yaitu *directManufacturing cost*, *indirectManufacturing cost*, dan *fixedManufacturing cost*.

Tabel 6.9 Manufacturing cost (MC)

Komponen	Biaya (Rp)
<i>Direct Manufacturing Cost</i>	Rp183.415.949.335,8
<i>Indirect Manufacturing Cost</i>	Rp13.893.029.798
<i>Fixed Manufacturing Cost</i>	Rp47.033.622.263,09
<i>Total Manufacturing Cost</i>	Rp244.342.601.396,9

1) *Direct Manufacturing Cost (DMC)*

Direct Manufacturing cost adalah biaya langsung yang terkait dengan proses produksi, seperti pembelian bahan baku utama, biaya utilitas (listrik, air, uap), serta upah tenaga kerja langsung yang terlibat dalam pengoperasian unit proses.

Tabel 6.10 Direct Manufacturing cost (DMC)

Komponen	Biaya (Rp)
<i>Raw Material</i>	Rp139.287.879.937,3
Biaya Pekerja Operasi	Rp7.295.928.736
Biaya <i>Direct Supervisory</i>	Rp729.592.874
Utilitas	Rp9.022.939.771
Biaya Perawatan dan Perbaikan	Rp23.516.811.131,55
<i>Plant Supplies</i>	Rp3.527.521.669,73
<i>Royalty and Patent</i>	Rp35.275.217
<i>Total Direct Manufacturing Cost</i>	Rp183.415.949.335,8

2) *IndirectManufacturing Cost (IMC)*

IndirectManufacturing cost mencakup biaya-biaya tidak langsung dalam produksi, seperti biaya perawatan dan perbaikan alat, biaya kebersihan, serta *overhead* pabrik.

Tabel 6.11 *IndirectManufacturing cost (IMC)*

Komponen	Biaya (Rp)
<i>Payroll Overhead</i>	Rp1.313.267.172
Biaya Laboratorium	Rp1.823.982.184
<i>Plant Overhead</i>	Rp4.377.557.242
<i>Packaging and shipping</i>	Rp6.378.223.200
Total <i>IndirectManufacturing Cost</i>	Rp13.893.029.798

3) *FixedManufacturing Cost (FMC)*

FixedManufacturing cost merupakan biaya tetap yang tidak terpengaruh oleh fluktuasi produksi dalam jangka pendek, seperti biaya penyusutan peralatan, pajak properti pabrik, dan premi asuransi

Tabel 6.12 *Fixed Manufacturing cost (FMC)*

Komponen	Biaya
Depreciation	Rp31.355.748.175,39
Property Taxes	Rp7.838.937.043,85
Insurances	Rp7.838.937.043,85
Total Fixed Manufacturing Cost	Rp47.033.622.263,09

c. *General Expenses* (Pengeluaran Umum)

General expenses atau biaya umum adalah biaya tambahan yang berkaitan dengan aspek non-produksi namun tetap penting untuk keberlangsungan operasional pabrik secara menyeluruh. Biaya ini mencakup biaya administrasi, manajemen, pemasaran, serta penelitian dan pengembangan (*research and development*).

Tabel 6.13 General expenses

Komponen	Biaya
Biaya Administrasi	Rp12.217.130.069,8
<i>Sales</i>	Rp41.538.242.237,5
<i>Research</i>	Rp14.660.556.083,8
<i>Finance</i>	Rp13.542.138.048,82
Total General Expenses	Rp81.958.066.440,0

Tabel 6.14 Total production cost

Total Biaya Produksi	Biaya (Rp)
Total <i>Manufacturing Cost</i>	Rp244.342.601.396,9
<i>General Expenses</i>	Rp81.958.066.440,0
Total	Rp327.566.130.404,4

6.4 Analisa Resiko Pabrik

Analisa risiko merupakan bagian penting dalam evaluasi kelayakan dan keberlanjutan operasional suatu pabrik karena tidak hanya berkaitan dengan aspek keselamatan kerja, tetapi juga mencakup potensi kerugian ekonomi, gangguan terhadap proses produksi, serta dampak yang dapat ditimbulkan terhadap

lingkungan. Oleh karena itu, penilaian risiko dilakukan secara komprehensif untuk mengidentifikasi potensi bahaya serta menentukan tingkat kewaspadaan dan upaya pengendalian yang diperlukan. Analisa ini mempertimbangkan beberapa faktor utama, yaitu kondisi operasi yang meliputi kompleksitas proses dan sistem kendali, karakteristik bahan baku dan produk yang digunakan, kondisi tekanan dan suhu operasi, kepatuhan terhadap regulasi pemerintah, keberadaan serta lokasi pabrik, dan stabilitas pasokan bahan baku. Setiap faktor dievaluasi berdasarkan tingkat bahaya dan potensi dampak yang ditimbulkan, kemudian diklasifikasikan ke dalam kategori risiko rendah (*low risk*) atau risiko tinggi (*high risk*). Hasil penilaian tersebut selanjutnya disajikan dalam bentuk tabel analisa risiko sebagai dasar untuk menilai tingkat keamanan dan kelayakan operasional pabrik.

HTabel 6.15 Analisa resiko pabrik

No	Parameter Risiko	Deskripsi	Risiko	
			Low	High
1	Kondisi Operasi			
	Kondisi Operasi	Seluruh proses berlangsung pada tekanan atmosfer (1 atm) dengan suhu operasi sekitar 4–95°C tanpa reaksi bertekanan tinggi maupun suhu ekstrem	✓	
2	Bahan Baku yang Digunakan			
	Susu segar	Bahan pangan (<i>food grade</i>), tidak mudah terbakar, tidak bersifat toksik maupun korosif, serta aman dalam penanganan normal.	✓	
	Gula pasir	Umumnya aman dan stabil, tidak bersifat toksik maupun korosif. Debu gula dalam konsentrasi tinggi dapat menyebabkan iritasi ringan pada saluran pernapasan.	✓	
	<i>Starter culture</i>	Berupa kultur bakteri <i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i> dan <i>Streptococcus thermophilus</i> . Tidak	✓	

		bersifat berbahaya, namun dalam bentuk bubuk dapat menyebabkan iritasi ringan pada mata dan saluran pernapasan apabila terhirup.		
	CMC	Bahan tambahan pangan yang stabil, tidak mudah terbakar, dan tidak bersifat toksik maupun korosif. Paparan debu CMC dapat menyebabkan iritasi ringan pada mata dan saluran pernapasan.	✓	
3	Produk yang Dihasilkan			
	<i>Yoghurt Stirred</i>	Produk merupakan pangan fermentasi yang tidak mudah terbakar, tidak bersifat toksik, dan tidak menghasilkan emisi berbahaya. Risiko hanya berupa iritasi ringan akibat kontak langsung pada mata atau kulit yang sensitif.	✓	
4	Regulasi Pemerintah	Pabrik dirancang memenuhi peraturan keselamatan kerja, sanitasi industri pangan, pengolahan limbah cair, serta pengelolaan limbah B3 dari unit utilitas sehingga dampak terhadap pekerja dan lingkungan dapat diminimalkan.	✓	
5	Keberadaan Pabrik			
	Keberadaan Pabrik	Pabrik direncanakan berlokasi di Wagir, Kabupaten Malang, dekat dengan sumber bahan baku susu segar dan memiliki akses transportasi yang baik sehingga risiko gangguan pasokan maupun distribusi relatif rendah.	✓	
6	Asal Bahan Baku			
	Asal Bahan Baku	Susu segar sebagai bahan baku utama diperoleh dari PT Greenfields Indonesia, Gunung Kawi, Kabupaten Malang yang berdekatan dengan lokasi pabrik sehingga pasokan lebih terjamin dan biaya distribusi lebih rendah. Gula dipasok oleh Pabrik Gula Kerebet Baru, Kabupaten Malang, sedangkan <i>starter culture</i> dan CMC diperoleh dari Alibaba Express melalui pemasok yang konsisten,	✓	

		sehingga risiko gangguan pasokan relatif rendah.		
7	Bahan Utilitas			
	Tawas (Aluminium Sulfat)	Bersifat iritan terhadap mata, kulit, dan saluran pernapasan serta dapat bersifat korosif pada kondisi tertentu apabila bereaksi dengan air.		✓
	Asam Sulfat (H ₂ SO ₄)	Bersifat sangat korosif terhadap kulit, mata, dan logam serta dapat menyebabkan luka bakar kimia apabila terjadi kontak langsung		✓
	Natrium Hidroksida (NaOH)	Bersifat korosif dan dapat menyebabkan iritasi hingga kerusakan pada kulit, mata, dan saluran pernapasan jika terpapar langsung.		✓
	Hidrazin (N ₂ H ₄)	Bersifat toksik, korosif, dan mudah terbakar serta berpotensi menimbulkan gangguan kesehatan apabila terhirup, tertelan, atau kontak dengan kulit.		✓
	Kaporit (Ca(OCl) ₂)	Bersifat oksidator kuat dan iritan terhadap kulit, mata, serta saluran pernapasan. Dapat bereaksi dengan asam menghasilkan gas klorin yang berbahaya.		✓
	Silika Gel (SiO ₂)	Umumnya stabil dan tidak berbahaya, namun debunya dapat menyebabkan iritasi ringan pada mata dan saluran pernapasan apabila terhirup.	✓	
	Solar	Merupakan bahan bakar yang mudah terbakar sehingga berpotensi menimbulkan bahaya kebakaran apabila terkena sumber panas atau percikan api.		✓

Berdasarkan hasil analisis risiko, diperoleh total 10 poin pada kategori low risk dan 6 poin pada kategori *high risk*, sehingga secara keseluruhan pabrik yogurt dari susu segar kapasitas 8.500 ton/tahun dikategorikan sebagai pabrik dengan tingkat risiko rendah (*low risk*). Klasifikasi ini menunjukkan bahwa sebagian besar aspek

operasional, meliputi kondisi proses, bahan baku, produk, lokasi pabrik, serta ketersediaan bahan baku memiliki tingkat bahaya yang rendah. Meskipun terdapat beberapa bahan utilitas yang memiliki sifat korosif, toksik, atau mudah terbakar, potensi risiko tersebut dapat diminimalkan melalui penerapan prosedur operasi standar (SOP), penggunaan alat pelindung diri (APD), sistem penyimpanan yang sesuai, serta pengelolaan keselamatan dan kesehatan kerja (K3) yang baik. Dengan demikian, operasional pabrik diharapkan dapat berlangsung secara aman, andal, dan terkendali. Selain itu, hasil analisis risiko yang menunjukkan kategori low risk juga mendukung hasil analisis kelayakan ekonomi, di mana parameter ekonomi yang diperoleh, seperti ROI, POT, BEP, dan SDP, menunjukkan bahwa pabrik layak untuk didirikan dan dioperasikan.

6.5 Analisa Kelayakan

Evaluasi kelayakan bertujuan untuk menentukan apakah proyek pendirian pabrik etilen dari etanol ini layak direalisasikan dari sisi finansial. Penilaian dilakukan dengan menggunakan sejumlah parameter ekonomi utama yang mencerminkan tingkat keuntungan, efisiensi pengembalian modal, serta kemampuan pabrik untuk bertahan dalam kondisi pasar yang tidak menguntungkan. Adapun parameter-parameter yang digunakan dalam analisa ini adalah sebagai berikut:

a. ROI (*Return on Investment*)

ROI digunakan untuk mengukur besarnya keuntungan bersih yang diperoleh terhadap total modal investasi yang telah ditanamkan. Nilai ROI yang semakin tinggi menunjukkan bahwa investasi yang dilakukan semakin efisien dalam

menghasilkan keuntungan, sehingga tingkat kelayakan ekonomi suatu proyek menjadi semakin baik.

$$ROI = \frac{\text{Laba Bersih Tahunan}}{\text{Fixed Capital Investment}} \times 100\%$$

Dari hasil perhitungan diperoleh:

- ROI sebelum pajak : 25,24%
- ROI setelah pajak : 18,93%

Berdasarkan hasil analisis ekonomi, pabrik *yoghurt* dari susu segar dengan kapasitas 8.500 ton/tahun termasuk dalam kategori low risk, sehingga evaluasi kelayakan mengacu pada standar untuk industri dengan tingkat risiko rendah. Menurut Aries dan Newton (1955), nilai minimum *Return on Investment* (ROI) yang dapat diterima untuk pabrik kimia dengan kategori *low risk* adalah 11% sebelum pajak dan 9% setelah pajak. Nilai ROI yang diperoleh, yaitu 25,24% sebelum pajak dan 18,93% setelah pajak, berada di atas batas minimum tersebut. Hasil ini menunjukkan bahwa investasi yang ditanamkan mampu memberikan tingkat pengembalian modal yang baik. Oleh karena itu, berdasarkan parameter *Return on Investment* (ROI), pabrik *yoghurt* dari susu segar berkapasitas 8.500 ton/tahun dinyatakan layak untuk didirikan dan dioperasikan secara ekonomis.

b. POT (*Pay Out Time*)

POT merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan total modal yang diinvestasikan melalui keuntungan bersih tahunan yang diperoleh perusahaan.

Semakin kecil nilai POT, maka semakin cepat modal investasi dapat kembali sehingga proyek semakin menarik untuk direalisasikan.

$$POT = \frac{\text{Total Capital Investment}}{\text{Laba Bersih Tahunan} + \text{Depresiasi}} \times 100\%$$

Hasil evaluasi menunjukkan:

- POT sebelum pajak : 3,00 tahun
- POT setelah pajak : 3,71 tahun

Berdasarkan literatur Aries & Newton (1955), proyek pabrik kimia dengan kategori low risk memiliki batas maksimum *Pay Out Time* (POT) sebesar 5 tahun. Pada prarancangan pabrik *yoghurt* dari susu segar kapasitas 8.500 ton/tahun, nilai POT yang diperoleh adalah 3,00 tahun sebelum pajak dan 3,71 tahun setelah pajak. Nilai tersebut masih berada di bawah batas maksimum yang dipersyaratkan, sehingga menunjukkan bahwa modal investasi dapat kembali dalam waktu yang relatif singkat. Dengan demikian, berdasarkan parameter *Pay Out Time* (POT), proyek pabrik dinyatakan layak secara ekonomis untuk kategori risiko rendah.

c. BEP (*Break Even Point*)

BEP menunjukkan persentase kapasitas produksi minimum yang harus dicapai agar perusahaan tidak mengalami keuntungan maupun kerugian (*break even*). Semakin rendah nilai BEP, maka semakin kecil kapasitas produksi yang harus dicapai untuk menutup seluruh biaya produksi.

$$BEP = \frac{Fa + 0,3 Ra}{Sa - Va - 0,7 Ra} \times 100\%$$

dengan:

Fa : *Annual Fixed Manufacturing Cost* pada produksi maksimum

Ra : *Annual Regulated Expenses* pada produksi maksimum

Va : *Annual Variable Cost* pada produksi maksimum

Sa : *Annual Sales Value* pada produksi maksimum

Dari hasil perhitungan diperoleh:

Tabel 6.16 Fixed Cost (Fa)

Komponen	Biaya (Rp)
<i>Depreciation</i>	Rp31.355.748.175,39
<i>Property Taxes</i>	Rp7.838.937.043,85
<i>Insurances</i>	Rp7.838.937.043,85
Total	Rp47.033.622.263,09

Tabel 6.17 Annual regulated cost (Ra)

Komponen	Biaya (Rp)
Gaji Karyawan	Rp7.295.928.736
<i>Payroll Overhead</i>	Rp1.313.267.172
<i>Plant Overhead</i>	Rp4.377.557.242
<i>Supervise</i>	Rp729.592.874
<i>Laboratory</i>	Rp1.823.982.184
<i>General Expenses</i>	Rp81.958.066.440,0

<i>Maintennace</i>	Rp23.516.811.131,55
<i>Plant Supplies</i>	Rp3.527.521.669,73
Total	Rp124.542.727.449

Tabel 6. 18 Annual variable value (Va)

Komponen	Biaya (Rp)
<i>Raw Material</i>	Rp139.287.879.937,3
<i>Packaging and Shipping</i>	Rp6.378.223.200
<i>Biaya Bahan Utilitas</i>	Rp9.022.939.771
<i>Royalties and Patents</i>	Rp35.275.217
Total	Rp154.724.318.125,0

Tabel 6.19 Annual sales value (Sa)

Komponen	Biaya (Rp)
<i>Annual Sales</i>	Rp425.214.880.000
<i>Total Sales Annual</i>	Rp425.214.880.000

Nilai BEP yang diperoleh sebesar 46,04% masih memenuhi rentang ideal pabrik kimia, yaitu 40%–60%. Artinya, pabrik telah mencapai kondisi impas pada saat beroperasi sebesar 46,04% dari kapasitas maksimum, sehingga seluruh biaya operasional dapat tertutupi tanpa mengalami keuntungan maupun kerugian. Nilai tersebut menunjukkan bahwa pabrik memiliki fleksibilitas operasi yang baik, mampu menghadapi perubahan permintaan pasar, dan layak untuk direalisasikan dari aspek ekonomi

d. SDP (*Shut Down Point*)

SDP menunjukkan kapasitas produksi minimum yang harus dicapai agar pabrik masih mampu menutup biaya operasionalnya dan tetap dapat beroperasi tanpa mengalami kerugian yang menyebabkan penghentian operasi.

$$SDP = \frac{0,3Ra}{Sa - Va - 0,3Ra} \times 1$$

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh:

- SDP = 20,38%

Nilai SDP sebesar 20,38% menunjukkan bahwa pabrik masih dapat mempertahankan kegiatan operasionalnya meskipun hanya beroperasi pada sekitar 20,38% dari kapasitas produksi maksimum. Hal ini mengindikasikan bahwa pabrik memiliki kemampuan yang baik dalam menghadapi penurunan permintaan pasar dan memiliki tingkat ketahanan operasional yang tinggi. Semakin rendah nilai SDP, semakin kecil kapasitas minimum yang diperlukan untuk mempertahankan operasi pabrik, sehingga dari aspek ekonomi proyek ini dinilai sangat layak dan memiliki fleksibilitas operasional yang baik.

e. DCFRR (*Discounted Cash Flow Rate of Return*)

DCFRR merupakan metode evaluasi investasi yang mempertimbangkan nilai waktu uang (*time value of money*) untuk menilai tingkat keuntungan suatu proyek berdasarkan arus kas yang didiskontokan. Suatu investasi dinyatakan layak apabila nilai DCFRR lebih besar daripada nilai minimum yang ditetapkan, yaitu sebesar 1,5 kali suku bunga acuan Bank Indonesia (*BI-Rate*).

$$(FC + WC)(1 + i)^N - SV - WC = CF[(1 + i)^{n-1} + (1 + i)^{n-2} + \dots + (1 + i) + 1]$$

$$R = S$$

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh:

$$DCFRR = 23,88\%$$

Sebagai tolok ukur digunakan 1,5 kali suku bunga acuan Bank Indonesia sebesar 5,75%, sehingga diperoleh:

$$DCFRR \text{ minimum} = 1,5 \times 5,75 = 8,63\%$$

$$DCFRR > DCFRR \text{ minimum}$$

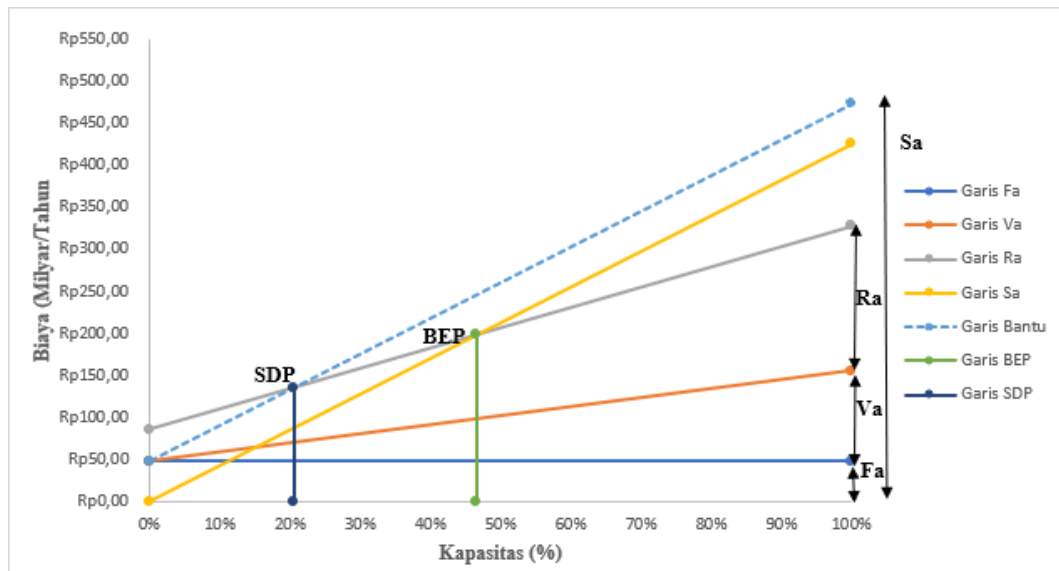
$$23,88\% > 8,63\%$$

maka proyek pendirian pabrik *yoghurt* ini dinyatakan layak secara finansial. Nilai DCFRR yang jauh melebihi batas minimum menunjukkan bahwa investasi mampu memberikan tingkat pengembalian yang lebih tinggi dibandingkan tingkat keuntungan minimum yang disyaratkan, sehingga proyek memiliki prospek yang baik dan menarik untuk direalisasikan.

6.6 Hasil Evaluasi Ekonomi

Grafik evaluasi ekonomi menunjukkan hubungan antara kapasitas produksi dengan biaya dan pendapatan pabrik, yang meliputi biaya tetap (FA), biaya variabel

(VA), total biaya (RA), pendapatan penjualan (SA), serta indikator kelayakan ekonomi berupa *Break Even Point* (BEP) dan *Shut Down Point* (SDP).



Gambar 6.2 Grafik evaluasi ekonomi

Garis penjualan (SA) meningkat secara linier hingga mencapai Rp425,21 miliar/tahun pada kapasitas 100%. Nilai BEP sebesar 46,04% menunjukkan pabrik telah mencapai titik impas sebelum beroperasi pada setengah kapasitas produksi, sedangkan SDP sebesar 20,38% menunjukkan pabrik masih dapat beroperasi pada kapasitas rendah. Didukung oleh ROI sebelum pajak 24,24%, ROI setelah pajak 18,93%, POT sebelum pajak 3,00 tahun, POT setelah pajak 3,71 tahun, serta DCFRR sebesar 23,88% yang lebih tinggi dari nilai minimum 8,6%, maka prarancangan pabrik *yoghurt* dari susu segar berkapasitas 8.500 ton/tahun dinyatakan layak untuk didirikan dan dioperasikan secara ekonomis.

BAB VII. KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil prarancangan pabrik *yoghurt* stirred dari susu sapi dengan kapasitas 8.500 ton/tahun, baik ditinjau dari aspek teknis, ekonomi, maupun analisis risiko, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

- a. Pendirian pabrik *yoghurt* stirred dari susu sapi bertujuan untuk meningkatkan nilai tambah susu segar hasil peternakan lokal, mendukung perkembangan industri pengolahan susu nasional, memenuhi kebutuhan masyarakat akan produk pangan fermentasi yang bergizi, serta menciptakan peluang kerja dan mendorong pertumbuhan ekonomi daerah.
- b. Pabrik direncanakan berbentuk Perseroan Terbatas (PT) dan berlokasi di Kecamatan Wagir, Kabupaten Malang, Jawa Timur. Pemilihan lokasi didasarkan pada kedekatan dengan sumber bahan baku utama, yaitu susu sapi segar dari PT Greenfields Indonesia, ketersediaan utilitas yang memadai, akses transportasi yang baik, serta kemudahan distribusi produk ke berbagai wilayah. Total luas lahan yang digunakan sebesar 14.053,10 m²
- c. Proses produksi menggunakan metode stirred *yoghurt* yang meliputi pasteurisasi, fermentasi menggunakan *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* dan *Streptococcus thermophilus*, pencampuran, pendinginan, dan pengemasan sehingga menghasilkan produk *yoghurt* dengan mutu yang sesuai standar.

- d. Berdasarkan analisis risiko, pabrik termasuk kategori *low risk*, sehingga dapat dioperasikan secara aman dengan penerapan sistem pengendalian proses dan keselamatan kerja yang baik.
- e. Dari segi evaluasi ekonomi serta analisis kelayakan, pabrik ini tergolong layak untuk didirikan, dengan hasil perhitungan sebagai berikut:
- 1) *Return on Investment (ROI)*
ROI sebelum pajak : 25,24%
ROI setelah pajak : 18,93%
 - 2) *Pay Out Time (POT)*
POT sebelum pajak: 3,00 tahun
POT setelah pajak : 3,71 tahun
 - 3) *Break Even Point (BEP)*: 46,04%
 - 4) *Shut Down Point (SDP)*: 20,38%
 - 5) *Discounted Cash Flow Rate of Return (DCFRR)* : 23,88%
- f. Berdasarkan aspek teknis, analisis risiko, dan evaluasi ekonomi, prarancangan pabrik *yoghurt stirred* dari susu sapi dengan kapasitas 8.500 ton/tahun dinyatakan layak untuk direalisasikan, karena seluruh parameter kelayakan memenuhi standar pabrik kategori *low risk* dan menunjukkan prospek investasi yang baik.

7.2 Saran

Perancangan pabrik kimia memerlukan pemahaman yang komprehensif terhadap konsep dasar teknik kimia yang didukung oleh referensi ilmiah, data industri, serta perkembangan teknologi terkini. Oleh karena itu, kajian yang lebih mendalam mengenai aspek proses, peralatan, utilitas, serta analisis ekonomi perlu terus dilakukan untuk meningkatkan akurasi dan keandalan hasil perancangan. Dengan pengembangan dan penyempurnaan yang berkelanjutan, diharapkan prarancangan pabrik *yoghurt* dari susu sapi ini dapat menjadi referensi yang baik serta berpotensi direalisasikan sebagai industri yang mampu memenuhi kebutuhan *yoghurt* nasional yang terus meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

- Allende-Prieto, C., Rodríguez-Gonzálvez, P., Martínez, B., Rodríguez, A., García, P., & Fernández, L. (2025). Qualitative analysis of yogurt using VIS-NIR spectroscopy simultaneously allows prediction of the animal origin of milk as well as monitoring of pH and viscosity during yogurt production. *Journal of Food Composition and Analysis*, 107689.
- Anwar, A., Faiz, M. A., Badar, I. H., Jaspal, M. H., & Hou, J. (2025). Influence of fermentation time and storage conditions on the physicochemical properties of different yogurt varieties using starter cultures and probiotic *Lactobacillus rhamnosus* GG. *Processes*, 13(3), 759.
- Arnarson, A. (2023, July 17). *Yogurt 101: Nutrition Facts and Health Benefits*. Healthline. <https://www.healthline.com/nutrition/foods/yogurt#probiotics>
- Aryana, K. J., & Olson, D. W. (2017). A 100-Year Review: Yogurt and other cultured dairy products. *Journal of Dairy Science*, 100(12), 9987–10013.
- Astuty, E., Yunita, M., & Nur Fadhilah, A. (2021). *EDUKASI MANFAAT YOGURT SEBAGAI SALAH SATU PROBIOTIK DAN METODE PEMBUATAN YOGURT SEDERHANA*. <https://ejurnalmalahayati.ac.id/index.php/kreativitas/article/view/3535/pdf>
- Atkins, P. (2007). *Physical Chemistry*.
- AtlasBig. (n.d.). *Negara dengan Produksi Yoghurt*. Retrieved July 17, 2026, from https://id.atlasbig.com/negara-dengan-produksi-yoghurt#google_vignette
- Brownell, L. E., & Young, E. H. (1959). *Equipment Desain*.
- Cancela, M. A., Alvarez, E., & Maceiras, R. (2005). Effects of temperature and concentration on carboxymethylcellulose with sucrose rheology. *Journal of Food Engineering*, 71(4), 419–424.
- da Silva, A. C., Alexandre, L. A., de Melo, A. P. Z., & Verruck, S. (2024). Set, Stirred, and Liquid Yogurts Obtained by Lactic Fermentation. In *Dairy Foods Processing* (pp. 193–204). Springer.
- Darmawan, C., & Osinski, J. (2024). *Dairy and Products Annual*. https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Dairy%20and%20Products%20Annual_Jakarta_Indonesia_ID_2024-0038.pdf
- Dharmawan, R. A. R., & Fachriansyah, G. A. (2022). *PRARANCANGAN PABRIK STIRRED YOGURT DARI SUSU SAPI DENGAN PROSES PASTEURISASI:HIGH TEMPERATURE*. *Program Studi Teknik Kimia, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur*.

- Direktorat Pemberdayaan Koperasi dan UKM, K. P. P. N. (2014). *Warta KUMKM*. https://perpustakaan.bappenas.go.id/e-library/file_upload/koleksi/migrasi-data-publikasi/file/Unit_Kerja/Deputi_Bidang_Kependudukan_dan_Ketenagakerjaan/Direktorat-Pengembangan-Usaha-Kecil-Menengah-dan-Koperasi/Warta%20Koperasi%20dan%20Usaha%20Mikro%2C%20Kecil%20dan%20Menengah%20%28KUMKM%29%20Warta%20KUMKM%20Vol%202%20No-1%202014_08-14-2012.pdf?utm_
- Fitriana, F. U., & Salsabila, N. (2017). *PT GREENFIELDS INDONESIA MALANG-JAWA TIMUR*. <https://id.scribd.com/document/382392155/363958912-Laporan-Umum-PKL-PT-Greenfields-Indonesia-docx>
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2025). *Gateway to dairy production and products*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <https://www.fao.org/dairy-production-products/products/milk-composition/en/>
- Guénard-Lampron, V., St-Gelais, D., Villeneuve, S., & Turgeon, S. L. (2019). Individual and sequential effects of stirring, smoothing, and cooling on the rheological properties of nonfat yogurts stirred with a technical scale unit. *Journal of Dairy Science*, 102(1), 190–201.
- Harahap, T. K., Hasibuan, S., Pratikna, R. N., Ahmad, M. I. S., Novarini, N. N. A., Widiawati, W., Sanjaya, R., Riesso, A. S., & Batubara, N. A. (2023). Manajemen sumber daya manusia. *Penerbit Tahta Media*.
- IMARC Group. (2024). *Yogurt Market Report by Product Type (Set Yogurt, Greek Yogurt, Yogurt Drinks, Frozen Yogurt, and Others), Flavor, Distribution Channel, and Region*. <https://www.imarcgroup.com/yogurt-market>
- Kementrian Koperasi dan Usaha Kecil dan Menengah Republik Indonesia. (2025). *Katalog Produk Koperasi Pangan*. https://smesta.umkm.go.id/storage/catalog/pdf/b7MCsHV1NyJjnAaX50xXu5cbgEZHk6JMvAQS5Wa1.pdf?utm_
- Kern, D. Q. (1950). *Process Heat Transfer*.
- Kolev Slavov, A. (2017). General characteristics and treatment possibilities of dairy wastewater—a review. *Food Technology and Biotechnology*, 55(1), 14–28.
- Lee, W.-J., & Lucey, J. A. (2010). Formation and physical properties of yogurt. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 23(9), 1127–1136.

- Li, B., Ye, L., Zhao, Y., Liu, Y., Chen, Y., & Zhang, H. (2025). A comprehensive review of probiotic yogurt: Nutritional modulation, flavor improvement, health benefits, and advances in processing techniques. *Agricultural Products Processing and Storage*, 1(1), 17.
- Lucey, J. A., & Singh, H. (1997). Formation and physical properties of acid milk gels: a review. *Food Research International*, 30(7), 529–542.
- Munteanu-Ichim, R.-A., Canja, C.-M., Lupu, M., Bădăraș, C.-L., & Matei, F. (2024). Tradition and Innovation in Yoghurt from a Functional Perspective—A Review. *Fermentation*, 10(7), 357. <https://doi.org/10.3390/fermentation10070357>
- Mureșan, C. C., Marc, R. A., Jimborean, M., Rusu, I., Mureșan, A., Nistor, A., Cozma, A., & Suharoschi, R. (2020). Food safety system (Haccp) as quality checkpoints in a spin-off small-scale yogurt processing plant. *Sustainability (Switzerland)*, 12(22), 1–20. <https://doi.org/10.3390/su12229472>
- Noviyanti, D. D., Widiyanti, N., Syahputra, M. Y., & Jannah, R. (2021). *YOGURT SEBAGAI MAKANAN FUNGSIONAL DARI SUSU*. Fakultas Peternakan, Universitas Padjadjaran. <https://anyflip.com/jczlu/kkqg/basic?utm>
- Prabandari, W. (2011). *Pengaruh penambahan berbagai jenis bahan penstabil terhadap karakteristik fisikokimia dan organoleptik yoghurt jagung*.
- PT Greenfields. (2021). *Sejarah Perjalanan Greenfields*. Greenfields Dairy. <https://greenfieldsdairy.com/tentang-greenfields>
- Raze, H. H. (1977). *Chemical Reactor Design For Process Plants*.
- Samtiya, M., Samtiya, S., Badgujar, P. C., Puniya, A. K., Dhewa, T., & Aluko, R. E. (2022). Health-Promoting and Therapeutic Attributes of Milk-Derived Bioactive Peptides. In *Nutrients* (Vol. 14, Number 15). MDPI. <https://doi.org/10.3390/nu14153001>
- Serna Cock, L., & Rodríguez de Stouvenel, A. (2006). Lactic acid production by a strain of *Lactococcus lactis* subs *lactis* isolated from sugar cane plants. *Electronic Journal of Biotechnology*, 9(1), 0.
- Siddiqui, S. A., Erol, Z., Rugji, J., Taşçı, F., Kahraman, H. A., Toppi, V., Musa, L., Di Giacinto, G., Bahmid, N. A., Mehdizadeh, M., & Castro-Muñoz, R. (2023). An overview of fermentation in the food industry - looking back from a new perspective. In *Bioresources and Bioprocessing* (Vol. 10, Number 1). Springer. <https://doi.org/10.1186/s40643-023-00702-y>

- SORDI S.r.l. (2022). *Line for stirred yoghurt*. SORDI S.r.l.
<https://www.sordi.com/en/products/plants-milk-and-milk-products/line-stirred-yoghurt>
- Statista. (2025, August 1). Yogurt - Indonesia. *Statista Research Department*.
<https://www.statista.com/outlook/emo/food/dairy-products-eggs/yogurt/indonesia>
- Suwarna, A. R. (2024, August 15). *Peningkatan Nilai Jual Susu dengan pengolahan Yoghurt*. Kumparan. <https://m.kumparan.com/rio-suwarna-1723621442443248547/peningkatan-nilai-jual-susu-dengan-pengolahan-yoghurt-23KSgHQPOSr?utm>
- Talib, A., Samad, A., Shah, R. R., Rana, T., Hossain, J., Kumari, S., Kim, S.-H., Muazzam, A., Hwang, Y.-H., & Joo, S.-T. (2024). Yogurt: A spoonful of wellness for every body. *Food and Life*, 2024(3), 89–100.
- Tamime, A. Y., & Robinson, R. K. (1999). *Yoghurt: Science and Technology (Second Edition)* (A. Y. Tamime & R. K. Robinson, Eds.; Second Edition). Woodhead Publishing Ltd dan CRC Press LLC. <https://safeat.ir/wp-content/uploads/2018/05/Yoghurt-Science-and-Technology-2nd-Ed-by-Tamime-Robinson.pdf>
- Tamime, A. Y., & Robinson, R. K. (2007). *Tamime and Robinson's yoghurt: science and technology*. Elsevier.
- Timmerhaus, K. D., & West, R. E. (2003). *Plant design and economics for chemical engineers*. McGraw-Hill.
- Towler, G., & Sinnott, R. (2021). *Chemical engineering design: principles, practice and economics of plant and process design*. Butterworth-Heinemann.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 40 Tahun 2007 Tentang Perseroan Terbatas, Pub. L. 40, Pemerintah Republik Indonesia (2007).
<https://www.ojk.go.id/sustainable-finance/id/peraturan/undang-undang/Documents/5.%20UU-40-2007%20PERSEROAN%20TERBATAS.pdf?utm>
- VitaHoy.ch. (2018). *Nutrition values of Yogurt, plain, whole milk*. VitaHoy.Ch.
<https://vitahoy.ch/en/ndb/pml/us-01116?utm>
- Walas, Stanley. (1990). *Chemical Process Equipment. Selection and Desing*.
- Walstra, P., Walstra, P., Wouters, J. T. M., & Geurts, T. J. (2005). *Dairy science and technology*. CRC press.

- Wardana, Y. G. (2025). *Proses Pengawasan dan Penjaminan Mutu Susu Pasteurisasi dan Homogenisasi di CV Cita Nasional Kabupaten Semarang, Jawa Tengah*. <https://sipora.polije.ac.id/48556/>
- Warke, P. S., Chaudhari, D. M., Naik, V. S., Patil, D. D., Dhokale, S. S., Maniyar, K. G., & Patil, G. H. (2025). Wet Scrubber System for Exhaust Gas Emission Reduction. *Journal of Mines, Metals & Fuels*, 73(5).
- World Integrated Trade Solution. (2023). *Yogurt imports by country in 2019-2023*. World Integrated Trade Solution. https://wits.worldbank.org/trade/comtrade/en/country/ALL/year/2020/tradeflow/Imports/partner/WLD/product/040310?fbclid=PAVERTVgNs-5hleHRuA2FlbQIxMAABp83bvEgt2ckZh4TKaLycVao77A3E4mbpR5pLG Y5GhCf1o-uD5ww1ywb8U-VM_aem_R4bMsEfWJ1ad10NaMEP3
- WULANNINGSIH, U. A. (2022). PELATIHAN PEMBUATAN YOGHURT SUSU SAPI DENGAN METODE SEDERHANA MENGGUNAKAN LACTOBACILLUS BULGARICUS DAN STREPTOCOCCUS THERMOPHILUS. *Jurnal Cerdik: Jurnal Pendidikan Dan Pengajaran*, 1(2), 66–78. <https://doi.org/10.21776/ub.jcerdik.2022.001.02.06>
- Yasa, I. M. S., & Mandala, K. (2020). MATERIAL REQUIREMENT PLANNING UNTUK MEMENUHI PRODUKSI PADA CV. BANGUN CIPTA ARTHA DI BADUNG. *E-Jurnal Manajemen Universitas Udayana*, 9(2), 426. <https://doi.org/10.24843/ejmunud.2020.v09.i02.p02>

LAMPIRAN A. PERANCANGAN REAKTOR

REAKTOR FERMENTASI

Fermentor

Jenis	: Reaktor Batch
Fungsi	: Mengubah glukosa menjadi asam laktat dan asam proses fermentasi menggunakan bakteri <i>Lactobacillus bulgaricus</i> dan <i>Streptococcus Thermophilus</i>
Jumlah	: 2
Bahan	: <i>Stainless Steel SA-240 Tipe 316 Grade 11</i>
Kondisi operasi	:
• Tekanan	: 1 atm
• Temperatur	: 43 °C
• Reaksi	: Eksotermis

1. Konstanta kecepatan reaksi umpan

Berdasarkan data literatur yang kami dapatkan bahwa konversi reaksi fermentasi selama 10 jam menghasilkan 92,49% (Cock, 2006), untuk konstanta kecepatan reaksi kita dapatkan rata-rata sebesar $0,259 \text{ jam}^{-1}$.

2. Menghitung kecepatan Volumetrik Umpan

a) Neraca Massa Reaktor

Komponen	Input			Output
	F4	F5	F6	F7
	kg/batch	kg/batch	kg/batch	kg/batch
Protein	263,6668	-	-	263,6668
Lemak	307,6113	-	-	307,6113
Laktosa	395,5002	-	-	29,9789
Mineral	61,5223	-	-	61,5223
Air	7760,5934	-	-	7741,3554
Bakteri Lac. Strep.	0,0000	-	-	0,4394
Bakteri Strep. Thermo	0,0000	0,4394	0,439	0,4394
Asam Laktat	0,0000	-	-	384,7593
Sub Total	8788,8940	-	0,4394	8789,7729

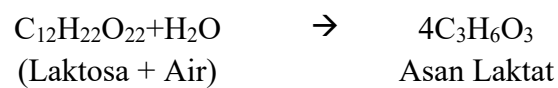
Total (kg/batch)	8789,7729	8789,7729
------------------	-----------	-----------

b) Laju Alir Volumetrik (Fv)

$$F_v = \frac{\text{massa, } \frac{\text{batch}}{\text{jam}}}{\rho} = \frac{8789,7729 \frac{\text{batch}}{\text{jam}}}{1038 \frac{\text{kg}}{\text{jam}}} = 8,4661 \frac{\text{m}^3}{\text{batch}}$$

3. Menghitung Konsentrasi Umpan

Reaksi



Komponen	BM (kg/kmol)	m (kg/batch)	n (kmol/batch)
C ₁₂ H ₂₂ O ₂₂	342	421,8669	1,2335
H ₂ O	18	7663,9156	425,7731
4C ₃ H ₆ O ₃	90	410,4099	4,5601

$$CA_0 = \frac{\text{mol A}}{F_v \text{ total}} = \frac{8,4661}{1,2335} = 0,1365 \frac{\text{kmol}}{\text{m}^3}$$

$$CA = CA_0 - (1 - X) = 0,1457 \frac{\text{kmol}}{\text{m}^3} \times (1 - 0,947) = 0,0102 \frac{\text{kmol}}{\text{m}^3}$$

4. Menghitung Awal Volume Reaktor Batch

Rumus :

$$V = \frac{N_{A0}}{tkC_{A0}} \ln \left(\frac{1}{1-X} \right)$$

Keterangan :

$$k = 0,259 \text{ jam}^{-1}$$

dimana :

$$\text{Konversi (X)} = 92,49\%$$

$$\text{Waktu reaksi} = 10 \text{ jam}$$

$$\text{-ra} = 0,0026 \text{ kmol} / m^3 \text{jam}^{-1}$$

$$N_{A0} = 2,312 \text{ kmol/batch}$$

$$= 231,286 \text{ mol/ batch}$$

$$\text{Volume Cairan} = 16,9407 m^3 / \text{batch}$$

$$= 16940,725 \text{ liter}$$

5. Optimasi Reaktor

a) Perhitungan Jumlah Batch per Tahun

$$\text{Waktu operasi} = 330 \times 24 = 7920 \text{ jam/tahun}$$

Jumlah batch per tahun,

$$N_{batch} = \frac{t_{operasi}}{t_{batch}} = \frac{7920 \text{ jam/tahun}}{10 \text{ jam/batch}} = 792 \frac{\text{batch}}{\text{tahun}}$$

b) Perhitungan Produksi Asam Laktat per Reaktor

$$P_{\text{reaktor}} = m_{\text{laktosa}} \times N_{\text{batch}} = 192,52 \frac{\text{kg}}{\text{batch}} \times 792 \frac{\text{batch}}{\text{tahun}} = 152480,076 \frac{\text{kg}}{\text{tahun}}$$

c) Perhitungan Jumlah Reaktor

$$P_{\text{reaktor}} = \frac{\text{target produksi}}{P_{\text{reaktor}}} = \frac{304,729 \frac{\text{ton}}{\text{tahun}}}{152,480 \frac{\text{ton}}{\text{tahun}}} = 1,998 \approx 2 \text{ reaktor}$$

6. Perancangan Reaktor

a) Menghitung Dimensi Reaktor

Rumus volume shell:

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 H \text{ (nilai } D = H, \text{ Perbandingan } n1:1)$$

Sehingga didapatkan rumus diameter shell,

$$D = \sqrt[3]{\frac{4V}{\pi}}$$

(Brownell & Young, 1959) Tabel 3.3 Hal 43.

Dimana:

- D = Diameter reaktor (m)
- H = Tinggi reaktor (m)
- V = Volume reaktor (m³)

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \times 20,3188 \text{ m}^3}{3,14}}$$

Sehingga didapatkan nilai,

- D = 2,9581 m
- H = 2,9581 m

b) Menghitung Tinggi Cairan

$$H_c = \frac{V_c}{V_s} \times H_s$$

Dimana:

- Volume cairan (Vc) = 16,9323 m³
- Volume shell (Vs) = 20,3188 m³
- Tinggi shell (Hs) = 2,9581 m

$$H_c = \frac{16,93 \text{ m}^3}{20,31 \text{ m}^3} \times 2,95 \text{ m} = 2,4651 \text{ m}$$

Sehingga didapatkan Hc sebesar 2,4651 m

c) Menghitung Tekanan Hidrostatik dan Tekanan Desain

Rumus tekanan hidrostatik :

$$P_{\text{Hidrostatik}} = \rho_{\text{Campuran}} \times g \times h \quad (\text{Walas, 1990})$$

Dimana:

- Densitas campuran (ρ) = 1038,22 kg/m³
- Gravitasi (g) = 9,8 m/s²
- Tinggi cairan (h) = 2,4651 m

$$P_{\text{Hidrostatik}} = 1038,22 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 2,4651 \text{ m} = 3,637 \text{ Psi}$$

Sehingga didapatkan,:

- P hidrostatik = 3,6377 psi
- P hidrostatik = 0,2475 atm

P desain = 1,2 x P operasi	P reaksi	P operasi
		P hidrostatik + P reaksi
1,4970 atm	1 atm	1,2475 atm
22,0052 psi	14,7 psi	18,3377 psi

d) Menghitung Tebal Shell (ts)

Bahan shell : Stainless Steel SA-167 grade 11 Tipe 316

Rumus :

$$t_s = \frac{P_d r_i}{fE - 0,6P_d} + C \quad (\text{Brownell \& Young, 1959})$$

Keterangan :

- Allowable stress (f) = 18750 lb/in²
- Efisiensi sambungan (E) = 0,8
- Corrosion Allowance (C) = 0,125 in
- Jari-jari reaktor (ri) = 58,2299 in
- Tekanan (Pd) = 22,0052 psi

$$t_s = \frac{22,0052 \text{ Psi} \times 58,2299 \text{ in}}{18750 \frac{\text{lb}}{\text{in}} \times 0,8 - 0,6 \times 22,0052 \text{ Psi}} + 0,125 \text{ in} = 0,2105 \text{ in}$$

Dari hasil perhitungan didapatkan ts adalah 0,2105 in. Ketebalan standar ts yang dipilih berdasarkan (Brownell & Young, 1959) yaitu ts = 3/8 in. Sehingga nilai ID dan OD terkoreksi berdasarkan (Brownell & Young, 1959) tabel 5.7 halaman 90, digunakan nilai adalah:

- ID (Diameter dalam) = 116,4598 in
- OD (Diameter luar) = ID + 2ts
 - = 117,2097 in
 - = 2,9771 m
- Dipilih OD standar = 120 in

Sehingga, spesifikasi reactor :

Ukuran shell (ts) = 0,38 in

Sf berkisar antara 1,5 sampai dengan 2 Maka dapat dipilih : 2 in

- Volume dish (V_{dish})

$$V_{dish} = 0,000049 \quad DI^3 = 0,000049 \times 116,4598^3$$

$$= 77,3658 \text{ in}^3$$

$$= 0,0013 \text{ m}^3$$

- Volume straight flange (V_{sf})

$$V_{sf} = \frac{\pi}{4} ID^2 sf$$

$$V_{sf} = \frac{\pi}{4} (2,9581 \text{ m})^2 \times 2 = 0,3489 \text{ m}^3$$

- Volume head total (V_h)

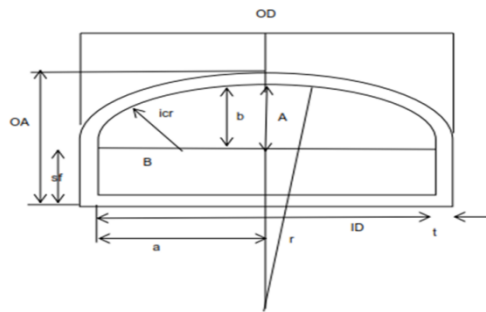
$$V_h = V_{dish} + V_{sf} = 0,0013 \text{ m}^3 + 0,3489 \text{ m}^3 = 0,3502 \text{ m}^3$$

- Volume Reaktor total (V_R)

$$V_R = V_s + 2V_h = 20,3188 \text{ m}^3 + 2 \times 0,3502 \text{ m}^3 = 21,0191 \text{ m}^3$$

e) Perancangan Dimensi Head

Menurut (Brownell & Young, 1959) Dimensi perancangan *head* pada reaktor yaitu,



Keterangan:

ID = Diamater dalam *head*

OD = Diamater luar *head*

a = jari-jari dalam *head*

t = tebal *head*

r = jari-jari *head*

icr = jari-jari sudut dalam *head*

b = tinggi *head*

sf = *straight flange*

OA = tinggi *head* total

W = *stress intensification factor for torispherical dished heads*

Jenis *head* yang digunakan adalah Flanged

Menghitung tebal head (th)

$$th = \frac{Prw}{(2fE - 0,2P)} + C$$

Mencari nilai w

$$w = \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{r}{icr}} \right)$$

Berdasarkan tabel 5.7 dengan adanya data ts dan OD bisa didapatkan nilai

$$r = 114 \text{ in}$$

$$icr = 7,25 \text{ in}$$

$$w = \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{114 \text{ in}}{7,25 \text{ in}}} \right)$$

$$w = 1,7413 \text{ in}$$

$$th = \frac{22,0052 \text{ psi} \times 114 \text{ in} \times 1,7413 \text{ in}}{(2 \times 18750 \times 0,8 - 0,2 \times 22,0052 \text{ psi})} + 0,125 \text{ in}$$

$$th = 0,2706 \text{ in}$$

Berdasarkan tabel 5.6 standarisasi (Brownell & Young, 1959) ukuran tebal

head (th) = 0,2706 in mendekati nilai standar 5/16 atau 0,3125 in. Sehingga,

$$th \text{ standar} = 0,3125 \text{ in}$$

$$sf = 2 \text{ in}$$

Menghitung tinggi *head*

Menghitung nilai a

$$a = \frac{ID}{2} = \frac{116,4598 \text{ in}}{2} = 58,2299 \text{ in}$$

Menghitung nilai AB

$$AB = a - icr = 58,2299 \text{ in} - 7,250 \text{ in} = 50,9799 \text{ in}$$

Menghitung nilai BC

$$BC = r - icr = 114 \text{ in} - 7,250 \text{ in} = 106,7500 \text{ in}$$

Menghitung nilai AC

$$\begin{aligned} AC &= \sqrt{(BC)^2 - (AB)^2} \\ &= \sqrt{(106,7500 \text{ in})^2 - (50,9799 \text{ in})^2} = 93,790 \text{ in} \end{aligned}$$

Menghitung nilai b

$$b = r - AC = 114 \text{ in} - 93,790 \text{ in} = 20,2097 \text{ in}$$

Menghitung OA (tinggi head)

$$OA = th + b + sf = 0,3125 \text{ in} + 20,2097 \text{ in} + 2 \text{ in} = 22,5222 \text{ in}$$

f) Perancangan Dimensi Pengaduk

Jenis Pengaduk : Marine propeller with 3 blades pitch=2D

Menentukan Dimensi Pengaduk

- Dt = diameter dalam tangki
- Da = Diameter pengaduk

- Z_i = jarak pengaduk dari dasar tangki
- W = lebar *baffle*
- L =

Diamter Pengaduk (D_a)

$$D_a = D_t \div \frac{D_t}{D_a} = \frac{116,4598 \text{ in}}{3} = 38,8199 \text{ in}$$

Jarak pengaduk dari dasar tangki (Z_i)

$$Z_i = D_a \times \frac{Z_i}{D_a} = 38,8199 \text{ in} \times 0,75 = 29,1150 \text{ in}$$

Tinggi cairan dalam reaktor (Z_l)

$$Z_l = D_a \times \frac{Z_l}{D_a} = 38,8199 \text{ in} \times 2,70 = 104,8138 \text{ in}$$

Lebar baffle (W)

$$W = D_a \times \frac{W}{D_a} = 38,8199 \text{ in} \times 0,1 = 3,8820 \text{ in}$$

Pitch

$$Pitch = 2 \times D_a = 2 \times 38,8199 \text{ in} = 77,6399 \text{ in}$$

Lebar *blade*

$$\text{lebar blade} = 0,2 \times D_a = 0,2 \times 38,8199 \text{ in} = 7,7640 \text{ in}$$

Panjang *blade*

$$\text{panjang blade} = \frac{D_a}{2} = \frac{38,8199 \text{ in}}{2} = 19,4100 \text{ in}$$

Ketebalan *blade*

$$\text{ketebalan blade} = 0,05 \times D_a = 0,05 \times 38,8199 \text{ in} = 1,9410 \text{ in}$$

Menghitung jumlah *Impeller*

Mencari *sg*

$$sg = \frac{\rho_{\text{cairan}}}{\rho_{\text{air}}} = \frac{1038,223 \text{ kg/m}^3}{1000 \text{ kg/m}^3} = 1,0382$$

Menghitung Water Equivalen Liquid High (WELH)

$$WELH = h_{\text{cairan}} \times sg = 2,4651 \text{ m} \times 1,0382 = 2,5592 \text{ m}$$

Jumlah *impeller*

$$\Sigma_{\text{impeller}} = \frac{WELH}{ID} = \frac{2,5592}{2,9581} = 0,8652 \approx 1$$

Menentukan kecepatan putaran pengaduk

Untuk menentukan kecepatan putaran pengaduk digunakan persamaan dari (Raze, 1977) yaitu:

$$N = \frac{600}{\pi \cdot D_a} \sqrt{\frac{WELH}{2 \cdot D_a}}$$

$$N = \frac{600}{\pi \times 3,2342 \text{ ft}} \sqrt{\frac{8,3966 \text{ ft}}{2 \times 3,2342 \text{ ft}}} = 67,3155 \text{ rpm} \approx 1,1219 \text{ rps}$$

Didapatkan kecepatan pengaduk sebesar 67,3155 rpm kemudian dipilih kecepatan standar pengaduk yaitu 84 rpm atau 1,40 rps.

Menghitung power pengaduk

Bilangan Reynold (Re)

$$Re = \frac{\rho N D_a^2}{\mu} = 1306133,567$$

Berdasarkan hasil Re dapat diketahui bahwa alirannya sangat turbulen, karena $Re > 2100$

$$N_p = \frac{P_o N^3 D_a^5 \rho}{G_c}$$

$$N_p = \frac{0,3 \times 1,4^3 \text{ rps} \times 3,2342^5 \text{ ft} \times 64,8142 \text{ lb/ft}^3}{32 \text{ lbm. ft/lbf. s}^2}$$

$$= 742,6663 \text{ ft. lbf/s} \approx 1,3503 \text{ HP}$$

Efisiensi motor didapatkan dari buku (Atkins, 2007), fig 14.38 dengan nilai yang didapatkan sebesar 80%.

$$\text{Daya motor} = \frac{P_o}{\eta} = \frac{1,3503 \text{ HP}}{80\%} = 2 \text{ HP}$$

Dipilih daya motor standar 3 HP.

g) Perancangan Jaket Pendingin Reaktor

Menghitung kebutuhan steam

$$m = \frac{Q_{pendingin}}{\Delta H} = \frac{1075,5218 \text{ kJ/jam}}{69,8877 \text{ kJ/kg}} = 15 \text{ kg/jam}$$

Menghitung Delta LMTD

Fluida panas

$$\begin{aligned}\text{Suhu masuk reaktor} &= 43\text{ }^{\circ}\text{C} \\ &= 109,4^{\circ}\text{F}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Suhu keluar reaktor} &= 43\text{ }^{\circ}\text{C} \\ &= 109,4^{\circ}\text{F}\end{aligned}$$

Fluida dingin

$$\begin{aligned}\text{Suhu masuk} &= 25^{\circ}\text{C} \\ &= 77^{\circ}\text{F}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Suhu keluar} &= 40^{\circ}\text{C} \\ &= 104^{\circ}\text{F}\end{aligned}$$

No	Fluida panas (°F)	Fluida dingin(°F)	Delta °F
1	109,4	77	32,4
2	109,4	104	5,4

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}} = \frac{5,4\text{ }^{\circ}\text{F} - 32,4\text{ }^{\circ}\text{F}}{\ln \frac{5,4\text{ }^{\circ}\text{F}}{32,4\text{ }^{\circ}\text{F}}} = 15,1^{\circ}\text{F}$$

Diketahui:

Menghitung *Heat transfer*

Berdasarkan Tabel 8 Hal. 840, (Kern, 1950), nilai UD untuk fluida panas aqueous solution cp more than 2 dan fluida dingin Water adalah :

$$U_D = 250 - 500 \frac{btu}{hr.ft^2.F}$$

Dipilih 250 sebagai UD trial

Heat transfer surface area

$$A = \frac{Q}{U_D \times \Delta T_{LMTD}} = \frac{1075,5218 \text{ btu/jam}}{250 \frac{btu}{hr.ft^2.F} \times 15,1 F} = 0,27 ft^2$$

Menghitung luas selubung reaktor

$$Luas \text{ selubung} = (\pi \cdot OD \cdot Hs) + \frac{\pi \cdot OD^2}{4} = 29,66 m^2 \approx 97,33 ft^2$$

Digunakan pendingin berupa jaket pendingin karena nilai luas selubung > A (*heat transfer area*).

Menghitung diameter jaket

$$ID_{jaket} = OD_{shell} + 2 \times T_{jaket} = 117 \text{ in} + 2 \times 2 \text{ in} = 121 \text{ in}$$

Menghitung tebal jaket

$$t_s = \frac{P_d r_i}{f E - 0,6 P_d} + C = \frac{17,64 \text{ psi} \times 61 \text{ in}}{18750 \text{ psi} \times 0,8 - 0,6 \times 17,64 \text{ psi}} + 0,125 \text{ in} = 0,196 \text{ in}$$

Dipilih tebal standar sebesar 0,38 in

Penjadwalan Reaktor Fermentasi

Rumus waktu per batch :

waktu persiapan + waktu reaksi + waktu pengosongan + waktu pencucian

Waktu proses batch	Jam
Waktu pengisian	2
Waktu reaksi	10
Waktu pengosongan	2
Waktu pencucian	2
Total waktu	16

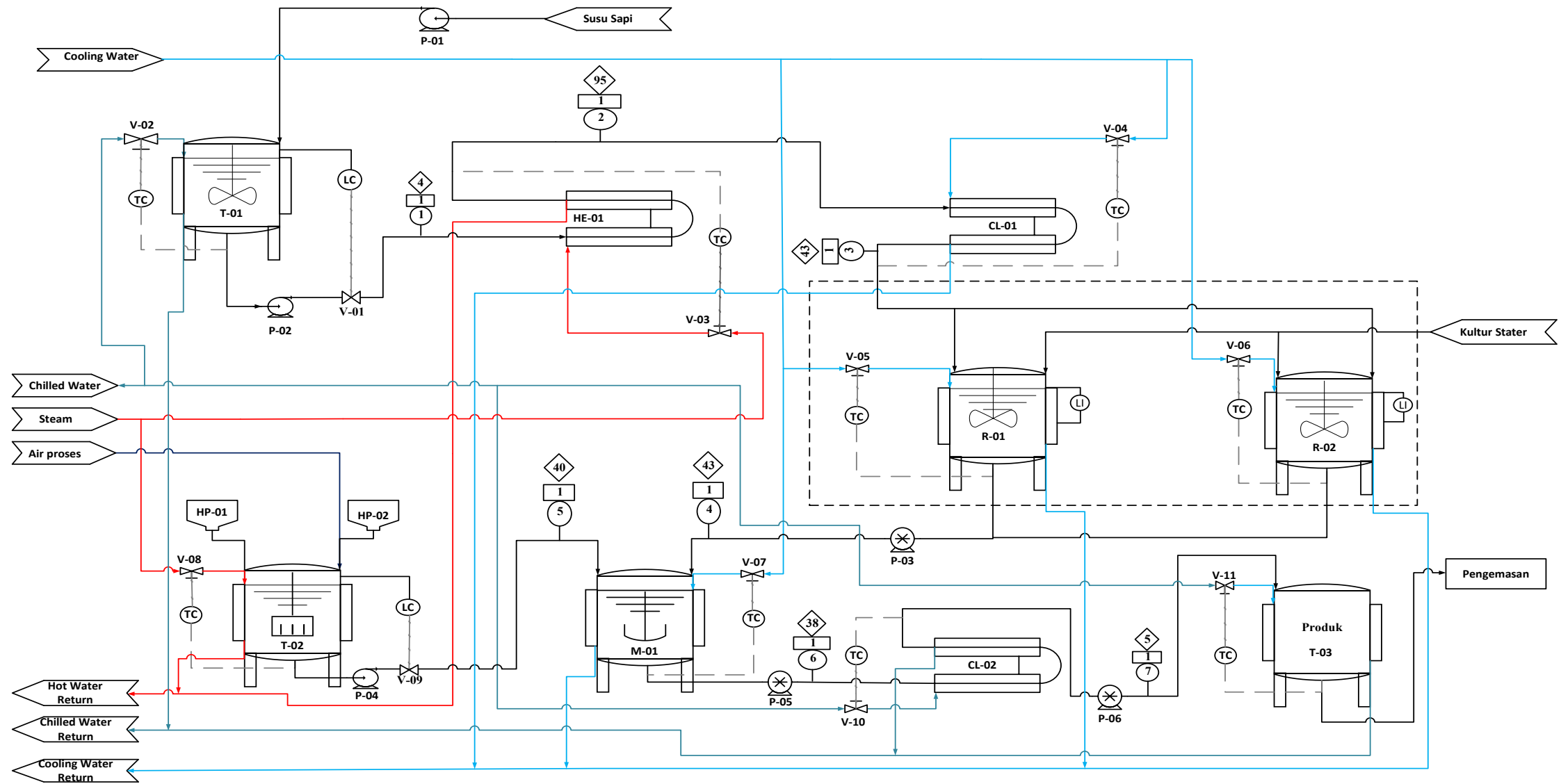
Act (jam)	0	2	4	6	8	10	12	14	16
R-01									
R-02									

Keterangan : Waktu aktivitas operasi /Act (jam)

	=	t isi
	=	t reaksi
	=	t pengosongan
	=	t bersih

LAMPIRAN B.PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM

PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM
PRARANCANGAN PABRIK YOGURT DARI SUSU SAPI
DENGAN KAPASITAS PRODUKSI 8.500 TON/TAHUN



Kode	Keterangan
LI	Level Indicator
TC	Temperature Controller
LC	Level Controller
	Control Valve
	Nomor Arus
	Tekanan, atm
	Suhu, °C
	Udara Tekan
	Electric Controller
	Pipa
	Proses Batch

KETERANGAN	
Kode	Alat
T-01	Tangki Penyimpanan Bahan Baku
T-02	Tangki Pelarutan
T-03	Tangki Penyimpanan Produk
M-01	Mixer
HE-01	Heat Exchanger
CL-01	Cooler 1
CL-02	Cooler 2
HP-01	Hopper CMC
HP-02	Hopper Gula
P	Pompa

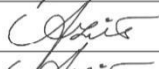
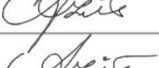
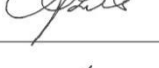
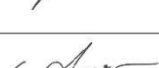
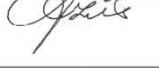
Komponen	kg/jam													
	Arus 1	Arus 2	Arus 3	Arus 4	Arus 5	Arus 6	Arus 7	Arus 8	Arus 9	Arus 10	Arus 11	Arus 12	Arus 13	Arus 14
Protein	26,37	26,37	26,37	31,64	0,00	0,00	26,37	0,00	0,00	0,00	0,00	26,37	26,37	26,37
Lemak	30,76	30,76	30,76	32,52	0,00	0,00	30,76	0,00	0,00	0,00	0,00	30,76	30,76	30,76
Laktosa	39,55	39,55	39,55	42,19	0,00	0,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	3,00	3,00
Mineral	6,15	6,15	6,15	6,15	0,00	0,00	6,15	0,00	0,00	0,00	0,00	6,15	6,15	6,15
Air	776,06	776,06	776,06	766,39	0,00	0,00	774,14	0,00	112,68	0,00	112,68	886,82	886,82	886,82
Bakteri Lac. Strep.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,44	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04	0,04
Bakteri Strep. Thermo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,44	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04	0,04
Asam Laktat	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	38,48	0,00	0,00	0,00	0,00	38,48	38,48	38,48
Gula	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	75,13	0,00	0,00	75,13	75,13	75,13	75,13
CMC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,44	6,44	6,44	6,44	6,44
Sub Total	878,889	878,889	878,889	878,8900	0,4394	0,4394	878,9773	75,1260	112,68	6,4390	194,2450	1.073,2	1.073,2	1.073,2

	JURUSAN TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA YOGYAKARTA
	PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM PRARANCANGAN PABRIK YOGHURT DARI SUSU SAPI KAPASITAS 8500 TON/TAHUN
Dikerjakan oleh : Nama Kelompok : 1. Muhammad Lus Erik (22521051) 2. Yusna Indria Sari Waruwu (22521073)	
Dosen Pembimbing : 1. Cholila Tamyzi, ST., M.Eng., Ph.D.	

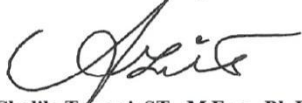
LAMPIRAN C. KARTU KONSULTASI BIMBINGAN

KARTU PEMBIMBINGAN TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa : Muhammad Lus Erik
 NIM : 22521051
 Nama Mahasiswa : Yusna Indria Sari W
 NIM : 22521073
 Semester/Tahun Akademik : 8/2025/2026
 Nama Dosen Pembimbing : Cholila Tamyzi, S.T., M.Eng., Ph.D

No	Tanggal	Konsultasi	Paraf Dosen
1	22 November 2025	Penentuan kapasitas pabrik berdasarkan kebutuhan pasar dan bahan baku	
2	18 Desember 2025	pemilihan proses produksi dan perbandingan alternatif proses.	
3	7 januari 2026	Penentuan spesifikasi bahan baku dan produk.	
4	10 februari 2026	Penyusunan diagram alir proses produksi. Pembahasan neraca massa	
5	17 April 2026	Perancangan reaktor dan perhitungan kinetika awal unit operasi pendukung Perancangan tangki penyimpanan dan kapasitasnya	
6	18 Mei 2026	Konsultasi sistem transportasi bahan Desain <i>heat exchanger</i> dan perhitungan perpindahan panas Perhitungan neraca panas proses.	
7	3 juni 2026	Penentuan lokasi pabrik, <i>layout</i> , dan struktur organisasi Perancangan utilitas	
8	24 Juni 2026	Evaluasi ekonomi dan pembahasan awal naskah Tugas Akhir. Penyusunan <i>Process Engineering Flow Diagram</i> (PEFD).	

Disetujui draft penulisan :
 Yogyakarta, 24 Juni 2026
 Pembimbing


Cholila Tamyzi, ST., M.Eng., Ph.D.
NIP. 185210101