

**PRA RANCANGAN PABRIK GLISEROL DARI MINYAK
JAGUNG DAN METANOL DENGAN KAPASITAS 40.000
TON/TAHUN**

**Diajukan sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Kimia**



Disusun Oleh :

Nama : Fayyadh Ammar Muhammad Nama : Yuanda Septian Pratiwi

NIM : 20521108

NIM : 20521111

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

2025

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

PRA RANCANGAN PABRIK GLISEROL DARI MINYAK JAGUNG DAN METANOL DENGAN KAPASITAS 40.000 TON/TAHUN

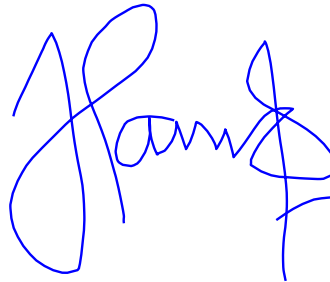
Disusun Oleh :

Fayyadh Ammar Muhammad (20521108)

Yuanda Septian Pratiwi (20521111)

Yogyakarta, 11 Agustus 2025

Pembimbing Tugas Akhir



Dr. Khamdan Cahyari, S.T., M.Sc.

NIP. 105210102

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN HASIL
PRA RANCANGAN PABRIK GLISEROL DARI MINYAK JAGUNG DAN
METANOL DENGAN KAPASITAS 40.000 TON/TAHUN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fayyadh Ammar Muhammad Nama : Yuanda Septian Pratiwi

NIM : 20521108

NIM : 20521111

Yogyakarta, 13 Agustus 2025

Menyatakan bahwa naskah Pra rancangan Pabrik ini telah disusun sesuai dengan kaidah ilmiah. Apabila ditemukan indikasi pelanggaran maka saya bersedia mempertanggung jawabkan sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Demikian surat pernyataan ini saya buat, semoga dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Mahasiswa



Fayyadh Ammar Muhammad

Mahasiswa



Yuanda Septian Pratiwi

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

PRA RANCANGAN PABRIK GLISEROL DARI MINYAK JAGUNG DAN METANOL DENGAN KAPASITAS 40.000 TON/TAHUN

PRA RANCANGAN

Oleh:

Nama : Fayyadh Ammar Muhammad Nama : Yuanda Septian Pratiwi

NIM : 20521108

NIM : 20521111

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, 28 Agustus 2025

Tim Penguji,

Dr. Khamdan Cahyari, S.T., M.Sc.

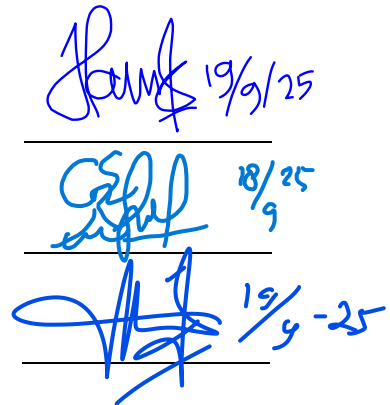
Ketua

Dr. Tintin Mutiara, S.T., M.Eng.

Anggota I

Alinda Fitrotun Nisya, S.T., M. Eng.

Anggota II



Mengetahui:

Ketua Program Studi Teknik Kimia
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia

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

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul: “Pra-Rancangan Pabrik Gliserol dari Minyak Jagung dan NaOH dengan Kapasitas 40.000 Ton/Tahun”. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat kelulusan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.

Selama proses penyusunan Tugas Akhir ini, penulis banyak menerima bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT, yang senantiasa memberikan rahmat, hidayah, dan kekuatan selama proses penyusunan Tugas Akhir
2. Ibu Ifa Puspasari, S.T., M.Eng., Ph.D., selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia, yang telah memberikan izin dan arahan dalam pelaksanaan Tugas Akhir Pra-Rancangan Pabrik.
3. Bapak Soleh Ma'mun, S.T., M.T., Ph.D., selaku Kepala Program Studi Teknik Kimia Program Sarjana Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia, atas bimbingan dan dukungan akademik yang diberikan.

4. Bapak Dr. Khamdan Cahyari, S.T., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing, yang selalu meluangkan waktu untuk memberikan arahan, masukan, dan motivasi hingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
5. Seluruh Dosen dan Staf Program Studi Teknik Kimia, yang telah membekali penulis dengan ilmu dan pengalaman sehingga mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Teman-teman Teknik Kimia FTI UII Angkatan 2020, atas dukungan, motivasi, dan kebersamaan yang sangat berarti selama proses penyusunan.
7. Kedua orang tua dan keluarga tercinta, atas doa, dukungan moral, dan semangat yang selalu mengiringi setiap langkah penulis hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih memiliki kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi perbaikan di masa mendatang. Semoga naskah ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan pihak-pihak yang membutuhkan.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh

Yogyakarta, 13 Agustus 2025

Penulis

LEMBAR PERSEMBAHAN

Tugas akhir ini saya persembahkan kepada :

Ayah dan Ibu tercinta, yang dengan doa, kasih sayang dan motivasi tiada henti menjadi sumber semangat dalam setiap langkah kehidupan saya. Segala perjuangan, pengorbanan dan dukungan moral maupun materil yang diberikan sejak awal perkuliahan hingga terselesaikannya tugas akhir ini adalah alasan utama saya dapat mencapai titik ini.

Yuanda Septian Pratiwi, partner sekaligus teman perjalanan hidup selama tujuh tahun terakhir, yang telah menemani saya dalam suka dan duka, baik dalam proses perkuliahan maupun penyusunan Tugas Akhir. Terima kasih atas kesabaran, dukungan dan semangat yang tak pernah berhenti, serta kebersamaan yang menjadi salah satu kekuatan terbesar dalam perjalanan ini.

M. Ahda Izzulhaq Firdaus, sahabat dekat saya selama proses pengerjaan Tugas Akhir ini. Terima kasih atas setiap kebersamaan, dukungan dan motivasi, baik ketika mengerjakan Tugas Akhir maupun saat bermain bola untuk penat. Kehadiranmu menjadi bagian penting dari perjalanan ini.

Fadhillah Sidiq dan Zhafran Qashid Rahmatullah, teman-teman kuliah yang selalu memberi semangat, dukungan dan kebersamaan yang berarti selama menempuh studi hingga penyusunan Tugas Akhir ini.

Bapak Dr. Khamdan Cahyari, S.T., M.Sc., selaku pembimbing yang dengan penuh kesabaran dan dedikasi membimbing saya, memberikan arahan, nasihat, serta ilmu yang sangat berharga selama penyusunan tugas akhir ini.

Akhirya, untuk diriku sendiri, yang telah berjuang melewati proses Panjang ini dengan penuh tekad dan keyakinan. Semoga perjalanan ini menjadi titik awal untuk menjadi pribadi yang bermanfaat bagi lingkungan, disayangi oleh orang-orang tercinta dan senantiasa diridhai oleh Allah SWT.

Fayyadh Ammar Muhammad

Teknik Kimia 2020

LEMBAR PERSEMBAHAN

Segala puji dan Syukur saya panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat, hidayah dan karunia-Nya, sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Dengan penuh rasa hormat, tulus dan kerendahan hati, karya ini saya persembahkan kepada:

Bapa dan Mama, sumber kekuatan dan Cahaya dalam setiap langkah hidup saya. Terima kasih atas doa yang tidak pernah putus, kesabaran tanpa batas, serta kasih sayang dan tulus sejak awal hingga detik ini. Setiap tetes keringat dan pengorbanan Bapa dan mama adalah alasan saya mampu berdiri di titik ini. Semoga pencapaian ini menjadi hadiah sederhana untuk membalas semua harapan dan doa yang selalu kalian panjatkan.

Fayyadh Ammar Muhammad, partner Tugas Akhir dan teman hidup selama tujuh tahun terakhir, yang selalu ada dalam setiap perjalanan suka maupun duka. Terima kasih atas kesabaran, dukungan dan kebersamaan yang luar biasa selama penyusunan Tugas Akhir ini. Setiap diskusi, kerja sama hingga momen sederhana telah menjadi bagian indah yang tak terlupakan dalam perjalanan ini. Kehadiran mu menjadikan proses Panjang ini terasa lebih bermakna.

Fadhillah Sidiq dan Chelcy Arya Savitri, teman dekat yang selalu setia memberi semangat, dukungan dan kebersamaan selama perjalanan kuliah ini. Terima kasih atas setiap bantuan dan dorongan yang telah menjadi bagian penting dari terselesaikannya Tugas Akhir ini.

Bapak Dr. Khamdan Cahyari, S.T., M.Sc., selaku dosen pembimbing, yang dengan penuh kesabaran dan dedikasi memberikan ilmu, arahan dan bimbingan yang tak ternilai. Semoga semua ilmu yang dibagikan menjadi ilmu yang barokah dan membawa manfaat dunia akhirat.

Akhirnya, untuk diriku sendiri, yang telah berjuang melewati setiap proses dengan ketekunan dan kesabaran. Semoga pencapaian ini menjadi awal perjalanan hidup yang lebih bermanfaat, membawa kebahagiaan bagi Bapa, Mama, keluarga, dan orang-orang terkasih, serta diridhai oleh Allah SWT.

Yuanda Septian Pratiwi

Teknik Kimia 2020

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	iv
KATA PENGANTAR	v
LEMBAR PERSEMBAHAN	vii
LEMBAR PERSEMBAHAN	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvii
ABSTRAK	xviii
ABSTRACT.....	xix
BAB I.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Kapasitas Pabrik.....	2
1.2.1. Data Impor Gliserol	2
1.2.2. Data Ekspor Gliserol.....	4
1.2.3. Data Produksi Gliserol	6
1.2.4. Data Konsumsi Gliserol	7
1.2.5. Kapasitas Prancangan.....	8
1.3. Tinjauan Pustaka	9
1.3.1. Gliserol.....	9
1.3.2. Minyak Jagung.....	11
1.3.3. Metanol	11
1.4. Pemilihan Proses	13
1.5. Tinjauan Termodinamikan dan Kinetika	19
BAB II.....	25
2.1. Spesifikasi Produk.....	25
2.2. Spesifikasi Bahan Baku.....	26
2.3. Pengendalian Kualitas	26
2.3.1. Pengendalian Kualitas Bahan Baku dan Produk.....	27

2.3.2. Pengendalian Kualitas Proses	30
BAB III	33
3.1. Diagram Alir Proses dan Material.....	33
3.1.1. Diagram Alir Kualitatif.....	33
3.1.2. Diagram Alir Kuantitatif.....	33
3.2. Uraian Proses	34
3.2.1. Tahap Persiapan Bahan Baku.....	34
3.2.2. Tahap Reaksi (Pembentukan Produk).....	34
3.2.3. Tahap Pemisahan Awal (Dekanter)	34
3.2.4. Tahap Pemurnian (Menara Distilasi)	35
3.2.5. Tahap Pembentukan Produk Akhir	36
3.3. Spesifikasi Alat	36
3.3.1. Spesifikasi Reaktor.....	36
3.3.2. Spesifikasi Alat Pemisah.....	38
3.3.3. Spesifikasi Alat Penyimpanan Bahan	40
3.3.4. Spesifikasi Alat Transportasi Bahan	42
3.3.5. Spesifikasi Alat Penukar Panas.....	46
3.4. Neraca Massa	54
3.5. Neraca Panas	55
3.5.1. Reaktor	55
3.5.2. <i>Heat Exchanger</i>	56
BAB IV	60
4.1. Lokasi Pabrik	60
4.2. Tata Letak Pabrik	63
4.2.2. Daerah proses dan ruang kendali	64
4.2.3. Daerah gudangan dan bengkel	64
4.2.4. Daerah utilitas dan pemadam kebakaran.....	64
4.3. Tata Letak Mesin.....	67
4.4. Organisasi Perusahaan	69
4.4.1. Bentuk Perusahaan	69
4.4.2. Struktur Perusahaan	70
BAB V.....	80

5.1.	Unit Pengadaan dan Pengolahan Air.....	81
5.1.1.	Unit Pengadaan Air	81
5.2.	Unit Pengolahan Air.....	83
5.2.1.	Kebutuhan Air	89
5.2.2.	Total Kebutuhan Air	90
5.3.	Unit Pembangkit Steam	92
5.4.	Unit Pembangkit Listrik.....	93
5.5.	Unit Udara Tekan	95
5.6.	Unit Penyedia Bahan Bakar	95
5.7.	Unit Pengolahan Limbah.....	96
5.8.	Unit <i>Downtherm</i>	97
5.9.	Spesifikasi Alat Utilitas	98
BAB VI		104
6.1.	Penaksiran Harga Peralatan.....	105
6.2.	Dasar Perhitungan	109
6.3.	Perhitungan Biaya	109
6.3.1.	Capital Investment	109
6.3.2.	Manufacturing Cost.....	111
6.3.3.	General Expense.....	114
6.4.	Analisa Keuntungan.....	116
6.5.	Analisa Kelayakan	116
6.5.1.	<i>Return on Investment (ROI)</i>	116
6.5.2.	<i>Pay Out Time (POT)</i>	117
6.5.3.	<i>Break Even Point (BEP)</i>	117
6.5.4.	<i>Shut Down Point (SDP)</i>	120
6.5.5.	<i>Discounted Cash Flow Rate of Return (DCFRR)</i>	120
BAB VII		122
7.1.	Kesimpulan	123
7.2.	Saran.....	124
DAFTAR PUSTAKA		125

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Data Impor Gliserol di Indonesia.....	3
Tabel 1.2 Proyeksi Impor Gliserol di Indonesia.....	4
Tabel 1.3 Data Ekspor Gliserol di Indonesia tahun 2018-2022.....	5
Tabel 1.4 Proyeksi Ekspor Gliserol di Indonesia.....	6
Tabel 1.5 Data Produksi Gliserol di Indonesia tahun 2013-2017.....	7
Tabel 1.6 Data Konsumsi Gliserol pada Tahun 2015 dan 2021.....	8
Tabel 1.7 Perbandingan Proses.....	15
Tabel 1.8 Harga Bahan.....	16
Tabel 1.9 Perbandingan Keuntungan Proses.....	18
Tabel 1.10 Data Entalpi pada Setiap Senyawa.....	20
Tabel 1.11 Data Kapasitas Panas Setiap Senyawa.....	20
Tabel 1.12 Data Energi Gibbs Setiap Senyawa.....	23
Tabel 2.1 Spesifikasi Produk.....	25
Tabel 2.2 Spesifikasi Bahan Baku dan Bahan Pendukung.....	26
Tabel 3.1 Spesifikasi Reaktor.....	36
Tabel 3.2 Spesifikasi <i>Decanter</i>	38
Tabel 3.3 Spesifikasi Menara Distilasi.....	38
Tabel 3.4 Spesifikasi Alat Penyimpanan Bahan.....	40
Tabel 3.5 Spesifikasi Alat Transfer Bahan.....	42
Tabel 3.6 Spesifikasi Alat <i>Heater</i> I.....	46
Tabel 3.7 Spesifikasi Alat <i>Heater</i> II.....	47
Tabel 3.8 Spesifikasi Alat <i>Heater</i> III.....	48
Tabel 3.9 Spesifikasi Alat <i>Cooler</i> I.....	49
Tabel 3.10 Spesifikasi Alat <i>Cooler</i> II.....	50
Tabel 3.11 Spesifikasi Alat <i>Cooler</i> III.....	51
Tabel 3.12 Spesifikasi Alat Kondensor.....	52
Tabel 3.13 Spesifikasi Alat Reboiler.....	53
Tabel 3.14 Neraca Massa Reaktor Tangki Berpengaduk.....	54

Tabel 3.15 Neraca Massa di Decanter.....	54
Tabel 3.16 Neraca Massa di Menara Distilasi.....	55
Tabel 3.17 Neraca Panas Reaktor.....	55
Tabel 3.18 Neraca Panas <i>Heater</i> I.....	56
Tabel 3.19 Neraca Panas <i>Heater</i> II.....	56
Tabel 3.20 Neraca Panas <i>Heater</i> III.....	56
Tabel 3.21 Neraca Panas <i>Cooler</i> I.....	57
Tabel 3.22 Neraca Panas <i>Cooler</i> II.....	58
Tabel 3.23 Neraca Panas <i>Cooler</i> III.....	58
Tabel 3.24 Neraca Panas Kondenser.....	58
Tabel 3.25 Neraca Panas Reboiler.....	59
Tabel 4.1 Rincian Luas Tanah dan Bangunan Pabrik.....	65
Tabel 4.2 Jumlah Karyawan.....	73
Tabel 4.3 Jadwal Karyawan <i>Shift</i>	76
Tabel 4.4 Daftar Gaji Karyawan.....	77
Tabel 5.1 Kebutuhan Air Pendingin.....	89
Tabel 5.2 Kebutuhan Air Pembuat Steam.....	90
Tabel 5.3 Kebutuhan Listrik.....	94
Tabel 5.4 Spesifikasi Pompa Utilitas.....	98
Tabel 5.5 Spesifikasi Bak Utilitas.....	100
Tabel 5.6 Spesifikasi Tangki Utilitas.....	102
Tabel 5.7 Spesifikasi <i>Sand Filter</i>	103
Tabel 6.1 Indeks Harga Alat.....	105
Tabel 6.2 <i>Physical Plant Cost</i> (PPC).....	110
Tabel 6.3 <i>Direct Plant Cost</i> (DPC).....	110
Tabel 6.4 <i>Fixed Capital Investment</i> (FCI).....	110
Tabel 6.5 <i>Working Capital</i> (WC).....	111
Tabel 6.6 <i>Direct Manufacturing Cost</i> (DMC).....	112
Tabel 6.7 <i>Indirect Manufacturing Cost</i> (IMC).....	112

Tabel 6.8 <i>Fixed Manufacturing Cost (FMC)</i>	113
Tabel 6.9 <i>Total Manufacturing Cost</i>	113
Tabel 6.10 <i>Total General Expense</i>	115
Tabel 6.11 <i>Total Production Cost</i>	115
Tabel 6.12 <i>Analisa Keuntungan</i>	116
Tabel 6.13 <i>Total Annual Fixed Manufacturing Cost (Fa)</i>	118
Tabel 6.14 <i>Total Annual Regulated Expenses (Ra)</i>	119
Tabel 6.15 <i>Total Annual Variable Value (Va)</i>	119
Tabel 6.16 <i>Total Annual Sales Value (Sa)</i>	119

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Grafik Impor di Tahun 2018-2022.....	3
Gambar 1.2 Grafik Ekspor di Indonesia Tahun 2018-2022.....	5
Gambar 1.3 Reaksi Hidrolisis.....	13
Gambar 1.4 Reaksi Transesterifikasi.....	14
Gambar 1.5 Reaksi Saponifikasi.....	14
Gambar 1.6 Reaksi Hidrolisis.....	17
Gambar 1.7 Reaksi Transesterifikasi.....	17
Gambar 1.8 Reaksi Saponifikasi.....	18
Gambar 3.1 Diagram Alir Kualitatif.....	33
Gambar 3.2 Diagram Alir Kuantitatif.....	33
Gambar 4.1 Lokasi Pabrik.....	60
Gambar 4.2 Tata Letak Pabrik	66
Gambar 4.3 Tata Letak Mesin.....	69
Gambar 4.4 Struktur Organisasi.....	71
Gambar 6.1 Grafik Indeks Harga Alat.....	107
Gambar 6.2 Grafik Evaluasi Ekonomi.....	122

ABSTRAK

Gliserol merupakan bahan kimia serbaguna yang banyak digunakan dalam berbagai industri seperti farmasi, kosmetik, pangan, dan biodiesel. Meningkatnya kebutuhan gliserol di dalam negeri mendorong perlunya pembangunan pabrik gliserol untuk mengurangi ketergantungan impor serta meningkatkan nilai tambah bahan baku nabati lokal. Pada pra-rancangan ini dirancang pabrik gliserol dengan kapasitas 40.000 ton/tahun menggunakan bahan baku minyak jagung dan metanol melalui proses transesterifikasi.

Pemilihan proses transesterifikasi dilakukan meskipun saponifikasi memiliki keuntungan ekonomi lebih tinggi, karena produk samping berupa biodiesel memiliki prospek pasar yang lebih baik dan mendukung pengembangan energi terbarukan di Indonesia. Produksi gliserol dilakukan dalam reaktor tangki berpengaduk kontinu (CSTR) dengan katalis *Amberlyst*. Kebutuhan bahan baku utama adalah minyak jagung sebanyak 49.464,90 kg/jam, dengan produk utama gliserol 5.050,51 kg/jam dan produk samping biodiesel 48.638,23 kg/jam. Unit utilitas pabrik meliputi penyediaan air pendingin sebesar 1.118.429,96 kg/jam, air pembuat steam 24.774,55 kg/jam, udara tekan 2 m³/jam, serta pasokan listrik dari PLN sebesar 2.500 kW.

Hasil analisis ekonomi menunjukkan bahwa pabrik ini mampu menghasilkan keuntungan sebelum pajak sebesar Rp 444.625.651.000 dan setelah pajak sebesar Rp 346.808.008.000. Nilai ROI yang diperoleh adalah 43% sebelum pajak dan 33% setelah pajak, dengan BEP sebesar 45% per tahun. Periode pengembalian modal (POT) adalah 1,9 tahun sebelum pajak dan 2,3 tahun setelah pajak. Berdasarkan data teknis dan analisis kelayakan ekonomi tersebut, pabrik gliserol ini dinyatakan layak untuk didirikan dan dioperasikan di Indonesia.

Kata kunci: Gliserol, Transesterifikasi, Minyak Jagung, Biodiesel, Analisis Kelayakan Pabrik.

ABSTRACT

Glycerol is a versatile chemical widely used in various industries such as pharmaceuticals, cosmetics, food, and biodiesel. The increasing domestic demand for glycerol drives the need for constructing a glycerol plant to reduce import dependency and increase the added value of local vegetable-based raw materials. In this preliminary design, a glycerol plant with a capacity of 40,000 tons/year is proposed, utilizing corn oil and methanol as raw materials through the transesterification process.

The transesterification process is selected even though saponification offers a higher economic margin because its by-product, biodiesel, has a better market prospect and supports the development of renewable energy in Indonesia. Glycerol production is carried out in a Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR) using Amberlyst as the catalyst. The main raw material requirement is 49,464.90 kg/hour of corn oil, producing 5,050.51 kg/hour of glycerol as the main product and 48,638.23 kg/hour of biodiesel as the by-product. The plant utility system includes cooling water at 1,118,429.96 kg/hour, boiler feed water at 24,774.55 kg/hour, compressed air at 2 m³/hour, and electricity supplied from PLN at 2,500 kW.

Economic analysis shows that the plant can generate a pre-tax profit of Rp 444,625,651,000 and a post-tax profit of Rp 346,808,008,000. The calculated ROI is 43% before tax and 33% after tax, with a Break-Even Point (BEP) of 45% per year. The Pay-Out Time (POT) is 1.9 years before tax and 2.3 years after tax. Based on the technical data and economic feasibility analysis, this glycerol plant is considered feasible to be built and operated in Indonesia.

Keywords: Glycerol, Transesterification, Corn Oil, Biodiesel, Plant Feasibility Analysis.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sebagai negara berkembang dengan laju pertumbuhan ekonomi dan kemajuan teknologi, Indonesia menghadapi persaingan yang tinggi. Hal ini seiring dengan peningkatan taraf hidup masyarakat yang menuntut pembangunan diberbagai sektor. Salah satu sektor yang diharapkan dapat mendorong pertumbuhan ekonomi di Indonesia adalah industri manufaktur. Pembangunan sektor ini diupayakan semaksimal mungkin untuk mempercepat perkembangan ekonomi Indonesia melalui pemerataan kerja, peningkatan ekspor dan penghematan devisa dengan memanfaatkan sumber daya manusia dan alam yang tersedia. Industri manufaktur sendiri terdiri dari berbagai jenis perusahaan, termasuk industri kimia

Dalam beberapa dekade terakhir, kebutuhan akan produk kimia yang ramah lingkungan dan berkelanjutan semakin meningkat. Gliserol atau gliserin adalah salah satu bahan kimia yang memiliki berbagai aplikasi dalam industri kosmetik, farmasi, makanan dan bahan bakar. Gliserol merupakan produk yang serbaguna dengan permintaan yang terus meningkat.

Permintaan global akan gliserol diproyeksikan terus meningkat seiring dengan berkembangnya aplikasi di berbagai sektor industri. Menurut berbagai studi pasar, pertumbuhan ini didorong oleh meningkatnya penggunaan biodiesel, produk perawatan pribadi dan farmasi. Selain itu, kesadaran akan lingkungan yang semakin tinggi membuat gliserol menjadi pilihan utama sebagai bahan yang ramah

lingkungan. Oleh karena itu, pengembangan pabrik yang efisien untuk memproduksi gliserol dari sumber berkelanjutan seperti minyak jagung menjadi sebuah kebutuhan yang mendesak.

Minyak jagung merupakan salah satu produk utama dari tanaman jagung dengan produksi yang melimpah dan cukup besar di Indonesia. Dengan ketersediaan yang luas minyak jagung dapat menjadikan bahan baku yang mudah didapatkan untuk produksi gliserol. Produksi gliserol dari minyak jagung memiliki potensi yang lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan sumber minyak nabati lainnya, yang dimana jagung dapat ditanam secara berkelanjutan dengan praktik pertanian yang tepat sehingga proses produksi gliserol dari minyak jagung dapat dikembangkan dengan memperhatikan aspek lingkungan.

1.2. Kapasitas Pabrik

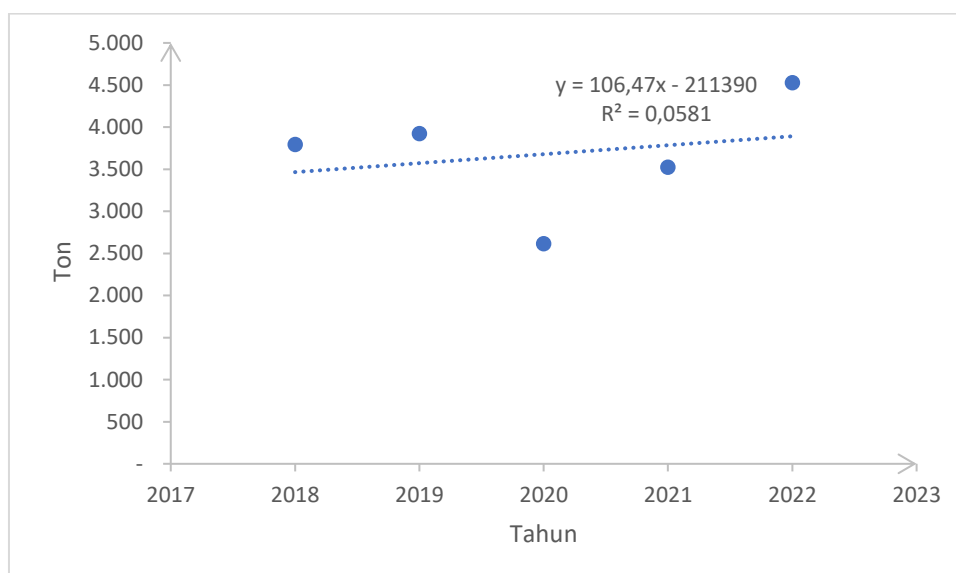
1.2.1. Data Impor Gliserol

Gliserol merupakan senyawa kimia penting yang banyak digunakan dalam berbagai industri, seperti kosmetik, farmasi, pangan dan biodiesel. Permintaan di Indonesia terus meningkat seiring dengan pertumbuhan sektor-sektor tersebut. Namun hingga saat ini, kebutuhan gliserol dalam negeri belum sepenuhnya dapat dipenuhi oleh produksi lokal. Hal ini menyebabkan Indonesia masih bergantung pada impor gliserol dari negara lain untuk mencukupi kebutuhan domestik. Berikut ini disajikan data impor gliserol di Indonesia sebagai dasar pertimbangan potensi pendirian pabrik gliserol dalam negeri.

Tabel 1.1 Data Impor Gliserol di Indonesia

No	Tahun	Ton
1	2018	3.796
2	2019	3.925
3	2020	2.615
4	2021	3525
5	2022	4.528

(Badan Pusat Statistik, 2024)



Gambar 1.1 Grafik Impor di Tahun 2018-2022

Dari data Tabel 1.1 jika dibuat persamaan regresi linear dengan X sebagai fungsi Tahun dan Y sebagai fungsi volume, melalui Grafik 1.1 didapat persamaan:

$$y = 106,47x - 211390 \quad [1.1]$$

Dengan data kebutuhan impor gliserol tersebut, maka dapat diproyeksikan kebutuhan gliserol di masa yang akan datang pada tabel dibawah ini :

Tabel 1.2 Proyeksi Impor Gliserol di Indonesia

No	Tahun	Ton
1	2025	4.210
2	2026	4.317
3	2027	4.423
4	2028	4.530
5	2029	4.636

Dari data pada Tabel 1.2 Proyeksi Impor Gliserol diprediksi pada tahun 2029 impor gliserol di Indonesia sebanyak 4.636 ton/tahun

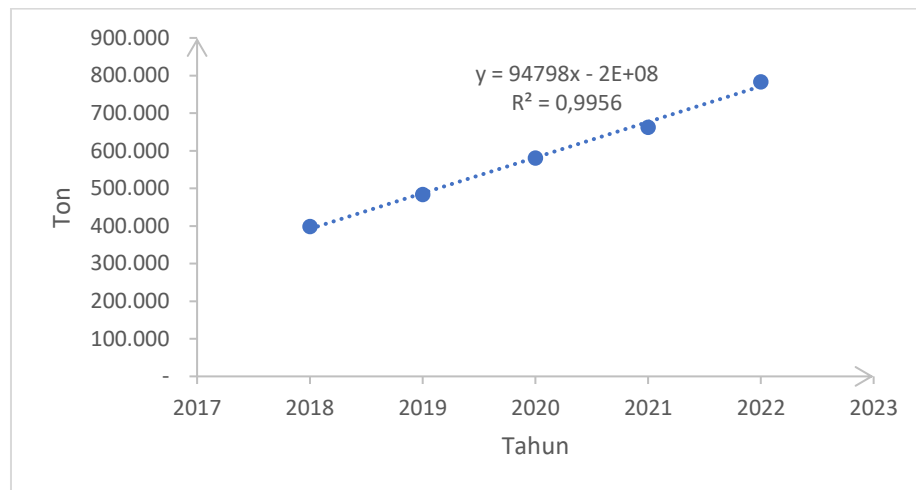
1.2.2. Data Ekspor Gliserol

Pasar gliserol global saat ini mengalami pertumbuhan yang signifikan, baik dari sisi permintaan maupun produk keluaran industri biodiesel dan farmasi. Indonesia memiliki potensi ekspor gliserol yang belum tergali secara optimal, mengingat sejumlah produsen domestik telah memproduksi gliserol dalam volume yang signifikan. Data ekspor gliserol dari Indonesia menjadi penting untuk dianalisis sebagai indikator kinerja industri nasional dan peluang pasar luar negeri. Di bawah ini disajikan data volume dan nilai ekspor gliserol Indonesia yang menjadi dasar evaluasi potensi ekspansi industri dalam negeri.

Tabel 1.3 Data Ekspor Gliserol di Indonesia tahun 2018-2022

No	Tahun	Ton
1	2018	398.578
2	2019	484.234
3	2020	580.631
4	2021	662.417
5	2022	783.474

(Badan Pusat Statistik, 2024)



Gambar 1.2 Grafik Ekspor di Indonesia Tahun 2018-2022

Dari tabel diatas jika dibuat persamaan regresi linear dengan X sebagai fungsi Tahun dan Y sebagai fungsi volume (kapasitas), maka persamaan yang diperoleh dari grafik adalah:

$$y = 94798x - 2E + 08 \quad [1.2]$$

Dengan data kebutuhan ekspor gliserol tersebut, maka dapat diproyeksikan kebutuhan gliserol di masa yang akan datang pada tabel dibawah ini:

Tabel 1.4 Proyeksi Ekspor Gliserol di Indonesia

No	Tahun	Ton
1	2025	1.055.855
2	2026	1.150.653
3	2027	1.245.451
4	2028	1.340.248
5	2029	1.435.046

Dengan demikian, dapat diperkirakan bahwa pada tahun 2029, Indonesia akan mengekspor gliserol sebanyak 1.435.046 ton/tahun.

1.2.3. Data Produksi Gliserol

Indonesia memiliki potensi sektoral dalam produksi gliserol, yang merupakan produk sampingan dari industri *biofuel*, kosmetik, serta farmasi. Seiring meningkatnya kapasitas biodiesel dan kebutuhan domestik terhadap gliserol, volume produksi gliserol dalam negeri menunjukkan tren peningkatan yang signifikan. Menganalisis data produksi gliserol menjadi sangat penting untuk memancarkan kinerja industri lokal, menilai kemampuan substitusi impor, serta Menyusun strategi peningkatan nilai industri kimia nasional. Dibawah ini disajikan data produksi gliserol di Indonesia sebagai dasar analisis potensi prospek pendirain pabrik gliserol.

Tabel 1.5 Data Produksi Gliserol di Indonesia tahun 2013-2017

Tahun	Produksi (ton)	Pertumbuhan (%)
2013	567.562	-
2014	697.863	22,96
2015	474.875	(31,95)
2016	707.995	49,09
2017	649.291	(8,29)
Pertumbuhan rata-rata		7.95

(Penelitian BIZTEKA-PT. CCI)

Dari tabel data memungkinkan untuk melakukan perhitungan proyeksi produksi gliserol pada tahun 2029. Proyeksi ini memberikan gambaran tentang potensi peningkatan atau penurunan produksi gliserol, serta faktor-faktor yang dapat mempengaruhinya:

$$2029 = (0,0795 \times 16 + 1) \times 567,562 \quad [1.3]$$

Dari perhitungan diatas, didapatkan data proyeksi pada tahun 2029 adalah 1.289.501 ton.

1.2.4. Data Konsumsi Gliserol

Permintaan gliserol di Indonesia terus meingkat seiring dengan ekspansi industri biodiesel, kosmetik, farmasi, serta pangan dan minuman. Produk sampingan dari proses transesterifikasi ini memainkan peran penting dalam rantai pasok hilir, menjadikan gliserol sebagai strategi komoditas yang sangat dibutuhkan. Konsumsi dosmetik yang signifikan menampilkan kebutuhan pasar yang besar dan semakin terbuka terhadap potensi produksi dalam negeri.

Oleh karena itu, pemaparan mengenai profil konsumsi gliserol di Indonesia menjadi landasan penting dalam menganalisis daya serap pasar dan strategi pengembangan industri gliserol nasional.

Tabel 1.6 Data Konsumsi Gliserol pada Tahun 2015 dan 2021

Tahun	Ton/tahun
2015	2.300.000
2021	13.600.000

Data konsumsi gliserol menunjukkan bahwa antara tahun 2015 hingga 2021, terjadi kenaikan signifikan dengan pertumbuhan tahunan rata-rata sebesar 4,9%. Peningkatan yang konsisten ini menandakan adanya permintaan yang stabil di pasar. Namun, jika kita melihat ke depan konsumsi gliserol diperkirakan akan mencapai 3.877.800 ton pada tahun 2029, yang menunjukkan penurunan dalam laju pertumbuhan dibandingkan dengan periode sebelumnya. Meskipun ada penurunan dalam tingkat pertumbuhan, angka konsumsi yang tetap tinggi menunjukkan bahwa gliserol masih memainkan peran penting dalam berbagai industri.

1.2.5. Kapasitas Prancangan

Kapasitas produksi suatu pabrik ditentukan berdasarkan kebutuhan konsumsi produk dalam negeri, data impor, data ekspor serta data produksi yang telah ada. Oleh karena itu, kapasitas pendirian pabrik gliserol di tahun 2029 dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$Supply = Produksi + Impor \quad [1.4]$$

$$Supply = 1.289.501 + 4.636 = 1.294.137 \text{ ton}$$

$$Demand = Ekspor + Konsumsi \quad [1.5]$$

$$Demand = 1.435.046 + 3.877.800 = 5.312.846 \text{ ton}$$

$$Peluang = Demand - Supply \quad [1.6]$$

$$Peluang = 5.312.846 - 1.294.137 = 4.018.709$$

Berdasarkan peluang pendirian pabrik yang telah dihitung, akan dirancang sebuah pabrik gliserol dengan kapasitas 1% dari total peluang, maka akan mendapatkan 40.000 ton/tahun.

1.3. Tinjauan Pustaka

1.3.1. Gliserol

Gliserol adalah komponen utama dalam semua lemak dan minyak, berbentuk ester yang dikenal sebagai gliserida. Gliserol dihasilkan dari reaksi antara trigliserida dan NaOH. Saat ini, istilah gliserol merujuk pada senyawa kimia murni, yang dalam perdagangan dikenal sebagai gliserin. Gliserol, juga disebut gliserin atau 1,2,3-propanatriol, adalah alkohol trihidrat berupa cairan higroskopis yang kental, bening, dan manis pada suhu kamar di atas titik lelehnya. Gliserol juga memiliki kestabilan tinggi dalam tangki penyimpanan, kompatibel dengan berbagai bahan kimia, tidak beracun, dan tidak menyebabkan iritasi. Selain itu, gliserol memiliki beragam kegunaan dan tidak memiliki efek negatif terhadap lingkungan. (Kirk, 1979)

Pada tahun 1779, Scheele pertama kali menghasilkan gliserol dengan memanaskan campuran minyak zaitun dan larutan soda garam dapur. Campuran ini menghasilkan larutan yang terasa manis, menunjukkan adanya gliserol. Sejak saat itu, gliserol dikenal dan mulai dimanfaatkan.

Pada awalnya, gliserol diperoleh dari proses saponifikasi minyak pangan yang mengandung senyawa ester gliserida. Proses saponifikasi ini dilakukan dengan menetralkan asam lemak bebas dalam minyak menggunakan larutan alkali, menghasilkan sabun dan gliserol. Setelah itu, gliserol dipisahkan, dipekatkan, dan dimurnikan dari hasil saponifikasi tersebut.

Gliserol yang dihasilkan dari hidrolisis lemak atau minyak pada unit fat splitting masih terdapat dalam air manis (sweet water). Kandungan gliserol dalam air manis ini biasanya diuapkan untuk memperoleh gliserol murni (gliserin). Proses pemurnian gliserol ini biasanya melibatkan beberapa tahap, seperti pemurnian dengan *centrifuge*, evaporasi, dan filtrasi.

Berikut adalah beberapa aplikasi gliserol dalam berbagai industri:

1. Dalam industri kosmetik, gliserol digunakan dalam produk perawatan kulit seperti krim, lotion, dan sabun.
2. Di industri farmasi, gliserol berfungsi sebagai bahan dalam pembuatan obat, termasuk sirup dan tablet.
3. Dalam industri makanan dan minuman, gliserol dimanfaatkan sebagai pengganti gula dalam beberapa produk karena rasa manisnya.

1.3.2. Minyak Jagung

Minyak jagung adalah minyak yang diekstraksi dari biji jagung yang bersifat setengah kering, berwarna kekuningan dan digunakan untuk membuat sabun, dan sebagai pelumas. Minyak jagung kaya akan Vitamin E yang berfungsi untuk stabilitas terhadap ketengikan dan di dalam minyak jagung terdapat vitamin-vitamin terlarut yang dapat digunakan sebagai bahan non-pangan seperti obat-obatan. Minyak jagung dapat digunakan sebagai alternatif untuk pencegahan penyakit jantung koroner.

1.3.3. Metanol

Metanol (CH_3OH) adalah senyawa alkohol paling sederhana yang berbentuk cairan bening, mudah menguap, serta memiliki sifat mudah terbakar. Senyawa ini dikenal juga sebagai *wood alcohol* karena pada awalnya diproduksi melalui distilasi kayu. Namun, pada skala industri modern, metanol diproduksi terutama dari gas alam melalui proses *reforming* uap metana yang menghasilkan gas sintesis (campuran CO dan H_2), kemudian diikuti oleh tahap sintesis metanol menggunakan katalis logam. Metanol memiliki titik didih $64,7^\circ\text{C}$, berat molekul $32,04 \text{ g/mol}$, dan bersifat polar sehingga sangat baik digunakan sebagai pelarut dalam berbagai reaksi kimia.

Penggunaan metanol dalam industri sangat beragam. Senyawa ini menjadi bahan baku utama dalam produksi formaldehida, asam asetat, akrilat, dimetil eter, serta metil *tert*-butil eter (MTBE) yang berfungsi sebagai aditif bahan bakar. Selain itu, metanol juga dipertimbangkan sebagai bahan bakar alternatif karena sifatnya yang lebih ramah lingkungan dibandingkan bahan

bakar fosil konvensional, mengingat metanol dapat terbakar lebih bersih dengan menghasilkan emisi karbon yang lebih rendah. Dalam konteks energi terbarukan, metanol bahkan digunakan sebagai media penyimpanan energi dan dapat diolah lebih lanjut menjadi *biofuel*.

Dalam industri biodiesel, metanol berperan sangat penting karena menjadi reaktan utama dalam reaksi transesterifikasi trigliserida dengan alkohol, menghasilkan metil ester (biodiesel) dan gliserol sebagai produk samping. Reaksi ini bersifat *reversible*, sehingga diperlukan kelebihan jumlah metanol untuk menggeser kesetimbangan ke arah pembentukan produk. Umumnya, katalis basa homogen seperti NaOH atau KOH digunakan karena mampu mempercepat laju reaksi, meskipun saat ini katalis heterogen seperti *Amberlyst* juga banyak dikembangkan karena lebih ramah lingkungan, mudah dipisahkan dari produk, serta dapat digunakan kembali.

Di Indonesia, kebutuhan metanol sebagian besar masih dipenuhi melalui impor, meskipun potensi pengembangan industri metanol cukup besar mengingat ketersediaan gas alam sebagai bahan baku. Metanol yang digunakan pada skala industri harus memiliki tingkat kemurnian tinggi, umumnya $\geq 99,9\%$, untuk mencegah terbentuknya reaksi samping yang dapat menurunkan kualitas produk, seperti saponifikasi pada pembuatan biodiesel. Dengan sifat multifungsi yang dimilikinya, metanol tidak hanya menjadi bahan baku penting dalam industri kimia, tetapi juga berperan strategis dalam mendukung program energi terbarukan di Indonesia.

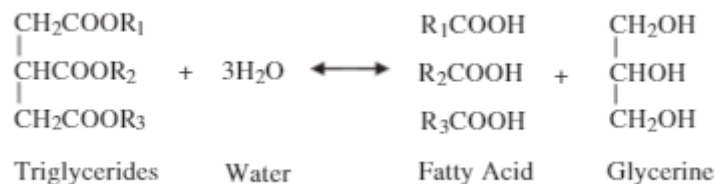
1.4. Pemilihan Proses

Pembuatan gliserol dapat dilakukan dengan berbagai metode, di antaranya adalah:

1. Hidrolisis

Hidrolisis terdiri dari dua kata, yaitu "hidro" yang berarti air dan "lisis" yang berarti terurai atau pecah. Oleh karena itu, hidrolisis dapat diartikan sebagai pemecahan atau penguraian molekul air (H_2O) menjadi anion hidroksil (OH^-) dan kation hidrogen (H^+). Hidrolisis juga dapat didefinisikan sebagai proses penguraian suatu molekul yang disebabkan oleh air (H_2O).

Hidrolisis dalam proses ini merupakan reaksi antara minyak dan air yang menghasilkan asam lemak dan gliserol dengan bantuan katalis. Reaksi tersebut adalah sebagai berikut:

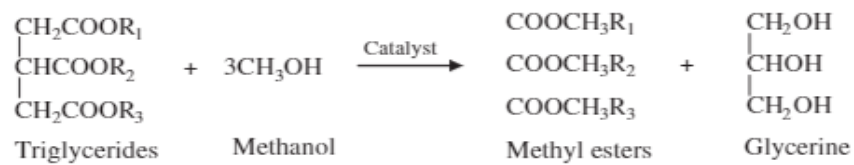


Gambar 1.3 Reaksi Hidrolisis

Dari satu molekul trigliserida dihasilkan tiga molekul asam lemak dan satu molekul gliserol. Dalam reaksi hidrolisis, lemak atau minyak diubah menjadi gliserol dan asam lemak bebas. Reaksi hidrolisis ini dapat merusak minyak atau lemak karena adanya air di dalamnya, yang menyebabkan ketengikan hidrolisis dan menghasilkan rasa serta bau tengik pada minyak tersebut.

2. Transesterifikasi

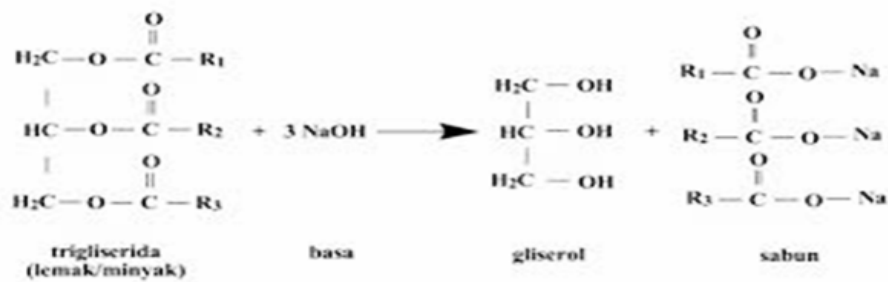
Transesterifikasi adalah proses reaksi antara lemak atau minyak dengan metanol, yang menggunakan katalis untuk menghasilkan gliserol dan metil ester.



Gambar 1.4 Reaksi Transesterifikasi

3. Saponifikasi

Saponifikasi adalah proses di mana minyak bereaksi dengan soda kaustik untuk menghasilkan gliserol dan produk samping berupa sabun. Berikut adalah reaksi saponifikasi.



Gambar 1.5 Reaksi Saponifikasi

Saponifikasi adalah metode dalam pembuatan gliserol dari lemak dan minyak, yang melibatkan reaksi dengan soda kaustik (NaOH) untuk menghasilkan sabun.

Jenis lilin yang terdapat dalam minyak jagung adalah kombinasi dari miristil isobehenat, lignoserat, dan setil lignoserat. Untuk memisahkan fraksi *lipid* dari

senyawa lain dalam bahan pangan, digunakan metode ekstraksi dengan pelarut. Fraksi yang larut disebut lemak kasar. Jika fraksi lemak kasar itu bereaksi dengan natrium hidroksida (NaOH), maka asam lemak bebas, lilin, atau senyawa lipid akan membentuk sabun. *Fatty acid* digunakan untuk menentukan nilai netralisasi, oleh karena itu, pengetahuan tentang berat molekulnya penting dalam reaksi saponifikasi.

Senyawa sabun ini akan mengalami pelarutan dalam air. Dalam proses ini, gliserol, fosfat alkohol, dan minyak akan larut dalam air, sementara *sterol*, *pigmen*, dan hidrokarbon tidak akan larut dalam air. Oleh karena itu, semua jenis *lipid* termasuk dalam fraksi yang dapat disabunkan (*saponifiable fraction*), kecuali untuk senyawa *sterol*, *pigmen*, dan hidrokarbon.

Sebelum memilih proses yang tepat dan baik, perlu adanya dilakukan perbandingan antara beberapa metode alternatif baik dari segi teknis dan ekonomi. Dilakukan perbandingan antara 3 proses antara Hidrolisis, Transesterifikasi dan Saponifikasi. Berikut perbandingan yang di dapat :

Tabel 1.7 Perbandingan Proses

Kriteria	Jenis Proses		
	Hidrolisis	Transesterifikasi	Saponifikasi
Bahan Baku	Triglerida dan Air	Trigliserida dan Metanol	Trigliserida dan NaOH
Suhu (°C)	200	50	80
Tekanan (atm)	54,3	1	1
Fase	Cair	Cair	Cair

1.4.1. Ekonomi Potensial

Dalam memilih proses pembuatan pabrik gliserol, penting untuk mengevaluasi keuntungan ekonomi dari produk yang dihasilkan dengan menghitung ekonomi potensial. Penentuan ekonomi potensial melibatkan analisis biaya bahan baku yang rendah untuk memastikan nilai produksi yang menguntungkan. Rumus yang digunakan untuk menghitung ekonomi potensial adalah sebagai berikut:

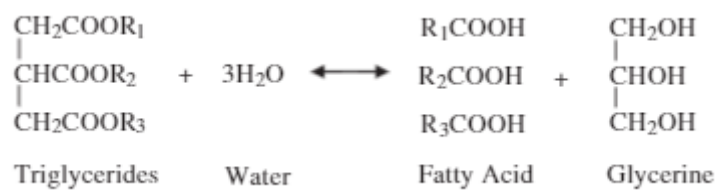
$$EP = \text{Value of Produk} - \text{Raw Material Cost}$$

Tabel 1.8 Harga Bahan

Material	Berat Molekul (kg/mol)	Harga (per-kg)
Minyak Jagung	856	Rp10.000
Gliserol	92	Rp25.000
Methanol	32	Rp9.492
H ₂ O	18	Rp0
NaOH	40	Rp10.000
Sabun	884	Rp22.500
Fatty acid	818	Rp5.606,25
Methyl ester	860	Rp15.000

Berdasarkan tabel harga pembuatan pabrik gliserol, dilakukan perhitungan ekonomi potensial untuk memilih proses pembuatan gliserol yang paling menguntungkan. Berikut adalah hasil perhitungan ekonomi potensial untuk tiga proses pembuatan pabrik gliserol:

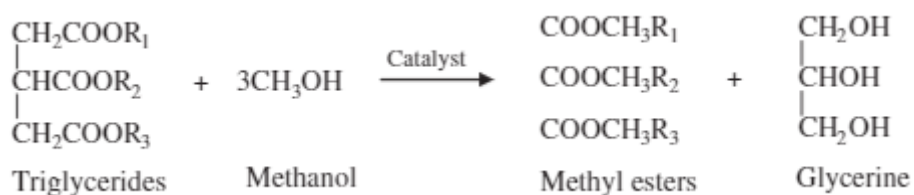
1. Hidrolisis



Gambar 1.6 Reaksi Hidrolisis

$$\begin{aligned}
 EP_{\text{hidrolisis}} &= \text{value of product} - \text{raw material cost} \\
 &= (92 \times \text{Rp}25.000 + 3 \times 818 \times \text{Rp}5.606,25) \\
 &\quad - (3 \times 18 \times 0 + 856 \times \text{Rp}10.000) = \text{Rp}7.497.738
 \end{aligned}$$

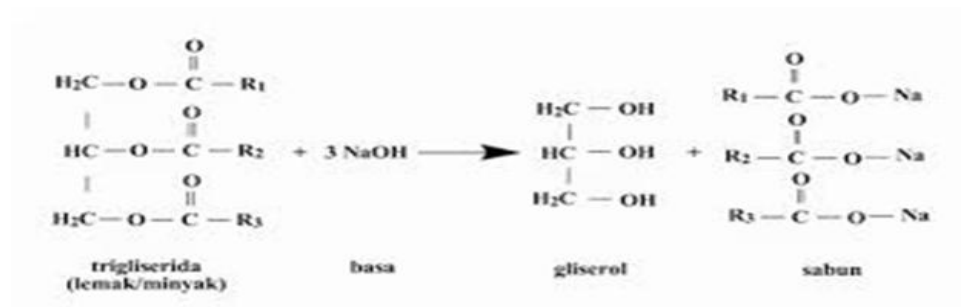
2. Transesterifikasi



Gambar 1.7 Reaksi Transesterifikasi

$$\begin{aligned}
 EP_{\text{transesterifikasi}} &= \text{value of product} - \text{raw material cost} \\
 &= (92 \times \text{Rp}25.000 + 3 \times 860 \times 15.000) \\
 &\quad - (3 \times 32 \times \text{Rp}9.492 + 856 \times \text{Rp}10.000) \\
 &= \text{Rp}31.528.768
 \end{aligned}$$

3. Saponifikasi



Gambar 1.8 Reaksi Saponifikasi

$$\begin{aligned}
 EP. \text{ saponifikasi} &= \text{value of product} - \text{raw material cost} \\
 &= (92 \times Rp25.000 + 3 \times 884 \times Rp22.500) \\
 &\quad - (3 \times 40 \times Rp10.000 + 856 \times Rp10.000) \\
 &= 52.210.000
 \end{aligned}$$

Tabel 1.9 Perbandingan Keuntungan Proses

Jenis Proses	Keuntungan (Harga/kg)
Proses Hidrolisis	Rp7.497.738
Proses Transesterifikasi	Rp31.528.768
Proses Saponifikasi	Rp52.210.000

Berdasarkan hasil perhitungan ekonomi potensial, proses saponifikasi memang menunjukkan nilai keuntungan teoritis paling tinggi. Namun, dalam perancangan pabrik ini dipilih proses transesterifikasi karena lebih sesuai dengan tujuan utama, yaitu menghasilkan gliserol sebagai produk utama dengan kualitas tinggi. Selain gliserol, proses ini juga memberikan keuntungan

tambahan berupa produk samping biodiesel yang memiliki pasar global yang terus berkembang seiring program transisi energi terbarukan.

Dibandingkan dengan proses hidrolisis yang membutuhkan tekanan dan suhu tinggi, maupun proses saponifikasi yang lebih menekankan produksi sabun, proses transesterifikasi lebih menguntungkan karena berjalan pada kondisi operasi yang lebih ringan (sekitar 50°C, 1 atm) dan menghasilkan gliserol murni sekaligus biodiesel. Dengan demikian, meskipun nilai ekonomi saponifikasi terlihat lebih besar, transesterifikasi dipilih karena mampu menghasilkan gliserol sesuai fokus pabrik, serta tetap relevan dengan kebutuhan energi dan pasar saat ini.

1.5. Tinjauan Termodinamikan dan Kinetika

1.5.1. Tinjauan Termodinamika

Bila ditinjau dari termodinamika, reaksi yang terlibat dalam pembentukan gliserol termasuk dalam reaksi endotermis. Untuk menentukan apakah reaksi tersebut bersifat endotermis atau eksotermis, hal ini dapat diketahui dengan menghitung nilai entalpi (ΔH) dan konstanta kesetimbangan reaksi (K) pada suhu 1 atm dan 298 K. Berikut ini adalah penjelasan perhitungannya.

Data dari setiap senyawa yang digunakan dalam perhitungan entalpi pada reaksi pembentukan gliserol dari minyak jagung dengan katalis NaOH tersaji pada tabel berikut dibawah ini.

Tabel 1.10 Data Entalpi pada Setiap Senyawa

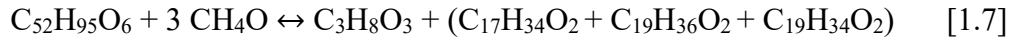
Komponen	A	B	C	ΔH_f 298 (kJ/mol)	MW
C ₃ H ₈ O ₃	-559,438	-9,22E-02	4,50E-05	-528,8	
NaOH				-425,6	
CH ₄ O	-188,188	-4,98E-02	2,08E-05	-201,17	
H ₂ O	-238,41	-1,23E-02	2,77E-06	-241,8	
C ₅₂ H ₉₅ O ₆				-1949,15	
C ₁₇ H ₃₄ O ₂				-779,78	
C ₁₉ H ₃₆ O ₂				-720	
C ₁₉ H ₃₄ O ₂				-618,94	

Tabel 1.11 Data Kapasitas Panas Setiap Senyawa

Komponen	A	B	C	D
C ₃ H ₈ O ₃	132,145	8,60E-01	-1,97E-03	1,81E-06
NaOH	87,639	-4,84E-04	-4,54E-06	1,19E-09
CH ₄ O	40,152	3,10E-01	-1,03E-03	1,46E-06
H ₂ O	92,053	-4,00E-02	-2,11E-04	5,35E-07
C ₅₂ H ₉₅ O ₆	1,3704	0,0022	4,00E-07	-3,00E-10
C ₁₇ H ₃₄ O ₂	1405,2	9,1285	0,0201	8,00E-07
C ₁₉ H ₃₆ O ₂	8761,2	88,038	0,277	0,0003
C ₁₉ H ₃₄ O ₂	404,81	0,3344	0,0009	-2,00E-08

(Carl L. Yaws, 1999)

Reaksi overall pembuatan gliserol



ΔH_{reaksi}

$$\Delta H_{\text{reaktan}} = \int_{363,15}^{298,15} C_p \text{C}_{52} \text{H}_{95} \text{O}_6 + 3 \int_{363,15}^{298,15} C_p \text{CH}_4\text{O} \quad [1.8]$$

$$= \int_{363,15}^{298,15} (1,3704 + 0,0022T + 4,00E - 07T^2 + (-3,00E - 10)T^3) dT$$

$$+ 3 \int_{363,15}^{298,15} (40,152 + 3,10E - 01T + (-1,03E - 03)T^2 + 1,46E - 06T^3) dT$$

$$= -2392,12 \text{ kJ/mol}$$

ΔH_{produk} :

1. Methyl Palmitate ($\text{C}_{17}\text{H}_{34}\text{O}_2$)

$$= \int_{298,15}^{363,15} (14052,2 + 9,128,5T + 0,0201T^2 + 8,00E - 07T^3) dT \quad [1.9]$$

$$= 4,391E+05 \text{ kJ/mol}$$

2. Methyl Oleate ($\text{C}_{19}\text{H}_{36}\text{O}_2$)

$$= \int_{298,15}^{363,15} (8761,2 + 88,038T + 0,277T^2 + 0,0003T^3) dT \quad [1.10]$$

$$= 5,148E+06 \text{ kJ/mol}$$

3. Methyl Linoleate ($\text{C}_{19}\text{H}_{34}\text{O}_2$)

$$= \int_{298,15}^{363,15} (404,81 + 0,3344T + 0,0009T^2 + (-2,00E - 08)T^3) dT \quad [1.11]$$

$$= 3,987E+04 \text{ kJ/mol}$$

4. Glycerol (C₃H₈O₃)

$$= \int_{298,15}^{363,15} (132,145 + 8,60E - 01T + (-1,97E - 03)T^2 + 1,81E - 06T^3) dT \quad [1.12]$$

$$= 1,732E+04 \text{ kJ/mol}$$

Total ΔHproduk adalah:

$$= (4,391E + 05) + (5,148E + 06) + (3,987E + 04) + (1,732E + 04)$$

$$= -5039,64 \text{ kJ/mol} \quad [1.13]$$

ΔH°r pada suhu 298K

$$\Delta H^{\circ}r = \Delta H_{\text{produk}} - \Delta H_{\text{reaktan}} \quad [1.14]$$

$$= (-5039,64 \text{ kJ/mol}) - (-2392,12 \text{ kJ/mol})$$

$$= -2647,52 \text{ kJ/mol}$$

ΔH°r pada suhu 353K

$$\Delta H^{\circ}r = \Delta H^{\circ}r(298) + (\Delta H_{\text{produk}} - \Delta H_{\text{reaktan}}) \quad [1.15]$$

$$= -2647,52 \text{ kJ/mol} + (-5039,64 \text{ kJ/mol} - (-2392,12 \text{ kJ/mol}))$$

$$= -5295,04 \text{ kJ/mol}$$

Entalpi reaksi negatif reaksi bersifat ekotermik

Tabel 1.12 Data Energi Gibbs Setiap Senyawa

Komponen	A	B	C	ΔG_f^{298} (kJ/mol)
$C_3H_8O_3$	-584,906	4,47E-01	3,08E-05	-448,49
NaOH				-379,5
CH_4O	-201,86	1,25E-01	2,03E-05	-162,51
H_2O				-228,6
$C_{52}H_{95}O_6$				-467,49
$C_{17}H_{34}O_2$				-271,99
$C_{19}H_{36}O_2$				-155,27
$C_{19}H_{34}O_2$				-55,39

(Carl L. Yaws, 1999)

$$\Delta G^o_f = \Delta G^o_f \text{ produk} - \Delta G^o_f \text{ reaktan} \quad [1.16]$$

$$\Delta G^o_f = ((\Delta G^o_f C_{17}H_{34}O_2 + C_{19}H_{36}O_2 + C_{19}H_{34}O_2) + C_3H_8O_3) - (\Delta G^o_f C_{52}H_{95}O_6 + 3 CH_4O)$$

$$\Delta G^o_f = (-271990 + (-155270) + (-55390) + (-448490)) - (3 \times (-37950) + (-467490))$$

$$\Delta G^o_f = -260130 \text{ kJ/kmol}$$

Reaksi dari persamaan energi Gibbs yang didapat merupakan reaksi spontan.

1.5.2. Tinjauan Kinetika

Kinetika reaksi kimia merupakan cabang ilmu kimia yang mempelajari laju reaksi dan bagaimana reaksi berlangsung seiring waktu. Aspek ini tidak hanya mencakup kecepatan reaksi, tetapi juga mekanisme reaksi, yaitu tahapan-tahapan yang dilalui selama perubahan kimia terjadi. Faktor-faktor

seperti suhu, konsentrasi reaktan, tekanan dan keberadaan katalisator berperan penting dalam menentukan laju reaksi. Pemahaman terhadap kinetika reaksi sangat penting dalam perancangan reaktor dan optimasi proses produksi agar diperoleh efisiensi yang maksimal.

Data kinetika reaksi pada proses transesterifikasi dalam pra rancangan ini mengacu pada model *Eley-Rideal (ER)* tanpa keberadaan asam lemak bebas (FFA), seperti dijelaskan dalam jurnal oleh Jamal (2014), pada jurnal yang berjudul “*Determination of methanap;ysis rate Constants for low and high Fatty Acid Oils using Heterogenous Surface Reaction Kinetic Models*”.

Persamaan laju reaksi yang digunakan adalah:

$$r = \frac{k_{CB}}{(1+K)(TG)} \quad [1.17]$$

$$r = \frac{k_{CB}}{(1+K)(CA)} \quad [1.18]$$

$$r = \frac{k_{CB0}-CA0}{(1+K)CA0(1-X)} \quad [1.19]$$

$$r = \frac{k_{CA0}(M-X)}{(1+K)CA0(1-X)} \quad [1.20]$$

$$r = \frac{k(M-X)}{(1+K)(1-X)} \quad [1.21]$$

Dan menggunakan pendekatan persamaan sebagai berikut :

$$k = 7.48 \times 10^{-4} \quad [1.22]$$

$$K = 1.10 \times 10^{-4} \quad [1.23]$$

BAB II

PERANCANGAN PRODUK

2.1. Spesifikasi Produk

Tabel 2.1 Spesifikasi Produk

Spesifikasi Produk		
Spesifikasi	Produk Utama	Produk Samping
	Gliserol	Biodiesel
Rumus Molekul	$C_3H_8O_3$	a. Methyl Palmitate : $C_{17}H_{34}O_2$ b. Methyl Oleate : $C_{19}H_{36}O_2$ c. Methyl Linoleate : $C_{19}H_{34}O_2$
Wujud	Cair	Cair
Berat Molekul, g/mol	92,09	a. Methyl Palmitate : 270,5 b. Methyl Oleate : 296,5 c. Methyl Linoleate : 294,5
Titik Didih, °C	239,1	a. Methyl Palmitate : 391,5 b. Methyl Oleate : 445,58 c. Methyl Linoleate : 441,42
Titik Lebur, °C	12,85	a. Methyl Palmitate : 30,85 b. Methyl Oleate : 92,74 c. Methyl Linoleate : 97,82
Suhu Kritis, °C	452,85	a. Methyl Palmitate : 486,85 b. Methyl Oleate : 622,86 c. Methyl Linoleate : 503,85
Densitas, g/cm ³	1,241	a. Methyl Palmitate : 0,86 b. Methyl Oleate : 0,88 c. Methyl Linoleate : 0,89
Viskositas, cP	0,34	a. Methyl Palmitate : 0,46 b. Methyl Oleate : 0,47 c. Methyl Linoleate : 0,39

2.2. Spesifikasi Bahan Baku

Tabel 2.2 Spesifikasi Bahan Baku dan Bahan Pendukung

Spesifikasi Bahan Baku dan Bahan Pendukung			
Spesifikasi	Bahan Baku		Bahan Pendukung
	Minyak Jagung	Metanol	Air
Rumus Molekul	$C_{52}H_{95}O_6$	CH_4O	H_2O
Wujud	Cair	Cair	Cair
Berat Molekul, g/mol	856	32,042	18,015
Titik Didih, °C	260	64,7	99,75
Titik Lebur, °C	-11	-97,68	0,01
Suhu Kritis, °C		239,43	373,99
Densitas, g/cm ³	0,917	0,764	1,004
Viskositas, cP	0,95	0,398	0,55
Kemurnian	99,9%	99,9%	0,1%

2.3. Pengendalian Kualitas

Pengendalian kualitas merupakan serangkaian yang mencakup pengawasan terhadap standar kualitas bahan baku, proses pengolahan, produk setengah jadi, hingga distribusi akhir ke konsumen, dengan tujuan agar hasil akhir sesuai dengan spesifikasi dan kualitas yang telah ditetapkan. Dalam pabrik gliserol ini pengendalian kualitas mencakup seluruh tahapan, mulai dari bahan baku, proses produksi, hingga produk akhir. Proses pengendalian ini kemudian diklasifikasikan ke dalam beberapa jenis pengujian dan metode tertentu yang digunakan untuk menjamin konsistensi kualitas, yaitu :

- a. Inspeksi, dilakukan sebagai bentuk pemeriksaan langsung terhadap produk yang sedang diproses maupun yang telah selesai produksi, guna memastikan kesesuaiannya dengan standar kualitas dan spesifikasi yang telah ditetapkan.
- b. *Statistical Sampling*, diterapkan untuk menjamin kualitas produk tanpa perlu memeriksa unit yang dihasilkan, melalui teknik pengambilan sampel secara statistik yang *representative*, kualitas keseluruhan produk tetap dapat terpantau secara efisien.
- c. Analisis, dilakukan di laboratorium sebagai bagian dari uji kualitas terhadap bahan baku dan produk akhir, yang mencakup pengujian parameter fisik dan kimia untuk memastikan produk memenuhi kriteria yang telah ditentukan.
- d. *Traceability*, bertujuan untuk menjamin kemampuan penelusuran produk secara internal maupun eksternal. Melalui sistem ini, sumber permasalahan dapat diidentifikasi, serta memungkinkan dilakukannya penarikan produk yang sudah beredar apabila ditemukan ketidaksesuaian, sehingga menjamin tanggung jawab dan keamanan kualitas.

2.3.1. Pengendalian Kualitas Bahan Baku dan Produk

Pengendalian kualitas bahan baku dilakukan untuk memastikan bahwa kualitas bahan baku yang digunakan telah memenuhi spesifikasi yang dipersyaratkan dalam proses produksi. Proses ini mencakup seluruh tahapan mulai dari perencanaan pembelian, penerimaan bahan di gudang, penyimpanan, hingga saat bahan baku digunakan dalam proses. Kualitas bahan

baku memiliki pengaruh yang signifikan terhadap mutu produk akhir. Bahan baku dengan kualitas yang baik akan mendukung tercapainya hasil produk yang optimal, sedangkan bahan baku yang berkualitas rendah berpotensi menurunkan kualitas produk. Oleh karena itu, sebelum proses produksi dimulai, dilakukan pengujian terhadap bahan baku untuk memastikan kesesuaiannya agar dapat di proses secara efisien dan menghasilkan produk sesuai standar yang ditetapkan.

Untuk menghasilkan produk dengan kualitas sesuai standar, diperlukan penggunaan bahan baku yang berkualitas serta penerapan sistem pengawasan dan pengendalian proses secara menyeluruh melalui sistem control yang efektif. Pengujian kualitas diperlukan untuk memastikan bahwa produk yang dihasilkan telah memenuhi standar yang ditetapkan. Pengujian ini mencakup analisis terhadap densitas, viskositas, kemurnian, serta komposisi komponen produk. Selain itu, perlu diperhatikan bahwa setiap bahan baku dan produk akhir memiliki potensi bahaya masing-masing, sehingga aspek keselamatan juga menjadi bagian penting dalam pengendalian kualitas.

Parameter-parameter tertentu yang diterapkan di setiap pabrik menjadi faktor kunci dalam menjamin keberhasilan mutu baik pada bahan baku maupun produk yang dihasilkan, yaitu :

- a. *Incoming Inspection*, yaitu pemeriksaan yang dilakukan saat bahan diterima dari pemasok, guna memastikan kesesuaian spesifikasi awal,

- b. *In-process Inspection*, yaitu pemeriksaan yang dilakukan saat bahan diterima dari pemasok untuk memastikan produk sedang diolah dengan benar menuju nilai tambah yang diinginkan.
- c. *Final Inspection*, merupakan pemeriksaan terhadap produk akhir untuk memastikan bahwa produk telah memenuhi standar kualitas yang ditetapkan sebelum dipasarkan.
- d. *Re-work and Re-use*, yaitu evaluasi dan pengolahan ulang terhadap produk yang tidak memenuhi standar kualitas, agar dapat digunakan kembali atau diperbaiki.
- e. *Downgrade*, merupakan proses klasifikasi produk cacat yang masih memiliki nilai jual, meskipun tidak memenuhi standar utama, sehingga dapat dipasarkan ke segmen konsumen yang berbeda dengan toleransi kualitas tertentu.
- f. *Recycle*, yaitu proses pengembalian produk ke produsen untuk didaur ulang, baik secara material maupun fungsi, guna mendukung efisiensi sumber daya dan keberlanjutan proses produksi.

Parameter utama yang diuji dalam pengendalian kualitas bahan baku dan produk adalah uji kemurnian dilakukan untuk mengetahui kandungan utama dan senyawa pengotor dalam bahan baku maupun produk, dengan metode yang digunakan berupa Kromatografi Gas (GC) dan Kromatografi Cair Kinerja Tinggi (HPLC), di mana GC memisahkan komponen berdasarkan perbedaan volatilitas dan interaksi dengan fase diam dalam kolom menggunakan gas pembawa, sedangkan HPLC memisahkan senyawa berdasarkan perbedaan

polaritas dan afinitas terhadap fase diam dan pelarut, sehingga masing-masing metode digunakan sesuai dengan sifat fisikokimia senyawa yang dianalisis, seperti metil ester dan methanol dengan GC, serta gliserol dan senyawa *non-volatil* dengan HPLC.

Penggunaan GC dalam analisis mencakup penentuan kandungan metil ester (biodiesel) dan trigliserida dalam minyak jagung, pengukuran kadar methanol bebas dalam produk, serta analisis kemurnian gliserol apabila dilakukan derivatisasi. Sementara itu, HPLC diaplikasikan untuk menganalisis kemurnian gliserol, khususnya jika mengandung senyawa *non-volatil*, digunakan untuk senyawa yang tidak stabil pada suhu tinggi sehingga tidak sesuai untuk dianalisis dengan GC, serta efektif dalam memisahkan komponen minor berupa kontaminan polar dalam campuran,

2.3.2. Pengendalian Kualitas Proses

Pengendalian kualitas proses adalah rangkaian proses yang dimulai dari pengolahan bahan baku hingga menjadi produk akhir, dengan memastikan bahwa kualitas produk yang dihasilkan memenuhi standar yang telah ditetapkan. Dalam pengendalian kualitas proses ini, pengawasan dilakukan dari tahap bahan baku hingga produk jadi. Pengawasan dan kontrol ini melibatkan penggunaan alat-alat pengukur, perangkat pengendali, serta sistem komputer, di samping intervensi manusia seperti operator pabrik yang bertanggung jawab mengatur jalannya operasi yang berpusat pada *control room*.

Alat pengendali di *control room* berfungsi secara otomatis dengan menggunakan indikator. Indikator ini telah diatur untuk parameter seperti aliran, pengendalian level, dan pengendalian suhu. Jika terjadi penyimpangan atau ketidaksesuaian selama proses, sistem akan memberikan sinyal berupa alarm, lampu indikator, dan lainnya. Oleh karena itu, penyimpangan tersebut perlu disesuaikan kembali ke kondisi awal. Alat pengendali yang perlu diatur pada kondisi tertentu adalah:

1. *Level Control*, alat ini dipasang di bagian atas tangka dan berfungsi untuk mengatur ketinggian fluida. Jika kondisi tidak sesuai dengan yang diatur, alarm suara dan lampu akan menyala sebagai tanda peringatan.
2. *Flow Control*, alat ini digunakan untuk mengatur laju aliran atau membatasi tekanan dalam sistem perpipaan. *Flow control* biasanya dipasang pada katup di setiap keluaran alat
3. *Level Indicator*, alat ini digunakan untuk mengatur ketinggian fluida dalam tangka berdasarkan Tingkat ketinggian air.
4. *Temperature Indicator*, alat ini digunakan untuk mengontrol suhu pada berbagai peralatan proses seperti reaktor, *heater*, evaporator dan *cooler* sesuai dengan suhu yang diinginkan

Dengan penerapan pengawasan dan pengendalian yang baik selama proses produksi, diharapkan produk yang dihasilkan memiliki kualitas yang sesuai dengan standar, kuantitas sesuai target dan waktu produksi sesuai dengan jadwal yang telah direncanakan. Untuk itu, pengendalian dan

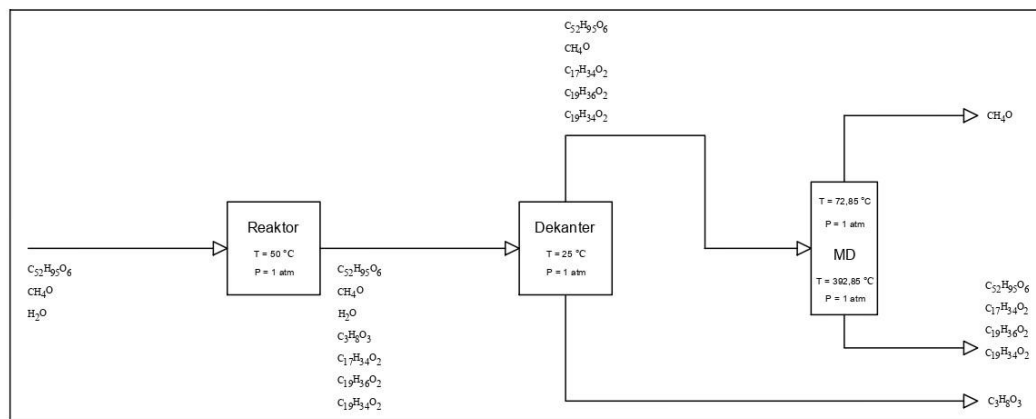
pengawasan selama proses produksi sangat penting dilakukan sebelum produk akhir didistribusikan.

BAB III

PERANCANGAN PROSES

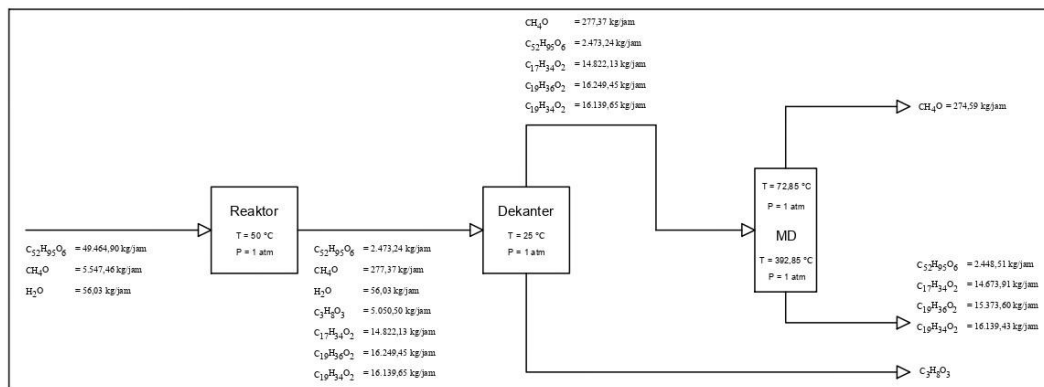
3.1. Diagram Alir Proses dan Material

3.1.1. Diagram Alir Kualitatif



Gambar 3.1 Diagram Alir Kualitatif

3.1.2. Diagram Alir Kuantitatif



Gambar 3.2 Diagram Alir Kuantitatif

3.2. Uraian Proses

3.2.1. Tahap Persiapan Bahan Baku

Tahap awal dalam proses produksi gliserol adalah persiapan bahan baku, yang meliputi minyak jagung atau trigliserida, metanol, dan air. Minyak jagung dialirkan dari tangki penyimpanan dengan laju alir 49.464,90 kg/jam, sedangkan metanol dan air masing-masing dialirkan sebesar 5.547,46 kg/jam dan 56,03 kg/jam. Sebelum masuk ke dalam reaktor, seluruh bahan baku dikondisikan pada suhu dan tekanan operasi yang sesuai agar dapat tercampur secara homogen dan mendukung jalannya reaksi secara optimal. Sistem pemompaan digunakan untuk mengalirkan bahan baku menuju reaktor secara kontinyu.

3.2.2. Tahap Reaksi (Pembentukan Produk)

Proses reaksi berlangsung di dalam reaktor pada suhu 50°C dan tekanan 1 atm, dengan memanfaatkan reaksi transesterifikasi antara trigliserida dan metanol. Reaksi ini menghasilkan biodiesel sebagai produk samping serta gliserol sebagai produk utama. Produk keluaran dari reaktor berupa campuran senyawa yang terdiri dari sisa trigliserida, sisa metanol, air, gliserol, serta metil ester. Reaktor yang digunakan beroperasi secara kontinyu agar konversi reaksi berlangsung stabil dan efisien dalam skala industri.

3.2.3. Tahap Pemisahan Awal (Dekanter)

Produk keluaran dari reaktor yang masih berupa campuran selanjutnya dialirkan menuju unit dekanter. Pemisahan ini dilakukan berdasarkan fasa yang terbentuk yaitu fasa organik dan fasa anorganik. Fasa organik yang terdiri dari

trigliserida, metanol, dan metil ester. Sedangkan fasa anorganik yang terdiri dari gliserol dan air. Proses dekanter berlangsung pada suhu 25°C dan tekanan 1 atm. Gliserol menjadi produk utama keluaran dekanter yang berhasil dipisahkan dari campuran senyawa trigliserida, metil ester, dan metanol. Sementara itu senyawa lain seperti trigliserida, metil ester, dan metanol dilanjutkan ke tahap pemisahan menggunakan menara distilasi untuk memisahkan methanol dari campuran lainnya yang mana sebagian methanol dialirkan sebagai bahan umpan balik ke reaktor, guna meningkatkan efisiensi penggunaan bahan baku dan sisanya ikut tercampur dengan senyawa lainnya yang menjadi produk samping.

3.2.4. Tahap Pemurnian (Menara Distilasi)

Campuran dari hasil pemisahan awal kemudian diproses dalam unit pemurnian yang menggunakan menara distilasi dua tahap. Tahap pertama distilasi berlangsung pada suhu $72,85^{\circ}\text{C}$ dan tahap kedua berlangsung pada suhu tinggi yaitu $392,85^{\circ}\text{C}$, dengan tekanan operasi masing-masing 1 atm. Pemisahan dilakukan berdasarkan perbedaan titik didih atau volatilitas dari komponen-komponen dalam campuran. Metanol yang memiliki titik rendah dipisahkan terlebih dahulu, menghasilkan metanol murni yang dapat dimanfaatkan kembali. Selanjutnya sisa metanol dan metil ester terpisah melalui tahapan suhu yang lebih tinggi. Produk yang dihasilkan dari tahap ini yaitu biodiesel yang selanjutnya dialirkan ke tangki penyimpanan sebagai produk samping.

3.2.5. Tahap Pembentukan Produk Akhir

Gliserol yang telah dipisahkan melalui proses pemurnian selanjutnya dialirkan menuju unit penyimpanan sebagai produk akhir. Gliserol yang dihasilkan memiliki laju alir sebesar 16.139,43 kg/jam dan telah memenuhi standar kemurnian untuk digunakan sebagai bahan baku industri atau produk komersial. Selain itu, metil ester yang turut dihasilkan juga dapat dimanfaatkan sebagai produk samping bernilai ekonomis, seperti biodiesel. Metanol yang terpisah akan digunakan kembali dalam proses reaksi sebagai *recycle*. Seluruh rangkaian proses dirancang untuk mencapai efisiensi maksimum dalam konversi bahan baku menjadi produk, sekaligus meminimalkan limbah dan meningkatkan keberlanjutan proses produksi.

3.3. Spesifikasi Alat

3.3.1. Spesifikasi Reaktor

Tabel 3.1 Spesifikasi Reaktor

Konstruksi dan Material	
Kode	R-01 dan R-02
Fungsi :	Tempat mereaksikan trigliserida dengan metanol
Jenis :	Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB)
Mode Operasi :	Kontinyu
Jumlah :	2

Lanjutan Tabel 3.1 Spesifikasi Reaktor

Kondisi Operasi	
Suhu, °C :	50°C
Tekanan, atm :	1 atm
Kondisi Proses :	Non-adiabatis
Konstruksi dan Material	
Bahan konstruksi :	<i>Carbon Steel</i>
Diameter (ID) <i>shell</i> , m :	3,330 m
Tebal <i>shell</i> , in :	0,103 in
Tinggi total, m :	4,692 m
Jenis <i>head</i> :	<i>Torispherical Dished</i>
Spesifikasi Khusus	
Jenis pengaduk :	<i>Flat-blade turbin</i>
Ukuran pengaduk :	Diameter : 1,110 m Tinggi : 1,110 m Tebal : 0,222 m
Kecepatan pengaduk, rpm :	43,717
Jumlah <i>baffle</i> :	4
Ukuran <i>baffle</i> :	Lebar <i>baffle</i> : 0,333 m
Jenis <i>coolant</i> :	Air pendingin
Kebutuhan <i>coolant</i> , kg/jam :	32.017 kg/jam
Mode transfer panas :	Jaket
U_D , W/m ² .K:	0,3 W/m ² .K
Luas area transfer panas, ft ² :	157,255 ft ²
Tebal jaket, m :	3,354 m
Katalis	
Jenis katalis :	<i>Amberlyst A26-OH</i>
Bentuk katalis :	Butiran sferik
Ukuran katalis, mm :	0,8 mm
Kebutuhan katalis, kg/tahun :	556,25 kg/tahun

3.3.2. Spesifikasi Alat Pemisah

a. Dekanter

Tabel 3.2 Spesifikasi Dekanter

Spesifikasi <i>Decanter</i>	
Fungsi	Memisahkan bahan organik dan anorganik yang berasal dari reaktor
Jenis alat	Dekanter vertikal
Suhu Operasi	298,15 K
Volume	3,1820 m ³
Diameter	0,4503 m
Tebal dinding	0,0015 m
Head	
Tebal head:	0,0047 m
Diamter luar	0,4503 m
Jari-jari kelengkungan internal	0,0285 m
Diameter dalam	0.4408 m
Kedalaman	0.0739 m
Panjang <i>Head</i>	0.1294 m
Tinggi dekanter	1.6101 m
Bahan konstruksi	Baja karbon
Harga	\$4.400,00

b. Menara distilasi

Tabel 3.3 Spesifikasi Menara Distilasi

Menara Distilasi	
Fungsi	Memisahkan methanol dari minyak jagung dan metil ester
Jenis alat	Menara Sieve

Lanjutan Tabel 3.3 Spesifikasi Menara Distilasi

Kondisi Operasi	
Puncak Menara	
Tekanan	1,01 bar
Titik embun	653 K
Suhu didih	346 K
Umpan	
Tekanan	1,01 bar
Suhu didih	439 K
Dasar Menara	
Tekanan	1,12 bar
Suhu didih	666 K
Jumlah plate minimum	3
<i>Reflux</i> minimum	0,1047
<i>Reflux</i> operasi	0,1309
Jumlah <i>plate</i> ideal	9
Jumlah <i>plate</i> aktual	61
Diameter menara	0,6096 m
Tinggi menara	37,8625 m
Bahan konstruksi	Baja karbon
Harga	\$341.400,00

3.3.3. Spesifikasi Alat Penyimpanan Bahan

Tabel 3.4 Spesifikasi Alat Penyimpanan Bahan

Tangki	T-01	T-02	T-03
Fungsi	Menyimpan Minyak Jagung	Menyimpan Metanol	Menyimpan Biodiesel
Lama Penyimpanan	15 hari	15 hari	15 hari
Fasa	Cair	Cair	Cair
Jumlah Tangki	1	1	1
Jenis tangki	Silinder tegak	Silinder tegak	Silinder tegak
Kondisi Operasi	Suhu : 30 °C Tekanan : 1 atm	Suhu : 30 °C Tekanan : 1 atm	Suhu : 30 °C Tekanan : 1 atm
Spesifikasi	Bahan konstruksi : Baja Karbon Volume tangki : 7.776,56 m ³ Diameter (m) : 24,384 Tinggi (m) : 18,288 Tebal (in) : 0,69	Bahan konstruksi : Baja Karbon Volume tangki: 8.461,55 m ³ Diameter (m) : 24,384 Tinggi (m) : 18,288 Tebal (in) : 0,69	Bahan konstruksi : Baja Karbon Volume tangki: 7972,39 m ³ Diameter (m) : 24,384 Tinggi (m) : 18,288 Tebal (in) : 0,69
Harga (\$)	\$74.100	\$77.300	\$75.000

Lanjutan Tabel 3.4 Alat Penyimpanan Bahan

Tangki	T-04	Akumulator
Fungsi	Menyimpan Gliserol	Menampung embunan yang berasal dari kondensor metanol dengan campuran trigliserida
Lama Penyimpanan	15 hari	10 menit
Fasa	Cair	Cair
Jumlah Tangki	1	1
Jenis tangki	Silinder tegak	Silinder horizontal
Kondisi Operasi	Suhu : 30 °C Tekanan : 1 atm	Suhu : 165,85 °C Tekanan : 1 atm
Spesifikasi	Bahan konstruksi : Baja Karbon Volume tangki: 7.491,10 m ³ Diameter (m) : 24,384 Tinggi (m) : 18,288 Tebal (in) : 0,69	Bahan konstruksi : Baja Karbon Volume tangki : 0,3591 m ³ Diameter (m) : 0,5342 m Panjang (m) : 1,6027 m
Harga (\$)	\$72.700	\$200

3.3.4. Spesifikasi Alat Transportasi Bahan

Tabel 3.5 Spesifikasi Alat Transfer Bahan

Simbol	P-01	P-02	P-03
Fungsi	Memompa bahan baku minyak jagung dari Tangki 1 bahan baku ke Reaktor 1 melewati HE-01	Memompa bahan baku methanol dari Tangki 2 bahan baku ke Reaktor 1 melewati HE-02	Memompa bahan hasil keluaran dari Reaktor 1 ke Reaktor 2
Bahan	$C_{52}H_{95}O_6$ H_2O	CH_4O H_2O	$C_{52}H_{95}O_6$, CH_4O , H_2O , $C_3H_8O_3$, $C_{17}H_{34}O_2$, $C_{19}H_{36}O_2$ $C_{19}H_{34}O_2$
Jenis Pompa	Pompa Sentrifugal	Pompa Sentrifugal	Pompa Sentrifugal
Viskositas, kg/m.s	0,000095	0,000057	0,0212
Kapasitas, m³/jam	53,99	58,75	612,48
Pump Head, m	7,96	32,02	24,15
Suhu Fluida, K	303,15	303,15	323,15
Instalasi	Horizontal	Horizontal	Horizontal
Daya Motor, hp	3	1,5	10
Bahan	Baja Komersial	Baja Komersial	Baja Komersial
Jumlah	2	2	2

Lanjutan Tabel 3.5 Spesifikasi Alat Transfer Bahan

Simbol	P-04	P-05	P-06
Fungsi	Memompa bahan hasil keluaran dari Reaktor 2 ke Dekanter 1 melewati CL-01	Memompa bahan hasil bawah keluaran dari Dekanter 1 ke Tangki 4 Penyimpanan	Memompa bahan hasil atas keluaran dari Dekanter 1 ke MD-01 melewati HE-03
Bahan	$C_{52}H_{95}O_6$, CH_4O , H_2O , $C_3H_8O_3$, $C_{17}H_{34}O_2$, $C_{19}H_{36}O_2$, $C_{19}H_{34}O_2$	$C_3H_8O_3$, H_2O	$C_{52}H_{95}O_6$, CH_4O , $C_{17}H_{34}O_2$, $C_{19}H_{36}O_2$, $C_{19}H_{34}O_2$
Jenis Pompa	Pompa Sentrifugal	Pompa Sentrifugal	Pompa Sentrifugal
Viskositas, kg/m.s	0,0212	0,00045	0,0038
Kapasitas, m³/jam	612,48	52,55	39,99
Pump Head, m	20,45	92,54	35,39
Suhu Fluida, K	323,15	298,15	298,15
Instalasi	Horizontal	Horizontal	Horizontal
Daya Motor, hp	10	3	7,5
Bahan	Baja Komersial	Baja Komersial	Baja Komersial
Jumlah	2	2	2

Lanjutan Tabel 3.5 Spesifikasi Alat Transfer Bahan

Simbol	P-07	P-08	P-09
Fungsi	Memompa sisa methanol hasil keluaran atas MD-01 ke Reaktor 1	Memompa bahan hasil bawah keluaran MD-01 ke Tangki 3 Penyimpanan melewati CL-03	Memompa bahan produk dari Tangki 3 Penyimpanan ke penjualan
Bahan	CH ₄ O	C ₅₂ H ₉₅ O ₆ , C ₃ H ₈ O ₃ , C ₁₇ H ₃₄ O ₂ , C ₁₉ H ₃₆ O ₂ , C ₁₉ H ₃₄ O ₂	C ₅₂ H ₉₅ O ₆ , C ₃ H ₈ O ₃ , C ₁₇ H ₃₄ O ₂ , C ₁₉ H ₃₆ O ₂ , C ₁₉ H ₃₄ O ₂
Jenis Pompa	Pompa Sentrifugal	Pompa Sentrifugal	Pompa Sentrifugal
Viskositas, kg/m.s	0,0023	0,00013	0,00013
Kapasitas, m³/jam	14,56	365,24	478,49
<i>Pump Head</i>, m	35,32	36,75	27,22
Suhu Fluida, K	346	666	303,15
Instalasi	Horizontal	Horizontal	Horizontal
Daya Motor, hp	0,5	15	10
Bahan	Baja Komersial	Baja Komersial	Baja Komersial
Jumlah	2	2	2

Lanjutan Tabel 3.5 Spesifikasi Alat Transfer Bahan

Simbol	P-10
Fungsi	Memompa bahan produk dari Tangki 4 Penyimpanan ke penjualan
Bahan	C ₃ H ₈ O ₃ dan H ₂ O
Jenis Pompa	Pompa Sentrifugal
Viskositas, kg/m.s	0,00045
Kapasitas, m³/jam	52,43
<i>Pump Head</i>, m	31,82
Suhu Fluida, K	303,15
Instalasi	Horizontal
Daya Motor, hp	1
Bahan	Baja Komersial
Jumlah	2

3.3.5. Spesifikasi Alat Penukar Panas

1. Heater I

Jenis Heat Exchanger : Shell and Tube

Tabel 3.6 Spesifikasi Alat Heater I

Kondisi Operasi				
Posisi	Shell		Tube	
Fluida Cair				
Tipe fluida	Dingin		Panas	
	Masuk	Keluar	Masuk	Keluar
Laju alir fluida, kg/jam	49.520,93			
Laju alir <i>steam</i> , kg/jam			940,61	
Suhu, K	323,15	303,15	393,15	393,15
Tekanan, atm	1		1	

Desain Mekanis			
Shell		Tube	
Panjang, ft	6	Panjang, in	18
<i>Passes</i>	1	<i>Passes</i>	2
ID, in	0,58	OD, in	0,75
Jarak <i>baffle</i> , m	0,45		
		A, ft ²	259,40
		BWG	14
		<i>Pitch</i>	<i>Triangular Pitch</i>
$\Delta P_{cal}/\Delta P_{allow}$, psi	0,02	$\Delta P_{cal}/\Delta P_{allow}$, psi	0,000012
Rd_{cal}/Rd_{allow}	3,28	Rd_{cal}/Rd_{allow}	3,28

2. Heater II

Jenis *Heat Exchanger* : *Double Pipe*

Tabel 3.7 Spesifikasi Alat *Heater II*

Kondisi Operasi				
Posisi	Shell		Tube	
Fluida Cair				
Tipe fluida	Panas		Dingin	
	Masuk	Keluar	Masuk	Keluar
Laju alir fluida, kg/jam			5.603,50	
Laju alir <i>steam</i> , kg/jam	127,98			
Suhu, K	393,15	393,15	323,15	303,15
Tekanan, atm	1		1	

Desain Mekanis			
<i>Annulus</i>		<i>Tube</i>	
Panjang, m	3,65	Panjang, m	1,43
<i>Hairpin</i>	2	<i>Hairpin</i>	1,25
ID, in	2,07	ID, in	1,38
		OD, in	1,66
		A, ft ²	21,17
$\Delta P_{cal}/\Delta P_{allow}$, psi	0,02	$\Delta P_{cal}/\Delta P_{allow}$, psi	0,000012
Rd_{cal}/Rd_{allow}	3,28	Rd_{cal}/Rd_{allow}	3,28

3. Heater III

Jenis *Heat Exchanger* : *Shell and Tube*

Tabel 3.8 Spesifikasi Alat *Heater* III

Kondisi Operasi				
Posisi	Shell		Tube	
Fluida Cair				
Tipe fluida	Dingin		Panas	
	Masuk	Keluar	Masuk	Keluar
Laju alir fluida, kg/jam	49.961,86			
Laju alir <i>steam</i> , kg/jam			17.200,11	
Suhu, K	439	298,15	543,15	543,15
Tekanan, atm	1		1	

Desain Mekanis			
Shell		Tube	
Panjang, ft	8	Panjang, in	42
<i>Passes</i>	1	<i>Passes</i>	2
ID, in	0,58	OD, in	0,75
Jarak <i>baffle</i> , m	1,06		
		A, ft ²	2292,68
		BWG	14
		<i>Pitch</i>	<i>Triangular Pitch</i>
$\Delta P_{cal}/\Delta P_{allow}$, psi	0,0004	$\Delta P_{cal}/\Delta P_{allow}$, psi	0,0001
Rd_{cal}/Rd_{allow}	3,31	Rd_{cal}/Rd_{allow}	3,31

4. Cooler I

Jenis *Heat Exchanger* : *Shell and Tube*

Tabel 3.9 Spesifikasi Alat *Cooler* I

Kondisi Operasi				
Posisi	Shell		Tube	
Fluida Cair				
Tipe fluida	Panas		Dingin	
	Masuk	Keluar	Masuk	Keluar
Laju alir fluida, kg/jam	55.068,40			
Laju alir air, kg/jam			86.099,60	
Suhu, K	323,15	298,15	313,15	293,15
Tekanan, atm	1		1	

Desain Mekanis			
Shell		Tube	
Panjang, ft	16	Panjang, in	60
Passes	1	Passes	2
ID, in	0,58	OD, in	0,75
Jarak baffle, m	1,52		
		A, ft ²	9945,10
		BWG	14
		Pitch	Triangular Pitch
ΔP _{cal} /ΔP _{allow} , psi	0,0006	ΔP _{cal} /ΔP _{allow} , psi	0,003
Rd _{cal} /Rd _{allow}	3,44	Rd _{cal} /Rd _{allow}	3,44

5. Cooler II

Jenis *Heat Exchanger* : *Double Pipe*

Tabel 3.10 Spesifikasi Alat *Cooler* II

Kondisi Operasi				
Posisi	Shell		Tube	
Fluida Cair				
Tipe fluida	Panas		Dingin	
	Masuk	Keluar	Masuk	Keluar
Laju alir fluida, kg/jam	277,37			
Laju alir air, kg/jam			121,30	
Suhu, K	346	323,15	313,15	303,15
Tekanan, atm	1		1	

Desain Mekanis			
Annulus		Tube	
Panjang, m	3,65	Panjang, m	1,43
Hairpin	2	Hairpin	1,25
ID, in	2,07	ID, in	1,38
		OD, in	1,66
		A, ft²	2,34
$\Delta P_{cal}/\Delta P_{allow}$, psi	0,007	$\Delta P_{cal}/\Delta P_{allow}$, psi	0,0006
Rd_{cal}/Rd_{allow}	11,8	Rd_{cal}/Rd_{allow}	11,8

6. Cooler III

Jenis *Heat Exchanger* : *Shell and Tube*

Tabel 3.11 Spesifikasi Alat *Cooler* III

Kondisi Operasi				
Posisi	Shell		Tube	
Fluida Cair				
Tipe fluida	Panas		Dingin	
	Masuk	Keluar	Masuk	Keluar
Laju alir fluida, kg/jam	32.498,80			
Laju alir air, kg/jam			982.699,35	
Suhu, K	666	303,15	313,15	293,15
Tekanan, atm	1		1	

Desain Mekanis			
Shell		Tube	
Panjang, ft	12	Panjang, in	66
Passes	1	Passes	2
ID, in	0,58	OD, in	0,75
Jarak baffle, m	1,67		
		A, ft²	8510.21
		BWG	14
		Pitch	Triangular Pitch
ΔP _{cal} /ΔP _{allow} , psi	0,00004	ΔP _{cal} /ΔP _{allow} , psi	0,1
Rd _{cal} /Rd _{allow}	3,62	Rd _{cal} /Rd _{allow}	3,62

7. Kondensor

Jenis *Heat Exchanger* : *Double Pipe*

Tabel 3.12 Spesifikasi Alat Kondensor

Kondisi Operasi				
Posisi	Shell		Tube	
Fluida Cair				
Tipe fluida	Panas		Dingin	
	Masuk	Keluar	Masuk	Keluar
Laju alir fluida, kg/jam	1.496,99			
Laju alir air, kg/jam			9.158,47	
Suhu, K	653	346	313,15	288,15
Tekanan, atm	1		1	

Desain Mekanis			
Annulus		Tube	
Panjang, m	3,65	Panjang, m	1,43
Hairpin	2	Hairpin	1,25
ID, in	2,07	ID, in	1,38
		OD, in	1,66
		A, ft ²	25,66
$\Delta P_{cal}/\Delta P_{allow}$, psi	0,002	$\Delta P_{cal}/\Delta P_{allow}$, psi	0,8
Rd_{cal}/Rd_{allow}	0,06	Rd_{cal}/Rd_{allow}	0,06

8. Reboiler

Jenis *Heat Exchanger* : *Shell and Tube*

Tabel 3.13 Spesifikasi Alat Reboiler

Kondisi Operasi				
Posisi	Shell		Tube	
Fluida Cair				
Tipe fluida	Dingin		Panas	
	Masuk	Keluar	Masuk	Keluar
Laju alir fluida, kg/jam	50.520,83			
Laju alir <i>dowtherm</i> , kg/jam			333.868,12	
Suhu, K	444	666	673,15	673,15
Tekanan, atm	1		1	

Desain Mekanis			
Shell		Tube	
Panjang, ft	10	Panjang, in	66
Passes	1	Passes	2
ID, in	0,58	OD, in	0,75
Jarak <i>baffle</i> , m	1,67		
		A, ft ²	7146,65
		BWG	14
		Pitch	Triangular Pitch
$\Delta P_{cal}/\Delta P_{allow}$, psi	0,000003	$\Delta P_{cal}/\Delta P_{allow}$, psi	0,2798
Rd_{cal}/Rd_{allow}	2,22	Rd_{cal}/Rd_{allow}	2,22

3.4. Neraca Massa

Tabel 3.14 Neraca Massa Reaktor Tangki Berpengaduuk

Komponen	Masuk	Keluar
	Kg/jam	Kg/jam
$C_{52}H_{95}O_6$	49.464,9007	2.473,2450
CH_4O	5.547,4655	277,3732
H_2O	56,0350	56,0350
$C_3H_8O_3$	0	5.050,5050
$C_{17}H_{34}O_2$	0	14.822,1343
$C_{19}H_{36}O_2$	0	16.249,4510
$C_{19}H_{34}O_2$	0	16.139,6574
Total	55.068,4012	55.068,4012

Tabel 3.15 Neraca Massa di Dekanter

Komponen	Masuk	Keluar Atas	Keluar Bawah
	Kg/jam	Kg/jam	Kg/jam
$C_{52}H_{95}O_6$	2.473,2450	2.473,2450	0
CH_4O	277,3732	277,3732	0
H_2O	56,0350	0	56,0350
$C_3H_8O_3$	5.050,5050	0	5.050,5050
$C_{17}H_{34}O_2$	14.822,1343	14.822,1343	0
$C_{19}H_{36}O_2$	16.249,4510	16.249,4510	0
$C_{19}H_{34}O_2$	16.139,6574	16.139,6574	0
Total	55.068,4012	49.961,8611	5.106,5400
	55.068,4012	55.068,4012	

Tabel 3.16 Neraca Massa di Menara Distilasi

Komponen	Masuk	Keluar Atas	Keluar Bawah
	Kg/jam	Kg/jam	Kg/jam
$C_{52}H_{95}O_6$	2.473,2450	24,7324	2.448,5125
CH_4O	277,3732	274,5995	2,7737
H_2O	0	0	0
$C_3H_8O_3$	0	0	0
$C_{17}H_{34}O_2$	14.822,1343	148,2213	14.673,91304
$C_{19}H_{36}O_2$	16.249,4510	875,8492	15.373,6017
$C_{19}H_{34}O_2$	16.139,6574	0,2261	16.139,43132
Total	49.961,8611	1,323,6287	48.635,4587
	49.961,8611	49.961,8611	

3.5. Neraca Panas

3.5.1. Reaktor

Tabel 3.17 Neraca Panas Reaktor

Komponen	Masuk (kJ/jam)			Keluar (kJ/jam)	
	$Q_{reaktan}$	Q_{reaksi}	$Q_{pendingin}$	Q_{produk}	$Q_{pendingin}$
$C_{52}H_{95}O_6$	450.536	-	-	200	-
CH_4O	468.144	-	-	1.080	-
H_2O	447.190	-	-	654	-
$C_3H_8O_3$	-	-	-	7.797	-
$C_{17}H_{34}O_2$	-	-	-	60.378	-
$C_{19}H_{36}O_2$	-	-	-	627.770	-
$C_{19}H_{34}O_2$	-	-	-	5.454	-
Total	1.365.870	7.267,01	669.804	703.333	1.339.608
	2.042.941			2.042.941	

3.5.2. Heat Exchanger

1. Heater I

Tabel 3.18 Neraca Panas *Heater I*

Komponen	Masuk (kJ/jam)	Keluar (kJ/jam)
	Q1	Q2
C ₅₂ H ₉₅ O ₆	3.099.947,98	5.166.579,97
H ₂ O	7.055,74	11.759,57
<i>Steam</i>	2.545.226,79	473.890,97
Total	5.652.230,51	5.652.230,51

2. Heater II

Tabel 3.19 Neraca Panas *Heater II*

Komponen	Masuk (kJ/jam)	Keluar (kJ/jam)
	Q1	Q2
CH ₄ O	415.695,86	692.826,43
H ₂ O	7.055,74	11.759,57
<i>Steam</i>	346.313,94	64.479,54
Total	769.065,54	769.065,54

3. Heater III

Tabel 3.20 Neraca Panas *Heater III*

Komponen	Masuk (kJ/jam)	Keluar (kJ/jam)
	Q1	Q2
CH ₄ O	17.320,66	114.905,26
C ₅₂ H ₉₅ O ₆	129.164,50	856.877,29

Lanjutan Tabel 3.20 Neraca Panas *Heater* III

C ₁₇ H ₃₄ O ₂	1.778.656,13	11.799.604,74
C ₁₉ H ₃₆ O ₂	2.421.168,20	16.062.029,86
C ₁₉ H ₃₄ O ₂	2.376.564,56	15.766.129,28
<i>Steam</i>	66.109.997,14	28.233.324,75
Total	72.832.871,19	72.832.871,19

4. *Cooler* I

Tabel 3.21 Neraca Panas *Cooler* I

Komponen	Masuk (kJ/jam)	Keluar (kJ/jam)
	Q1	Q2
CH ₄ O	11.372,30	5.686,15
C ₅₂ H ₉₅ O ₆	259.690,73	129.845,36
C ₁₇ H ₃₄ O ₂	3.561.758,89	1.780.879,45
C ₁₉ H ₃₆ O ₂	4.990.043,92	2.495.021,96
C ₁₉ H ₃₄ O ₂	4.901.694,66	2.450.847,33
C ₃ H ₈ O ₃	669.191,92	334.595,96
H ₂ O	2.101,31	1.050,66
Air Pendingin	7.197.926,87	14.395.853,74
Total	21.593.780,61	21.593.780,61

5. Cooler II

Tabel 3.22 Neraca Panas Cooler II

Komponen	Masuk (kJ/jam)	Keluar (kJ/jam)
	Q1	Q2
CH ₄ O	16.165,31	11.094,93
Air Pendingin	15.211,15	20.281,53
Total	31.376,46	31.376,46

6. Cooler III

Tabel 3.23 Neraca Panas Cooler III

Komponen	Masuk (kJ/jam)	Keluar (kJ/jam)
	Q1	Q2
C ₅₂ H ₉₅ O ₆	2.276,29	173,83
C ₁₇ H ₃₄ O ₂	4.622.882,60	353.026,54
C ₁₉ H ₃₆ O ₂	44.227.522,71	3.377.435,87
C ₁₉ H ₃₄ O ₂	40.093.349,52	3.792.365,66
Air Pendingin	82.153.665,61	164.307.331,23
Total	171.099.697,13	171.099.697,13

7. Kondenser

Tabel 3.24 Neraca Panas Kondenser

Komponen	Masuk (kJ/jam)	Keluar (kJ/jam)
	Q1	Q2
CH ₄ O	79.270,70	20.814,75
C ₅₂ H ₉₅ O ₆	58.780,21	4.258,89

Lanjutan Tabel 3.24 Neraca Panas Kondensor

$C_{17}H_{34}O_2$	189.337,01	58.618,60
$C_{19}H_{36}O_2$	1.266.695,29	553.487,99
$C_{19}H_{34}O_2$	281.57	123.52
Air Pendingin	574.236,61	1.531.297,64
Total	2.168.601,40	2.168.601,40

8. Reboiler

Tabel 3.25 Neraca Panas *Reboiler*

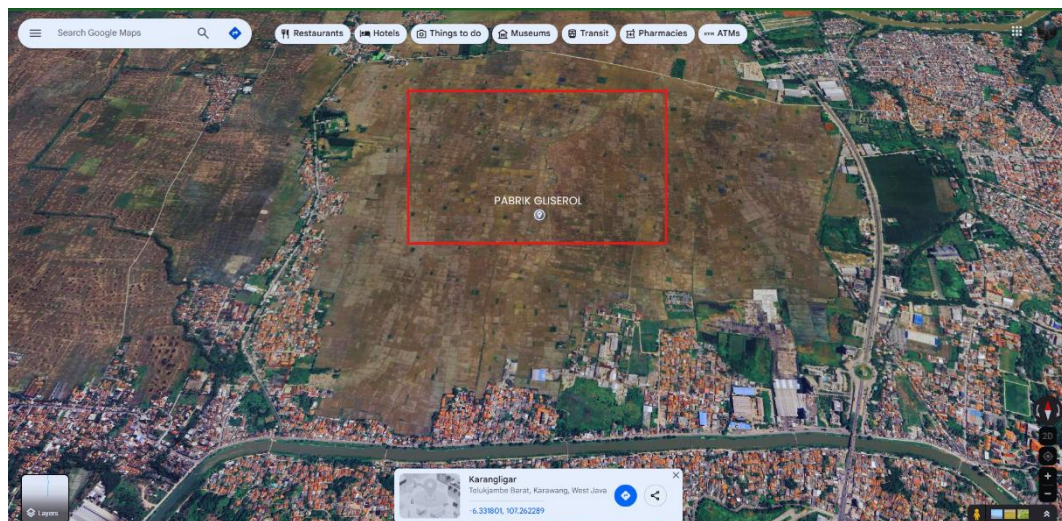
Komponen	Masuk (kJ/jam)	Keluar (kJ/jam)
	Q1	Q2
CH_4O	44.142,94	101.501,64
$C_{52}H_{95}O_6$	873.883,09	2.009.394,03
$C_{17}H_{34}O_2$	12.958.945,69	29.797.610,85
$C_{19}H_{36}O_2$	20.688.071,09	47.569.849,15
$C_{19}H_{34}O_2$	18.434.919,18	42.388.984,48
<i>Dowtherm</i>	341.124.011,12	272.256.632,96
Total	394.123.973,10	394.123.973,10

BAB IV

PERANCANGAN PABRIK

4.1. Lokasi Pabrik

Penentuan lokasi pabrik merupakan faktor krusial dalam tahap perancangan dan pendirian pabrik kimia, karena lokasi berperan besar terhadap efisiensi kegiatan operasional, biaya transportasi, kemudahan distribusi produk dan pasokan bahan baku, serta pengaruhnya terhadap lingkungan dan masyarakat sekitar. Lokasi yang tepat akan menunjang kelancaran proses produksi dan membantu mengurangi potensi risiko dalam jangka panjang.



Gambar 4.1 Lokasi Pabrik

Lokasi yang ditetapkan untuk pembangunan pabrik gliserol dengan bahan baku minyak jagung dan methanol berada di kabupaten Karawang , Provinsi Jawa Barat. Penentuan lokasi mempertimbangkan berbagai aspek penting, seperti kemudahan akses transportasi, potensi pemasaran, ketersediaan bahan baku dan bahan

pembantu, tenaga kerja, kondisi iklim, lingkungan sosial, kebutuhan serta potensi pengembangan lahan, ketersediaan air dan listrik, serta ketentuan dari pemerintah daerah sebagaimana dijelaskan pada bagian berikut :

4.1.1. Ketersediaan bahan baku/pembantu

Pemilihan lokasi pabrik gliserol di Karawang didasarkan pada pertimbangan ketersediaan bahan baku utama, yaitu minyak jagung dan methanol. Karawang merupakan Kawasan industri yang berkembang pesat dan berdekatan dengan PT. Nutrifood Indonesia, produsen minyak jagung, sehingga mempermudah pengadaan bahan baku dari segi waktu dan biaya transportasi. Di sisi lain, methanol mudah diperoleh karena Karawang terhubung dengan jaringan distribusi bahan kimia industri dari Jabodetabek, seperti Bekasi, Cikarang, dan Jakarta. Salah satu produsen methanol terbesar adalah PT. Kaltim Methanol Industri (KMI), yang mendistribusikan produknya ke wilayah Jawa Barat melalui distributor seperti PT. Lautan Luas Tbk. Ketersediaan methanol yang terjamin ini mendukung proses produksi berjalan lancar dan berkelanjutan.

4.1.2. Kemudahan akses transportasi

Wilayah lokasi pabrik di daerah Karawang memiliki konektivitas yang baik terhadap berbagai sarana transportasi utama. Lokasi ini berdekatan dengan Tol Jakarta-Cikampek melalui akses gerbang Tol Karawang-Cikampek. Selain itu, jaraknya relatif dekat dengan Pelabuhan Tanjung Priok (sekitar 80 km) dan Bandara Internasional Soekarno-Hatta (sekitar 90 km). tersedianya jalur

distribusi lokal maupun antarpulau menjadikan lokasi ini strategis dalam mendukung kelancaran pengiriman bahan baku, bahan pembantu, serta produk jadi ke pasar domestik maupun internasional.

4.1.3. Tenaga kerja

Kabupaten Karawang dikenal sebagai salah satu pusat industri utama di Jawa Barat, sehingga memiliki ketersediaan tenaga kerja yang terampil dan berpengalaman dalam bidang operasional pabrik. Selain itu, wilayah ini juga didukung oleh keberadaan lulusan dari berbagai sekolah kejuruan, politeknik, dan perguruan tinggi di sekitarnya yang dapat menjadi sumber tenaga kerja dengan latar belakang Pendidikan yang memadai.

4.1.4. Ketersediaan utilitas

Kebutuhan utilitas pabrik gliserol di kabupaten Karawang dapat dipenuhi melalui beberapa sumber. Pasokan air dapat diperoleh dari PDAM Tirta Tarum, sumber air tanah melalui sumur bor, maupun dari Sungai Citarum dengan pengolahan terlebih dahulu agar memenuhi standar proses industri. Untuk kebutuhan energi listrik, wilayah Karawang dilayani oleh jaringan PLN yang mampu mendukung operasional industri skala menengah hingga besar. Selain itu, infrastruktur telekomunikasi dan jaringan internet di daerah ini juga telah tersedia dengan baik sehingga mendukung kelancaran komunikasi dan sistem informasi di dalam pabrik.

4.1.5. Keadaan iklim

Wilayah Karawang berada pada zona iklim tropis dengan suhu rata-rata antara 27°C hingga 32°C, yang secara umum mendukung kegiatan industri sepanjang tahun.

4.1.6. Kondisi lingkungan dan sosial

Masyarakat di daerah Karawang umumnya bersikap positif terhadap kehadiran kegiatan industri, khususnya apabila industri tersebut mampu memberikan manfaat ekonomi bagi warga sekitar serta menjaga kelestarian lingkungan. Selain itu, penting bagi pihak perusahaan untuk menjalin komunikasi yang aktif dan transparan dengan masyarakat sekitar guna membangun hubungan harmonis dan mencegah potensi konflik di kemudian hari.

4.2. Tata Letak Pabrik

Tata letak pabrik merupakan susunan fisik seluruh fasilitas yang ada di dalam kawasan industri, mencakup unit proses utama, area penyimpanan, sistem utilitas, serta fasilitas pendukung lainnya. Tujuan dari penyusunan ini adalah untuk menjamin agar produksi berlangsung dengan efisien, aman, dan terorganisir. Dalam perancangan pabrik kimia, tata letak perlu dirancang agar alur bahan baku hingga produk akhir berjalan lancar, area yang berisiko tinggi dipisahkan, serta tersedia ruang untuk ekspansi di masa mendatang. Selain itu, jalur transportasi dan akses logistik juga harus diperhitungkan agar kegiatan operasional tidak mengalami hambatan. Berikut adalah pembagian utama dalam pengaturan tata letak pabrik :

4.2.1. Daerah perkantoran

Daerah perkantoran, laboratorium, dan fasilitas pendukung mencakup administrasi pabrik yang bertanggung jawab terhadap manajemen keuangan dan operasional. Laboratorium berfungsi untuk memastikan mutu dan komposisi bahan baku maupun produk akhir. Sementara itu, fasilitas pendukung bagi karyawan mencakup kantin, klinik, masjid, serta aula/ruang serbaguna.

4.2.2. Daerah proses dan ruang kendali

Daerah proses dan ruang kendali yaitu wilayah di mana seluruh aktivitas proses produksi berlangsung dan peralatan proses ditempatkan. Sementara itu, ruang kendali berfungsi sebagai pusat pemantauan dan pengendalian jalannya proses secara menyeluruh.

4.2.3. Daerah gudangan dan bengkel

Daerah gudangan, bengkel, dan garasi berfungsi untuk mendukung kelancaran operasional pabrik, dengan pergudangan sebagai tempat penyimpanan material, bengkel untuk perawatan peralatan, dan garasi sebagai lokasi penyimpanan serta servis ringan kendaraan operasional.

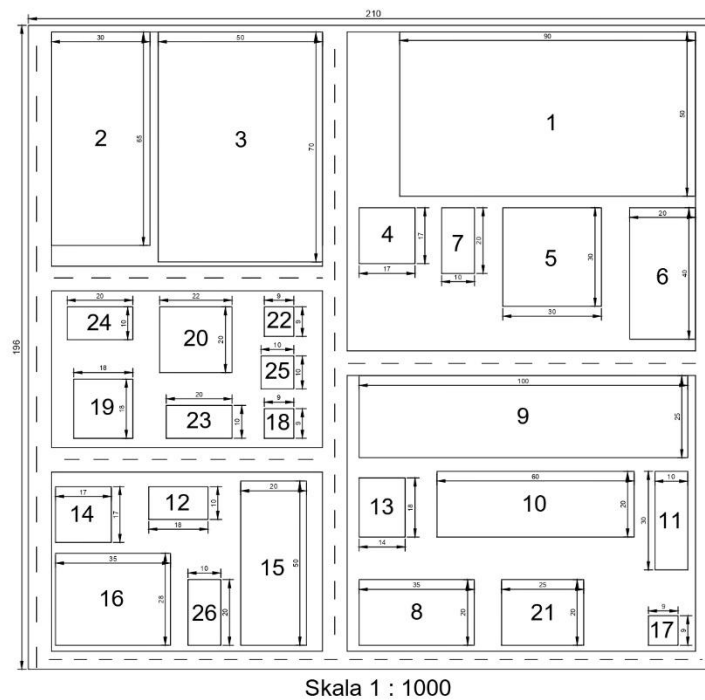
4.2.4. Daerah utilitas dan pemadam kebakaran

Daerah utilitas dan pemadam kebakaran, merupakan wilayah yang digunakan untuk menyediakan kebutuhan air dan Listrik guna mendukung proses produksi, sekaligus menjadi lokasi unit penanggulangan kebakaran sebagai bagian dari sistem keselamatan pabrik.

Rincian pembagian luas lahan untuk bangunan pabrik disajikan dalam tabel berikut :

Tabel 4.1 Rincian Luas Tanah dan Bangunan Pabrik

Skala 1:1000			
Luas Tanah 40.400 m ²			
No	Lokasi	Ukuran Tanah (m)	Ukuran Bangunan (m)
1.	Area Proses Produksi	100 x 60	90 x 50
2.	Area Perluasan Pabrik	65 x 30	
3.	Area Tangki Bahan Baku dan Produk	70 x 50	70 x 50
4.	Ruang Kendali	20 x 20	17 x 17
5.	Unit Utilitas	40 x 30	30 x 30
6.	Unit Pengolahan Limbah	50 x 30	40 x 20
7.	Kontrol Utilitas	15 x 20	10 x 20
8.	Kantor Utama	40 x 20	35 x 20
9.	Parkiran Truk	100 x 25	
10.	Parkiran Karyawan	60 x 20	
11.	Parkiran Tamu	30 x 10	
12.	Klinik	20 x 12,5	18 x 10
13.	Masjid	20 x 15	18 x 14
14.	Kantin	20 x 20	17 x 17
15.	Taman	50 x 20	
16.	Mess	40 x 30	35 x 28
17.	Pos Satpam Utama	10 x 10	9 x 9
18.	Pos Satpam Bahan Baku	10 x 10	9 x 9
19.	Bengkel	20 x 20	18 x 18
20.	Gudang	25 x 20	22 x 20
21.	Aula	30 x 20	25 x 20
22.	<i>Safety Room</i>	10 x 10	9 x 9
23.	Area Pemadam Kebakaran	30 x 10	20 x 10
24.	Laboratorium	25 x 20	20 x 20
25.	Ruang Timbang Truk	20 x 10	10 x 10
26.	Pusat Kebugaran	25 x 10	20 x 10
Total Luas, m ²		25.850 m ²	14.997 m ²



Gambar 4.2 Tata Letak Pabrik

Keterangan :

- | | |
|--------------------------------------|----------------------------|
| 1. Area proses | 14. Kantin |
| 2. Area perluasan pabrik | 15. Masjid |
| 3. Area tangki bahan baku dan produk | 16. Mess |
| 4. Ruang kendali | 17. Pos satpam utama |
| 5. Unit utilitas | 18. Pos satpam bahan baku |
| 6. Unit pengolahan limbah | 19. Bengkel |
| 7. Kontrol utilitas | 20. Gudang |
| 8. Kantor utama | 21. Aula |
| 9. Parkiran truk | 22. <i>Safety room</i> |
| 10. Parkiran karyawan | 23. Area pemadam kebakaran |
| 11. Parkiran tamu | 24. Laboratorium |
| 12. Klinik | 25. Ruang timbang truk |
| 13. Masjid | 26. Pusat kebugaran |

4.3. Tata Letak Mesin

Penataan mesin dan peralatan dilakukan untuk memastikan proses produksi berlangsung dengan efisien, aman, dan tanpa hambatan. Mesin diatur mengikuti alur proses, mulai dari memasukkan bahan baku hingga menjadi produk jadi. Dalam penempatannya, diperhatikan kemudahan dalam pengoperasian, perawatan, serta kelancaran pergerakan dan tenaga kerja. Jarak antar peralatan juga diatur agar tetap aman dan mudah dipantau. Adapun beberapa aspek yang harus dipertimbangkan dalam penyusunan tata letak mesin, yaitu :

4.3.1. Aliran bahan baku dan produk

Penempatan mesin harus disesuaikan dengan urutan proses produksi mulai dari tahap penerimaan bahan baku hingga menjadi produk akhir. Hal ini bertujuan untuk mencegah terjadinya lintasan saling bersilangan atau tidak efisien, sehingga dapat mempercepat proses produksi dan mengurangi biaya transportasi di dalam area pabrik.

4.3.2. Aliran udara

Sistem sirkulasi udara yang optimal diperlukan untuk mengontrol suhu dan kelembaban ruangan, serta menghindari akumulasi uap yang berpotensi berbahaya. Oleh karena itu, penempatan peralatan dan jalur ventilasi perlu dirancang agar mendukung aliran udara, baik secara alami maupun melalui sistem mekanis.

4.3.3. Pencahayaan

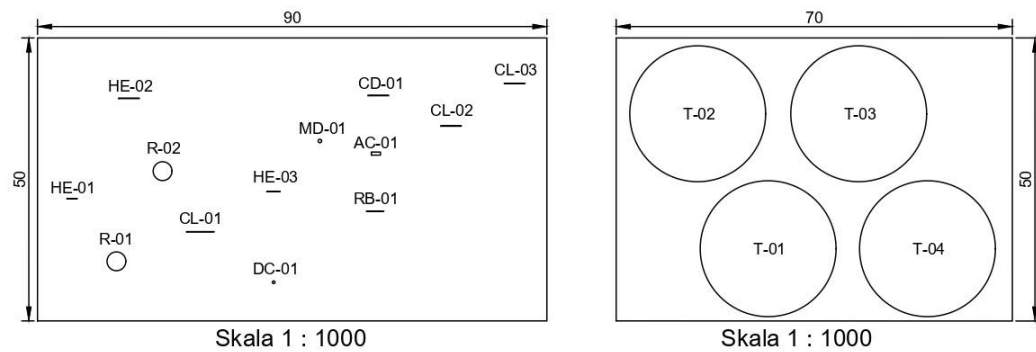
Penerangan yang memadai baik dari sumber cahaya alami maupun buatan sangat diperlukan untuk mendukung keamanan dan kenyamanan dalam bekerja. Area kerja, khususnya di sekitar peralatan proses harus memiliki tingkat pencahayaan yang cukup agar kegiatan operasional dapat dilakukan dengan aman.

4.3.4. Lalu lintas kendaraan dan manusia

Pengaturan jalur kendaraan seperti truk pengangkut serta jalur pekerja perlu dipisahkan dengan jelas agar tidak saling mengganggu. Pemisahan ini dilakukan untuk mencegah terjadinya kecelakaan dan memastikan kelancaran aktivitas di area produksi.

4.3.5. Jarak antar alat proses

Jarak antar alat proses masing-masing peralatan proses perlu diberikan jarak yang memadai guna mendukung kelancaran operasional, kemudahan dalam perawatan, serta akses evakuasi saat kondisi darurat. Selain itu, pengaturan jarak ini juga berperan dalam menjaga aliran udara dan mempermudah pengendalian proses.



Gambar 4.3 Tata Letak Mesin

Keterangan :

R : Reaktor	CD : Kondensor
DC : Dekanter	AC : Akumulator
MD : Menara Distilasi	RB : Reboiler
HE : <i>Heater</i>	T : Tangki
CL : <i>Cooler</i>	

4.4. Organisasi Perusahaan

4.4.1. Bentuk Perusahaan

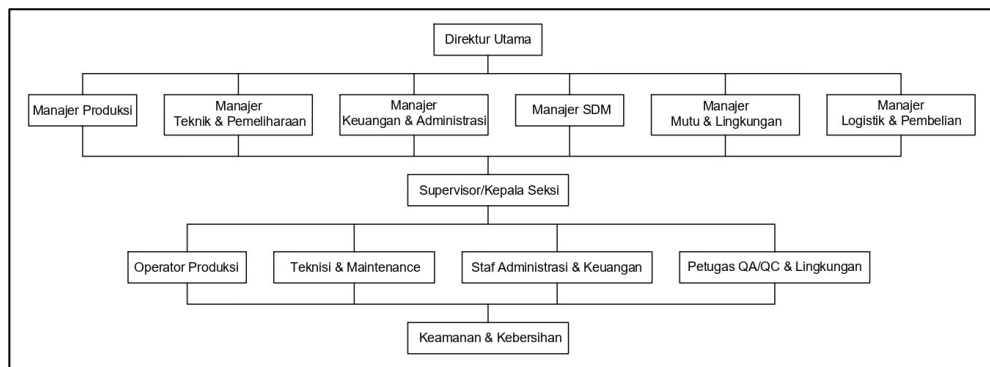
Dalam perancangan pabrik gliserol, bentuk perusahaan yang paling sesuai dan lazim digunakan pada industri kimia berskala besar adalah Perseroan Terbatas (PT). PT merupakan badan usaha yang memiliki status hukum resmi, dengan struktur modal yang terbagi dalam bentuk saham, dan kepemilikannya dipegang oleh para pemegang saham. Pendirian PT didasarkan pada suatu perjanjian, menjalankan kegiatan usaha dengan jumlah modal tertentu, serta memiliki tanggung jawab hukum yang terpisah dari para pemiliknya. Adapun alasan mengenai pabrik gliserol digolongkan sebagai Perusahaan berbentuk Perseroan Terbatas (PT) adalah sebagai berikut :

1. Skala produksi besar, kapasitas produksi sebesar 40.000 ton per tahun tergolong dalam skala industri menengah hingga besar, sehingga memerlukan investasi yang signifikan, struktur organisasi yang terstruktur, dan pengelolaan yang dilakukan secara profesional.
2. Badan hukum yang sah, PT merupakan badan usaha yang memiliki dasar hukum yang sah dan diakui oleh negara, sehingga memudahkan dalam pengurusan perizinan usaha, perjanjian dengan pemasok, kegiatan ekspor-impor, urusan perbankan, serta pengajuan pendanaan atau investasi.
3. Perlindungan aset pribadi, pemegang saham bertanggung jawab terbatas hanya sebesar jumlah modal yang telah mereka investasikan, sehingga mereka tidak berkewajiban menanggung utang perusahaan dengan aset pribadi.
4. Kemudahan dalam pengembangan modal, PT memiliki fleksibilitas untuk menarik investor, melepas saham, serta menjalin kemitraan dengan pihak lain guna mendukung pengembangan bisnis.

4.4.2. Struktur Perusahaan

Struktur organisasi merupakan susunan resmi yang menunjukkan bagaimana pembagian tugas, wewenang, tanggung jawab, serta hubungan antar unit dalam suatu perusahaan. Struktur ini berfungsi sebagai dasar dalam mengatur dan mengoordinasikan aktivitas perusahaan agar berlangsung secara efisien, teratur, dan terkendali. Pada perancangan pabrik gliserol yang terbentuk Perseroan Terbatas (PT), struktur organisasi disusun untuk menjamin kelancaran proses produksi, mendukung sistem pengawasan dan pelaporan,

serta memastikan seriap fungsi seperti produksi, keuangan, dan sumber daya manusia berjalan secara terpadu. Berikut ini merupakan susunan jabatan kepemimpinan yang terdapat dalam perusahaan dapat dilihat gambar di bawah ini :



Gambar 4.4 Struktur Organisasi

A. Wewenang dan Tanggung jawab

1. Direktur Utama

Bertanggung jawab atas keseluruhan kegiatan perusahaan, mengambil Keputusan strategis, mengontrol semua anajer, serta mewakili perusahaan secara hukum dan bisnis

2. Manajer Produksi

Mengelola seluruh proses produksi gliserol dari bahan baku hingga produk akhir, mengatur jadwal shift dan pemakaian mesin, serta memastikan target produksi tercapai.

3. Manajer Teknik dan Pemeliharaan

Bertanggung jawab atas kesiapan alat produksi, pemeliharaan preventif, dan penanganan kerusakan teknis.

4. Manajer Keuangan dan Administrasi

Mengatur keuangan perusahaan, Menyusun laporan keuangan, penggajian, pajak, serta menangani kegiatan administratif.

5. Manajer SDM

Mengelola rekrutmen, pelatihan, evaluasi kinerja, penggajian, dan kesejahteraan karyawan, serta memastikan hubungan industrial yang baik.

6. Manajer Mutu dan Lingkungan

Mengawasi mutu produk, laboratorium, sistem QA/QC, keselamatan kerja (K3), serta memastikan kepatuhan lingkungan.

7. Manajer Logistik dan Pembelian

Bertanggung jawab atas pengadaan bahan baku dan bahan pembantu, penyimpanan, serta distribusi produk ke konsumen atau Pelabuan.

8. Supervisor/Kepala Seksi

Menjadi penghubung antara manajer dan pelaksana, mengatur teknis operasional harian, serta mengawasi langsung jalannya proses kerja di lapangan.

9. Operator Produksi

Melaksanakan langsung pengoperasian mesin produksi sesuai SOP, menjaga kualitas hasil, serta mencatat data operasional.

10. Teknisi dan *Maintenance*

Menjalankan pemeliharaan rutin, perbaikan mesin, dan menjaga alat tetap dalam kondisi siap pakai.

11. Petugas QA/QC dan Lingkungan

Melakukan analisis mutu bahan dan produk, pengujian di laboratorium, dan membantu pencemaran lingkungan.

12. Staf Administrasi dan Keuangan

Mengelola dokumen, pencatat keuangan, *invoice*, dan data operasional harian.

13. Keamanan dan Kebersihan

Menjaga keamanan asset perusahaan selama 24 jam dan menjaga kebersihan area kerja.

B. Karyawan

Menentukan jumlah karyawan merupakan Langkah strategis yang didasarkan pada pertimbangan beban kerja, pola kerja (*shift*), kapasitas produksi, serta jenis pekerjaan yang dilakukan. Perhitungan yang akurat akan mendukung efisiensi operasional dan mencegah pemborosan dalam pengeluaran tenaga kerja. Di bawah ini merupakan penentuan jumlah karyawan dalam perusahaan dapat dilihat pada tabel sebagai berikut :

Tabel 4.2 Jumlah Karyawan

Jabatan	Jumlah
Direktur Utama	1
Manajer Produksi	1
Manajer Teknik dan Pemeliharaan	1
Manajer Keuangan dan Administrasi	1
Manajer SDM	1
Manajer Mutu dan Lingkungan	1
Manajer Logistik dan Pembelian	1

Lanjutan Tabel 4.2 Jumlah Karyawan

<i>Supervisor</i> /Kepala Seksi	10
Staf Administrasi dan Keuangan	8
Operator Produksi	50
Teknisi dan Maintenance	20
Petugas Mutu dan Lingkungan (QA/QC, K3)	10
SDM dan HRD	7
Logistic dan Gudang	10
Keamanan dan Kebersihan	15
Total	137

C. Pembagian Jam Kerja Karyawan

Pabrik ini dirancang untuk beroperasi selama 330 hari dalam setahun dengan waktu kerja 24 jam per hari. Hari-hari yang tidak digunakan untuk produksi dimanfaatkan untuk kegiatan perawatan, perbaikan, dan penghentian sementara. Sementara itu, pembagian jam kerja karyawan dibedakan ke dalam dua kelompok, yaitu :

1. Karyawan non *shift* adalah karyawan yang menjalankan tugasnya tanpa mengikuti sitem kerja bergiliran atau rotasi jam. Mereka bekerja pada jam kerja normal dan hari kerja biasa. Divisi yang menerapkan sistem non *shift* antara lain manajemen dan direksi, administrasi dan keuangan, SDM, logistik dan pembelian, bagian mutu dan lingkungan, serta laboratorium QA/QC yang tidak terkait langsung dengan produksi. Karayawan harian menjalankan tugasnya selama 5 hari dalam satu minggu dengan pembagian waktu kerja sebagai berikut :

Jam kerja : Senin – Jumat pukul 08.00 – 17.00
Jam Istirahat : Senin – Kamis pukul 12.00 – 13.00
Hari libur : Sabtu, Minggu, dan Hari Libur Nasional

2. Karyawan *shift* adalah karyawan yang bekerja secara bergiliran dalam jangka waktu tertentu guna memastikan kegiatan operasional pabrik tetap berlangsung selama 24 jam. Divisi yang menerapkan sistem *shift* antara lain operator produksi, teknisi dan maintenance, serta keamanan. Para karyawan *shift* menjalankan tugasnya secara bergantian sehari semalam dengan pembagian waktu kerja sebagai berikut :

Shift I (Pagi) : Pukul 07.00 – 15.00
Shift II (Sore) : Pukul 15.00 – 23.00
Shift III (Malam) : Pukul 23.00 – 07.00

Dalam menjaga kelangsungan operasional pabrik selama 24 jam penuh setiap hari, sistem kerja karyawan *shift* disusun dengan membagi tenaga kerja ke dalam 4 regu, yaitu A, B, C, dan D. Dalam site ini, 3 regu bekerja secara bergiliran dalam 3 *shift* yang berbeda, sementara 1 regu mendapatkan jadwal istirahat, dan pergantian regu dilakukan secara teratur.

Masing-masing regu menjalani masa kerja selama 3 hari berturut-turut, kemudian mendapat 1 hari libur. Dengan pola ini, setiap regu akan mengalami semua jenis *shift*-pagi, sore, malam dan juga waktu istirahat dalam satu siklus kerja selama 10 hari. Sistem ini guna untuk menjaga keseimbangan jadwal, mengurangi kelelahan karyawan, dan memastikan kegiatan pabrik tetap berlangsung lancar tanpa hambatan. Ketentuan ini juga berlaku pada hari libur

nasional, di mana regu yang mendapa jadwal kerja tetap harus melaksanakan tugasnya sesuai giliran. Di bawah ini merupakan jadwal kerja karyawan *shift* dengan masing-masing regu dapat dilihat pada tabel sebagai berikut :

Tabel 4.3 Jadwal Karyawan *Shift*

Hari ke-	A	B	C	D
1.	P	S	M	L
2.	L	S	M	P
3.	M	L	P	S
4.	P	S	M	L
5.	L	S	M	P
6.	M	L	P	S
7.	P	S	M	L
8.	L	S	M	P
9.	M	L	P	S
10.	S	M	L	P

Keterangan :

P : Pagi M : Malam

S : Sore L : Libur

D. Penggolongan Gaji

Gaji karyawan dibayarkan setiap bulan pada tanggal 1. Bila pada pembagian gaji merupakan hari libur, maka pembayaran gaji dilakukan sehari sebelumnya. Berikut ini merupakan daftar gaji karyawan yang dapat dilihat di tabel bawah ini :

Tabel 4.4 Daftar Gaji Karyawan

Jabatan	Jml	Gaji (Rp)	Gaji (Rp)
		(/orang/bulan)	(/bulan)
Direktur Utama	1	Rp. 40.000.000	Rp. 40.000.000
Manajer Produksi	1	Rp. 25.000.000	Rp. 25.000.000
Manajer Teknik dan Pemeliharaan	1	Rp. 25.000.000	Rp. 25.000.000
Manajer Keuangan dan Administrasi	1	Rp. 25.000.000	Rp. 25.000.000
Manajer SDM	1	Rp. 25.000.000	Rp. 25.000.000
Manajer Mutu dan Lingkungan	1	Rp. 25.000.000	Rp. 25.000.000
Manajer Logistik dan Pembelian	1	Rp. 25.000.000	Rp. 25.000.000
<i>Supervisor/Kepala Seksi</i>	10	Rp. 12.500.000	Rp. 125.000.000
Staf Administrasi dan Keuangan	8	Rp. 6.500.000	Rp. 52.000.000
Operator Produksi	50	Rp. 6.000.000	Rp. 300.000.000
Teknisi dan <i>Maintenance</i>	20	Rp. 6.500.000	Rp. 130.000.000
Petugas Mutu dan Lingkungan (QA/QC, K3)	10	Rp. 6.500.000	Rp. 65.000.000
SDM dan HRD	7	Rp. 6.500.000	Rp. 45.500.000
Logistik dan Gudang	10	Rp. 6.000.000	Rp. 60.000.000
Keamanan dan Kebersihan	15	Rp. 5.200.000	Rp. 78.000.000
Total	137	-	Rp. 1.045.500.000

E. Fasilitas Karyawan dan Hak Karyawan

Fasilitas bagi karyawan merupakan wujud komitmen perusahaan dalam menyediakan lingkungan kerja yang aman, sehat, dan layak. Pemberian fasilitas ini bertujuan untuk menunjang kesejahteraan tenaga kerja, menjaga semangat dan produktivitas, serta memenuhi ketentuan yang berlaku dalam ketenagakerjaan dan keselamatan kerja (K3). Fasilitas yang diberikan meliputi:

1. Fasilitas makan dan minum, disediakan untuk menjaga Kesehatan dan stamina karyawan selama bekerja. Perusahaan menyediakan ruang makan yang layak, uang makan atau subsidi harian, serta air minum bersih di area kerja. Fasilitas ini mendukung produktivitas dan kesejahteraan tenaga kerja.
2. Fasilitas poliklinik, disediakan untuk melayani kebutuhan kesehatan dasar karyawan, termasuk pemeriksaan ringan dan penanganan awal saat terjadi keluhan atau kecelakaan kerja. Layanan ini ditangani tenaga medis dan dapat terhubung dengan fasilitas kesehatan lainnya bila dibutuhkan.
3. Fasilitas tempat ibadah, masjid disediakan oleh perusahaan sebagai sarana ibadah bagi karyawan muslim, sehingga mereka dapat menjalankan salat dan kegiatan keagamaan lainnya tanpa meninggalkan area kerja.

4. Fasilitas jamsostek, karyawan didaftarkan dalam program BPJS Ketenagakerjaan untuk menjamin perlindungan saat terjadi risiko kerja, serta memberikan manfaat jangka panjang seperti pension dan Tabungan hari tua.
5. Fasilitas koperasi karyawan, perusahaan menyediakan koperasi sebagai sarana bagi karyawan untuk mengakses layanan simpan pinjam dan memenuhi kebutuhan harian dengan harga terjangkau.
6. Fasilitas transportasi, fasilitas antar-jemput disiapkan bagi karyawan tertentu, khususnya yang bertugas malam hari atau tinggal jauh, agar perjalanan ke dan pabrik lebih aman dan efisien.
7. Fasilitas pakaian kerja, karyawan memperoleh seragam kerja sebagai perlengkapan wajib untuk mendukung keselamatan dan menciptakan tampilan profesional di lingkungan pabrik.
8. Tunjangan Hari Raya (THR), karyawan berhak menerima THR satu kali dalam setahun sebelum hari raya.
9. Hak cuti karyawan, setelah bekerja selama satu tahun karyawan berhak atas cuti tahunan sekurang-kurangnya 12 hari, serta cuti lain seperti sakit atau cuti menikah sesuai aturan yang berlaku.

BAB V

UTILITAS

Unit utilitas merupakan bagian integral dari sistem pendukung operasional pabrik yang berfungsi untuk menyediakan berbagai media kerja serta sumber energi yang diperlukan dalam menunjang kelangsungan proses produksi. Keberadaan unit utilitas memastikan bahwa setiap peralatan proses beroperasi secara optimal dan berkesinambungan sesuai dengan parameter yang direncanakan. Dalam prarancangan Pabrik Gliserol ini, unit-unit utilitas yang direncanakan meliputi:

1. Unit Pengadaan dan Pengolahan Air (*Raw Water Treatment Plant*)

Bertugas mengolah air baku menjadi air bersih yang memenuhi spesifikasi kebutuhan operasional pabrik, baik untuk proses produksi maupun keperluan lainnya.

2. Unit Pembangkit *Steam*

Berfungsi menghasilkan uap (*steam*) sebagai media panas dalam berbagai tahapan proses produksi yang memerlukan suhu operasi tertentu.

3. Unit Pembangkit Listrik

Menyediakan energi listrik untuk mengoperasikan peralatan proses, sistem utilitas, perangkat elektronik, sistem pendingin udara (AC) dan penerangan di seluruh area pabrik.

4. Unit Pengadaan Bahan Bakar

Bertanggung jawab atas ketersediaan bahan bakar yang diperlukan untuk mendukung proses pembakaran dan pembangkitan energi panas di pabrik.

5. Unit Penyedia Udara dan Instrumen

Menyuplai udara bersih dan kering, baik untuk keperluan sistem pneumatic maupun untuk pengoperasian instrument control dalam sistem proses.

5.1. Unit Pengadaan dan Pengolahan Air

5.1.1. Unit Pengadaan Air

Unit Pengadaan dan Pengolahan Air yang lebih dikenal dengan *Raw Water Treatment Plant* (RWTP) merupakan sistem yang dirancang untuk mengolah air baku menjadi air bersih yang memenuhi standar kualitas untuk keperluan industry. Air baku yang berasal dari sumber alam, seperti Sungai, umumnya mengandung berbagai kontaminan (*impurities*) sehingga tidak dapat langsung digunakan. Kontaminan ini terbagi menjadi dua jenis, yaitu *suspended solid* (*impurities* tidak terlarut) yang dihilangkan melalui proses klarifikasi, serta *dissolved solid* (*impurities* terlarut) yang ditangani dalam tahap demineralisasi.

Pada prarancangan Pabrik Gliserol ini, air baku direncanakan berasal dari Sungai Citarum. Air hasil olahan RWTP akan dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan operasional di lingkungan pabrik antara lain :

1. Air pendingin, berperan penting menjaga kestabilan suhu mesin dengan mencegah terjadinya *overheating* (kenaikan suhu berlebih) selama proses berlangsung. Adapaun kriteria air yang digunakan sebagai media pendingin antara lain: mudah diperoleh dan tersedia dalam jumlah besar, memiliki tingkat kejernihan yang tinggi, serta bebas dari partikel kasar dan

halus seperti pasir, kerikil, lumpur dan lumut agar tidak merusak sistem perpipaan maupun mesin yang digunakan.

2. Air umpan *boiler*, merupakan air yang akan dipanaskan hingga mencapai fase uap (*steam*) untuk digunakan dalam berbagai kebutuhan proses industri. Kualitas air yang digunakan sebagai umpan *boiler* harus memenuhi standar tertentu, khususnya bebas dari kandungan mineral dan zat asam, karena keberadaan senyawa-senyawa tersebut dapat memicu korosi pada permukaan logam serta pembentukan kerak (*scaling*) dalam sistem *boiler*. Pembentukan kerak umumnya terjadi akibat tingginya Tingkat kesadahan air yang bereaksi pada suhu tinggi, sehingga menghasilkan endapan berupa garam karbonat dan silikat yang dapat mengganggu efisiensi mempercepat panas dan merusak sistem secara keseluruhan.
3. Air sanitasi, digunakan untuk memenuhi kebutuhan non-proses area pabrik, seperti perkantoran, konsumsi air minum, laboratorium, serta keperluan rumah tangga. Kualitas air sanitasi harus memenuhi standar tertentu, antara lain tidak berwarna (jernih), tidak berbau, tidak memiliki rasa, serta bebas dari kandungan zat yang bersifat toksik atau beracun.
4. Air proses, digunakan secara langsung dalam berbagai tahapan proses produksi di area pabrik. Kualitas air proses harus dijaga agar tidak mengganggu reaksi kimia maupun kinerja peralatan. Persyaratan utama air proses meliputi kejernihan (tidak berwarna), tidak berbau, tidak berasa

serta bebas dari kontaminasi zat organik maupun anorganik yang dapat mengganggu integritas sistem atau hasil reaksi.

5.2. Unit Pengolahan Air

Terdapat beberapa proses tahapan dalam pengolahan air sebagai berikut:

a. Bak Pengendapan Awal

Bak pengendapan awal berfungsi sebagai wadah penampungan pertama bagi air baku yang diambil dari sumber alami, seperti sungai. Pada tahap ini, dilakukan proses pengendapan partikel-partikel berukuran besar, seperti pasir, lumpur, batu, dan material organik lainnya, guna mengurangi beban kotoran pada proses proses selanjutnya.

b. Bak Pencampur Cepat

Bak pencampur cepat berfungsi sebagai unit pencampuran awal untuk menambahkan bahan kimia ke dalam air baku secara merata. Pada tahap ini, koagulan seperti aluminium sulfat $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ditambahkan untuk menggumpalkan partikel halus tersuspensi. Selain itu, senyawa seperti kalsium hidroksida $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan natrium karbonat Na_2CO_3 juga digunakan untuk menurunkan tingkat kesadahan udara dengan cara mengendapkan ion kalsium dan magnesium yang terkandung di dalamnya.

c. *Clarifier*

Kebutuhan air dalam suatu fasilitas industri umumnya dipenuhi dengan memanfaatkan sumber air terdekat di sekitar lokasi pabrik. Namun, sebelum digunakan, air tersebut harus melalui proses pengolahan agar memenuhi standar kualitas yang dipersyaratkan. Pengolahan air dapat dilakukan melalui

metode fisika, kimia, penambahan disinfektan, maupun penggunaan *ion exchanger*.

Salah satu tahapan penting dalam sistem pengolahan air adalah proses flokulasi yang terjadi di dalam unit *clarifier*. Flokulasi merupakan proses penyatuan partikel-partikel halus yang sulit mengendap menjadi flok yang lebih besar dan berat, sehingga dapat mengalami sedimentasi. Proses ini diawali dengan pengumpanan air baku ke dalam tangki pencampur, di mana air diaduk secara cepat menggunakan agitator sambil diinjeksi dengan bahan kimia seperti aluminium sulfat $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ dan natrium karbonat Na_2CO_3 . Zat-zat tersebut berfungsi sebagai agen flokulan untuk mempercepat pembentukan flok.

Air baku yang telah dicampur kemudian dialirkan ke bagian tengah *clarifier* dan kembali diaduk secara perlahan. Flok-flok yang terbentuk akan mengendap di dasar tangki, sementara air jernih keluar melalui sisi *clarifier* secara *overflow*. Endapan yang terbentuk di bagian bawah akan dibuang secara berkala melalui proses *blowdown*, sesuai dengan interval waktu yang telah ditentukan.

d. Penyaringan

Air yang keluar dari unit *clarifier* selanjutnya dialirkan menuju *sand filter* untuk menyaring partikel padat halus yang masih terbawa dari proses sebelumnya. *Sand filter* berfungsi sebagai media penyaring akhir guna menurunkan kekeruhan (*turbidity*) air. Setelah melewati *sand filter*, air yang

dihasilkan memiliki tingkat kekeruhan sekitar 2 ppm dan kemudian dialirkan ke dalam tangki penampung (*filter water reservoir*).

Air bersih yang telah disaring ini didistribusikan lebih lanjut ke menara air (*water tower*) serta ke unit demineralisasi untuk keperluan proses lanjutan. Seiring waktu, kemampuan penyaringan *sand filter* akan menurun akibat akumulasi partikel padat pada media *filter*. Oleh karena itu, diperlukan proses pembersihan berkala melalui metode *backwashing* agar efisiensi penyaringan tetap terjaga dan sistem dapat beroperasi secara optimal.

e. Demineralisasi

Air yang digunakan sebagai umpan ketel (*boiler feed water*) harus memiliki tingkat kemurnian yang tinggi dan memenuhi persyaratan bebas dari kandungan garam-garam terlarut. Hal ini penting untuk mencegah terbentuknya kerak (*scaling*) dan terjadinya korosi pada sistem boiler, yang dapat menurunkan efisiensi perpindahan panas dan memperpendek umur peralatan.

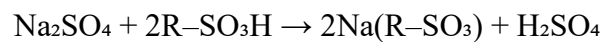
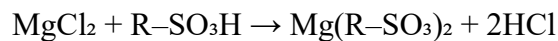
Salah satu metode yang digunakan untuk menghasilkan air dengan kemurnian tinggi adalah proses demineralisasi, yaitu proses penghilangan zat-zat terlarut (*dissolved solids*) seperti ion-ion mineral atau garam-garam melalui media penukar ion (*ion exchange*).

Adapun tahapan-tahapan utama dalam pengolahan air untuk umpan ketel meliputi:

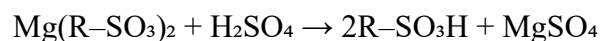
f. *Cation Exchanger*

Unit penukar kation, atau sering disebut juga resin asam, merupakan tahap awal dalam proses demineralisasi yang berfungsi untuk menghilangkan ion-ion bermuatan positif (kation) dari air baku. Proses ini melibatkan pertukaran ion antara kation dalam air, seperti kalsium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), dan natrium (Na^+), dengan ion hidrogen (H^+) yang terdapat pada media resin.

Setelah melalui unit penukar kation, air yang dihasilkan mengandung ion H^+ dan anion yang belum terpisahkan. Contoh reaksi yang terjadi antara senyawa dalam air dan resin adalah sebagai berikut:



Seiring berjalannya waktu, kapasitas resin dalam menangkap kation akan berkurang karena kejenuhan. Oleh karena itu, resin perlu diregenerasi secara berkala menggunakan larutan asam, umumnya asam sulfat (H_2SO_4), agar kemampuan pertukaran ion dapat dipulihkan. Reaksi regenerasi yang terjadi antara resin jenuh dan asam sulfat dapat dituliskan sebagai berikut:

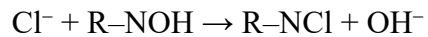
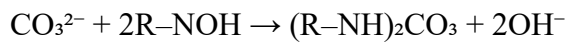


g. *Anion Exchanger*

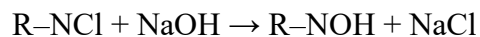
Tahap selanjutnya dalam proses demineralisasi adalah unit penukar anion, yang dikenal pula sebagai resin basa. Pada tahap ini terjadi proses pertukaran ion negatif (anion) dalam air, seperti karbonat (CO_3^{2-}), klorida (Cl^-), dan sulfat (SO_4^{2-}), dengan ion hidroksida (OH^-) yang terdapat pada resin. Tujuan dari

proses ini adalah untuk menghilangkan anion terlarut sehingga air yang dihasilkan mendekati kemurnian penuh.

Contoh reaksi pertukaran ion yang terjadi pada unit ini antara lain:



Seiring waktu, kapasitas resin anion akan jenuh akibat terikatnya ion-ion negatif, sehingga perlu dilakukan regenerasi. Proses regenerasi dilakukan menggunakan larutan basa, biasanya natrium hidroksida (NaOH), untuk mengembalikan fungsi pertukaran ion pada resin. Reaksi regenerasi dapat digambarkan sebagai berikut:



h. Deaerasi

Deaerasi merupakan tahapan penting dalam pengolahan air *boiler* yang bertujuan untuk menghilangkan gas-gas terlarut di dalam air, seperti oksigen (O_2), karbon dioksida (CO_2), dan hidrogen sulfida (H_2S). Kehadiran gas-gas tersebut dapat menyebabkan korosi dan pembentukan kerak (*scale*) pada sistem boiler apabila tidak dihilangkan.

Air yang telah melalui proses demineralisasi (*polish water*) dipompakan ke dalam unit deaerator, di mana dilakukan pemanasan dan injeksi bahan kimia berupa hidrazin (N_2H_4). Hidrazin bereaksi dengan oksigen terlarut untuk membentuk nitrogen dan air, sehingga kandungan oksigen dalam air dapat diminimalkan. Reaksi ini membantu mencegah korosi dan pembentukan kerak pada pipa-pipa (*tube*) dalam *boiler*.

Setelah proses deaerasi selesai, air dipompa keluar dari deaerator dan digunakan sebagai air umpan ketel (*boiler feed water*), siap untuk dipanaskan menjadi uap dalam sistem pembangkit.

i. *Cooling Tower*

Cooling tower merupakan unit pendingin yang berfungsi untuk menurunkan suhu air panas hasil proses industri menjadi air dingin dengan memanfaatkan media pendingin berupa udara. Proses pendinginan berlangsung melalui mekanisme penguapan sebagian air atau melalui kontak langsung dan kontinu antara aliran udara dan air, sehingga memungkinkan perpindahan panas secara efektif.

Selama proses penguapan, sebagian volume air akan hilang sebagai uap. Kehilangan ini diimbangi dengan penambahan air *make-up* dalam jumlah yang setara, guna menjaga kestabilan laju perpindahan panas antara air dan udara.

Untuk menjaga kualitas air pendingin, *cooling tower* juga diinjeksi dengan berbagai bahan kimia. Klorin ditambahkan untuk mencegah pertumbuhan mikroorganisme seperti ganggang dan lumut. Rentang pH sistem dijaga antara 7,5 hingga 8,5. Jika pH turun di bawah batas normal, maka dilakukan injeksi larutan kaustik (NaOH); sebaliknya, jika pH meningkat, injeksi dilakukan dengan asam sulfat (H_2SO_4).

Selain itu, senyawa fosfat diinjeksikan untuk mencegah terbentuknya kerak (*scaling*), sedangkan bahan dispersan digunakan untuk menghambat penggumpalan dan pengendapan partikel kotoran dalam air pendingin,

sehingga dapat mencegah terjadinya *fouling* pada permukaan dalam sistem perpipaan.

5.2.1. Kebutuhan Air

a. Air Pendingin

Air pendingin merupakan komponen penting dalam sistem utilitas pabrik yang digunakan untuk menjaga kestabilan suhu peralatan proses dan mencegah terjadinya *overheating*. Kebutuhan air pendingin harus dihitung secara cermat agar dapat memenuhi beban panas yang dihasilkan selama proses berlangsung. Perhitungan ini mempertimbangkan berbagai faktor, seperti laju aliran panas, efisiensi sistem pendingin, dan kondisi operasi. Adapun rincian kebutuhan air pendingin dalam prarancangan Pabrik Gliserol ditampilkan pada tabel berikut:

Tabel 5.1 Kebutuhan Air pendingin

Reaktor	40.351,2234	kg/jam
Kondensor – 01	9.158,4786	kg/jam
Cooler – 01	86.099,60	kg/jam
Cooler – 02	121,3010	kg/jam
Cooler – 03	982.699,35	kg/jam
Jumlah	1.118.429,956	kg/jam

b. Air Pembuat Steam

Air pembuat steam merupakan salah satu kebutuhan utama dalam sistem utilitas pabrik, khususnya pada unit pembangkit uap (boiler). Air ini harus memenuhi persyaratan kualitas tertentu agar tidak menimbulkan korosi atau kerak pada sistem boiler. Kebutuhan air untuk menghasilkan steam dihitung berdasarkan beban panas proses, efisiensi boiler, dan kapasitas operasional yang dirancang. Rincian kebutuhan air pembuat steam untuk prarancangan Pabrik Gliserol ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 5.2 Kebutuhan Air pembuat steam

Heat Exchanger - 01	940,6107	kg/jam
Heat Exchanger – 02	127,9833	kg/jam
Heat Exchanger – 03	23.705,96	kg/jam
Jumlah	24.774,55	kg/jam

5.2.2. Total Kebutuhan Air

Air merupakan salah satu utilitas utama dalam operasional pabrik, baik sebagai media pendukung proses maupun untuk keperluan domestik. Kebutuhan udara di pabrik gliserol ini dikumpulkan menjadi beberapa bagian, yaitu kebutuhan air untuk kantor dan perumahan, air layanan umum dan hidran, air pendingin, serta air umpan boiler.

a. Air untuk kantor dan Perumahan

Kebutuhan air untuk perumahan dirancang sebesar 300 liter/orang.hari. Di area pabrik, terdapat 5 unit rumah dinas yang masing-masing dihuni oleh 6 orang. Sehingga total kebutuhan air untuk perumahan sebesar:

$$5 \text{ rumah} \times 6 \text{ orang} \times 300 \text{ liter/orang.hari} = 9.000 \text{ liter/hari} = 375 \text{ liter/jam}$$

Dengan massa jenis air 1 kg/L, maka kebutuhan massa udara = 375 kg/jam

Sementara itu, kebutuhan air untuk perkantoran dirancang sebesar 150 liter/orang.hari untuk 150 orang pekerja. Maka total kebutuhan air kantor adalah:

$$150 \text{ orang} \times 150 \text{ liter/orang.hari} = 22.500 \text{ liter/hari}$$

$$= 937,5 \text{ liter/jam} = 937,5 \text{ kg/jam}$$

Total kebutuhan air untuk kantor dan perumahan disediakan sebagai layanan umum dan hidran, dengan total kebutuhan air mencapai 1.312,5 kg/jam. Air ini digunakan sekali pakai dan langsung dialirkan ke unit pengolahan limbah.

b. Air untuk media pendingin

Sistem pendingin pada pabrik menggunakan menara pendingin tertutup. Pendingin udara yang telah digunakan akan mengalami peningkatan suhu hingga maksimum 50°C, kemudian transmisi kembali 30°C melalui kontak langsung dengan air di menara pendingin. Selama proses pendinginan, terjadi penguapan sehingga massa air berkurang.

Menurut *Procces Equipment Handbook* oleh Evan (Vol II), kebutuhan air make-up untuk mengganti air yang menguap diperkirakan sebesar 12,5% dari total massa pendingin air yang bersirkulasi. Berdasarkan perhitungan,

kebutuhan air make-up untuk sistem pendingin mencapai 139.803,7445 kg/jam,

c. Air untuk umpan boiler

Air juga dibutuhkan sebagai umpan boiler untuk menghasilkan uap. Sebagian besar air akan mengalami sirkulasi kembali, namun sekitar 10% dari total uap yang hilang dan perlu diganti melalui air make-up. Estimasi kebutuhan air make-up untuk boiler adalah 2.477,455 kg/jam.

5.3. Unit Pembangkit Steam

Unit ini berfungsi untuk memenuhi kebutuhan steam dalam proses produksi dengan menyediakan sistem pembangkitan uap berupa ketel uap (*boiler*). *Boiler* dilengkapi dengan perangkat pendukung seperti *economizer* dan berbagai sistem pengaman otomatis guna memastikan operasi yang efisien dan aman.

Sebelum air umpan masuk ke dalam boiler, air terlebih dahulu dialirkan ke dalam *economizer*. *Economizer* merupakan alat penukar panas yang memanfaatkan panas dari gas buang hasil pembakaran yang masih memiliki temperatur tinggi. Gas buang ini diarahkan melewati *economizer* sebelum dibuang melalui cerobong, sehingga energi panas yang tersisa dapat ditransfer ke air melalui pipa-pipa penukar panas. Proses ini meningkatkan suhu air sebelum memasuki boiler.

Dengan menaikkan suhu awal air umpan, jumlah energi yang dibutuhkan untuk mengubah air menjadi uap akan lebih rendah. Hal ini secara langsung berdampak pada efisiensi penggunaan bahan bakar, sehingga konsumsi energi dalam sistem *boiler* dapat ditekan.

5.4. Unit Pembangkit Listrik

Pada prarancangan Pabrik Gliserol, kebutuhan listrik dipenuhi melalui dua sumber utama, yaitu dari jaringan listrik Perusahaan Listrik Negara (PLN) sebagai sumber utama dan *generator diesel* sebagai sumber cadangan. *Generator* berfungsi untuk menjaga kontinuitas pasokan listrik apabila terjadi gangguan pada suplai listrik dari PLN.

Generator diesel bekerja berdasarkan prinsip pembakaran internal, di mana campuran bahan bakar solar dan udara dikompresi hingga menghasilkan suhu tinggi yang memicu pembakaran. Energi panas dari pembakaran tersebut digunakan untuk menggerakkan poros engkol (*crankshaft*), yang kemudian memutar alternator dan menghasilkan energi listrik. Listrik yang dihasilkan akan didistribusikan ke seluruh unit yang membutuhkan daya.

Dalam kondisi operasi normal, listrik dari PLN digunakan untuk kebutuhan penerangan dan sistem kontrol, sedangkan bahan bakar diesel dimanfaatkan untuk menggerakkan peralatan proses tertentu. Namun, apabila pasokan dari PLN terputus, seluruh sistem akan dialihkan ke *generator diesel* untuk menjaga kelangsungan operasional.

Berikut spesifikasi *generator*:

Kapasitas	: 2500 kW
Jenis	: AC <i>generator</i>
Jumlah	: 1

Rincian kebutuhan listrik untuk masing-masing unit di pabrik ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 5.3 Kebutuhan Listrik

No.	Alat	hp	kW
1	Pengaduk R-01	4	2.983
2	Pengaduk R-02	4	2.983
3	Pompa P-01	3	2.237
4	Pompa P-02	1.5	1.119
5	Pompa P-03	10	7.457
6	Pompa P-04	10	7.457
7	Pompa P-05	5	3.729
8	Pompa P-06	7.5	5.593
9	Pompa P-07	0.5	0.373
10	Pompa P-08	15	11.186
11	Pompa P-09	10	7.457
12	Pompa P-10	1.5	1.119
13	Pompa Utilitas PU-01	20	14.914
14	Pompa Utilitas PU-02	10	7.457
15	Pompa Utilitas PU-03	10	7.457
16	Pompa Utilitas PU-04	3	2.237
17	Pompa Utilitas PU-05	25	18.643
18	Pompa Utilitas PU-06	200	149.142

Lanjutan Tabel 5.3 Kebutuhan Listrik

19	Pompa Utilitas PU-07	30	22.371
20	Pompa <i>Dowtherm</i> PU-DOW	50	37.286
21	Kompresor 1	0.5	0.373
22	Pengaduk <i>Clarifier (rake)</i>	2	1.491
23	Pengaduk CT (<i>Fan</i>)	125	93.214
Total		547.5	408.277

Kebutuhan listrik alat kontrol, penerangan dan bengkel dirancang 2.000 kW.

Maka daya total adalah 2.408,277 kW.

5.5. Unit Udara Tekan

Unit udara pada pabrik berperan dalam menurunkan kandungan udara yang terdapat di dalam udara, sehingga berat jenis udara dapat dikurangi sebelum digunakan sebagai instrumen udara. Udara tekan ini dimanfaatkan untuk mengoperasikan peralatan kontrol yang menggunakan sistem *pneumatik*. Sistem ini bekerja pada tekanan antara 1 hingga 4 bar, dengan kebutuhan udara total diperkirakan sebesar 2 m³/jam

5.6. Unit Penyedia Bahan Bakar

Unit ini berfungsi menyuplai bahan bakar yang digunakan dalam operasi boiler dan generator. Jenis bahan bakar yang digunakan adalah *fuel oil* dengan kebutuhan sebesar 2.410,2409 liter/jam untuk menjamin berkelanjutannya proses pembangkitan energi panas dan listrik di dalam pabrik.

5.7. Unit Pengolahan Limbah

Unit pengolahan limbah pada pabrik gliserol dirancang untuk memastikan bahwa limbah cair maupun padat yang dihasilkan dari proses produksi dapat dikelola secara aman dan sesuai dengan peraturan lingkungan yang berlaku. Limbah cair umumnya berasal dari proses pencucian, netralisasi dan unit utilitas seperti menara pendingin dan boiler. Limbah ini dapat mengandung zat organik, sisa bahan kimia, serta padatan tersuspensi yang berpotensi mencemari lingkungan jika tidak diolah terlebih dahulu.

Pengolahan limbah cair dilakukan secara berurutan melalui tahapan fisika, kimia, dan biologi. Tahap awal berupa penyaringan dan pemisahan padatan besar (*screening*), dilanjutkan dengan proses koagulasi-flokulasi untuk mengendapkan partikel halus. Setelah itu, limbah cair diarahkan ke unit pengolahan biologi seperti tangki aerasi untuk menguraikan senyawa organik menggunakan mikroorganisme. Air hasil olahan akan diuji kualitasnya sebelum dibuang ke badan air atau digunakan kembali sebagai air proses.

Sementara itu, limbah padat seperti lumpur dari unit pengendapan dikumpulkan dan dikeringkan sebelum dibuang ke tempat penimbunan yang telah memenuhi standar. Jika memungkinkan, beberapa jenis limbah padat juga dapat dimanfaatkan kembali atau didaur ulang sesuai sifat dan komposisinya.

Dengan sistem pengolahan limbah ini, diharapkan dampak negatif dapat diminimalkan, serta mendukung terciptanya proses produksi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

5.8. Unit *Dowtherm*

Unit *Dowtherm* berfungsi sebagai sistem pemanas tidak langsung yang menggunakan fluida termal berupa *Dowtherm* (campuran difenil dan difenil oksida). Sistem ini digunakan untuk menjaga kestabilan suhu tinggi pada alat-alat proses seperti reboiler tanpa kontak langsung antara bahan bakar dan fluida proses, sehingga lebih aman dan efisien.

Prinsip kerja dari unit ini dimulai dari tangki penyimpanan *Dowtherm* (T-Dow) yang mengalirkan cairan ke tungku menggunakan pompa (P-Dow). Di dalam tungku, *Dowtherm* dipanaskan menggunakan bahan bakar dan udara pembakaran hingga mencapai suhu operasi yang diinginkan. Setelah dipanaskan, *Dowtherm* dialirkan menuju proses menuju proses yang membutuhkan panas, dalam hal ini reboiler.

Di dalam reboiler, panas dari *Dowtherm* ditransfer ke fluida proses melalui dinding penukar panas, sehingga fluida proses bisa menguap atau mengalami verifikasi sesuai kebutuhan. Setelah melewati *reboiler*, *Dowtherm* yang suhunya telah menurun dialirkan kembali ke tangki penyimpanan untuk kembali melalui siklus pemanasan.

Pemilihan *Dowtherm* didasarkan pada sifatnya yang stabil pada suhu tinggi, dengan titik didih sebesar 257°C. Karakteristik ini memungkinkan *Dowtherm* digunakan pada proses pemanasan di atas batas kemampuan steam, sehingga dapat menjaga kestabilan operasi, meningkatkan efisiensi perpindahan panas, serta memberi tingkat keamanan yang lebih baik pada unit proses yang memerlukan suhu tinggi.

5.9. Spesifikasi Alat Utilitas

Tabel 5.4 Spesifikasi Pompa Utilitas

Kode Alat	PU-01	PU-02	PU-03
Fungsi	Memompa air sungai sebanyak 170.731,316 kg/jam menuju bak pengendap awal	Memompa air sebanyak 162.601,253 kg/jam dari pengendap awal ke bak klarifikasi	Memompa air sebanyak 154.858,337 kg/jam dari bak klarifikasi ke saringan pasir
Kapasitas	0,0476 m ³ /s	0,0453 m ³ /s	0,0432 m ³ /s
Tipe	Pompa sentrifugal	Pompa sentrifugal	Pompa sentrifugal
Efisiensi Pompa	65%	86%	65%
Daya Motor (HP)	20	10	10
Jumlah	1	1	1
Bahan	<i>Carbon steel</i>	<i>Carbon steel</i>	<i>Carbon steel</i>
IPS	10	10	10
<i>Schedule Number</i>	40	40	40
OD (in)	10,75	10,75	10,75
ID (in)	10,02	10,02	10,02

Lanjutan Tabel 5.4 Spesifikasi Pompa Utilitas

Kode Alat	PU-04	PU-05	PU-06
Fungsi	Memompa air sebanyak 154.858,337 kg/jam dari <i>sand filter</i> ke bak air bersih	Memompa air sebanyak 147.007,94 kg/jam dari bak air bersih ke bak air minum, tangki umpan boiler dan <i>cooling tower</i>	Memompa air sebanyak 1.118.429,956 kg/jam dari pengendap awal ke bak klarifikasi
Kapasitas	0,0432 m ³ /s	0,0410 m ³ /s	0,3122 m ³ /s
Tipe	Pompa sentrifugal	Pompa sentrifugal	Pompa sentrifugal
Efisiensi Pompa	65%	65%	83%%
Daya Motor (HP)	3	25	200
Jumlah	1	1	1
Bahan	<i>Carbon steel</i>	<i>Carbon steel</i>	<i>Carbon steel</i>
IPS	10	10	20
<i>Schedule Number</i>	40	40	20
OD (in)	10,75	10,75	20
ID (in)	10,02	10,02	19,25

Lanjutan Tabel 5.4 Spesifikasi Pompa Utilitas

Kode Alat	PU-07
Fungsi	Memompa air sebanyak 54.496,145 kg/jam dari umpan <i>boiler</i> ke WHB
Kapasitas	0,0152 m ³ /s
Tipe	Pompa sentrifugal
Efisiensi Pompa	42%
Daya Motor (HP)	30
Jumlah	1
Bahan	<i>Carbon steel</i>
IPS	6
<i>Schedule Number</i>	20
OD (in)	6,625
ID (in)	6,065

Tabel 5.5 Spesifikasi Bak Utilitas

Kode Alat	BPA	RMT (Bak Pencampur Cepat)	<i>Clarifier</i>
Fungsi	Memompa air sebanyak	Mencampur bahan kimia penggumpal dan pengurang kesadahan	Menggumpalkan dan mengendapkan kotoran koloid yang terbawa dari air
Volume (m ³)	4.941,7707	3,2683	980,51
Tipe	Bak persegi panjang	Bak silinder tegak dilengkapi pengaduk	Bak silinder tegak dengan bentuk kerucut

Lanjutan Tabel 5.5 Spesifikasi Bak Utilitas

Jenis Bahan	Beton bertulang	Baja karbon	
Jumlah Unit	1	1	1
Panjang (m)	60,8796		
Lebar (m)	20,2932		
Tinggi (m)		1,3871	6,335
Diameter (m)		1,3871	12,7

Lanjutan Tabel 5.5 Spesifikasi Bak Utilitas

Kode Alat	BAB (Bak Air Bersih)	BAM (Bak Air Minum)
Fungsi	Menampung air untuk kantor pelayanan dan rumah tangga	Menampung air untuk kantor pelayanan dan rumah tangga
Volume (m ³)	773,3073	3,2683
Tipe	Bak persegi panjang	Bak persegi panjang
Jenis Bahan	Beton bertulang	Beton bertulang
Jumlah Unit	1	1
Panjang (m)	24,0827	6,9888
Jenis Bahan	Beton bertulang	Beton bertulang
Jumlah Unit	1	1
Panjang (m)	24,0827	6,9888
Lebar (m)	8,0275	2,3296

Tabel 5.6 Spesifikasi Tangki Utilitas

Kode Alat	TK (Tangki Penukar Kation)	TNaC	TA
Fungsi	Menghilangkan mineral yang masih terkandung dalam air	Melarutkan NaCL untuk regenerasi penukar kation	Menghilangkan mineral yang masih terkandung dalam air
Volume (m ³)	0,7217	0,5577	0,2309
Tipe	Tangki silinder tegak	Tangki silinder tegak	Tangki silinder tegak
Jenis Bahan	Baja Karbon	Baja karbon	Baja Karbon
Jumlah Unit	2	1	2
Tinggi (m)	1,1666	0,8395	0,7979
Diameter (m)	0,9722	0,8395	0,6649

Lanjutan Tabel 5.6 Spesifikasi Tangki Utilitas

Kode Alat	TNaOH	TBFW (Tangki Umpan Boiler)	Tkondesat
Fungsi	Melarutkan NaOH untuk regenerasi penukar kation	Menyimpan air umpan boiler selama 8 jam	Menyimpan air umpan boiler selama 1 jam
Volume (m ³)	0,1212	525,7919	59,7490
Tipe	Tangki silinder tegak	Tangki silinder horizontal dengan dearator	Tangki silinder horizontal dengan dearator

Lanjutan Tabel 5.6 Spesifikasi Tangki Utilitas

Jenis Bahan	Baja Karbon	Baja karbon	Baja Karbon
Jumlah Unit	1	1	1
Panjang (m)		18	
Lebar (m)			
Tinggi (m)	0,5047		0,7979
Diameter (m)	0,5047	6	0,6649

Tabel 5.7 Spesifikasi *Sand Filter*

Kode Alat	<i>Sand Filter</i>
Fungsi	Menyaring kotoran-kotoran yang masih terbawa air dari <i>clarifier</i>
Volume (m ³)	6,1111
Tipe	Bak empat persegi panjang
Jenis Bahan	Baja Karbon
Jumlah Unit	1
Panjang (m)	5,0383
Lebar (m)	5,0383

BAB VI

EVALUASI EKONOMI

Evaluasi ekonomi merupakan aspek penting dalam perancangan suatu pabrik industry untuk menilai kelayakan usaha serta efisiensi operasionalnya. Tujuan dari evaluasi ini adalah untuk mengidentifikasi potensi keuntungan maupun kerugian yang mungkin timbul secara ekonomi. Dalam menentukan apakah suatu pabrik layak secara ekonomi, perlu dipertimbangkan beberapa aspek utama seperti besarnya investasi awal, biaya operasional yang diperlukan, serta proyeksi pendapatan, termasuk analisis titik impas, yaitu kondisi saat total biaya operasional seimbang dengan keuntungan yang diperoleh. Beberapa faktor yang digunakan dalam evaluasi ekonomi antara lain sebagai berikut :

- a. *Return On Investment (ROI)*
- b. *Pay Out Time (POT)*
- c. *Discounted Cash Flow (DCF)*
- d. *Break Event Point (BEP)*
- e. *Shut Down Point (SDP)*

Sebelum mendirikan suatu pabrik, analisis ekonomi perlu dilakukan melalui perhitungan terhadap sejumlah aspek, di antaranya :

- 1. Penentuan Modal Industri (*Capital Investment*), terdiri dari :
 - a. Modal Tetap (*Fixed Capital Investment*)
 - b. Modal Kerja (*Working Capital*)

2. Penentuan Total Biaya Produksi (*Total Production Cost*), terdiri dari :
 - a. Biaya Pembuatan (*Manufacturing Cost*)
 - b. Biaya Pengeluaran Umum (*General Expenses*)
3. Pendapatan Modal, terdiri dari :
 - a. Biaya Tetap (*Fixed Cost*)
 - b. Biaya Variabel (*Variable Cost*)
 - c. Biaya Mengambang (*Regulated Cost*)

6.1. Penaksiran Harga Peralatan

Harga peralatan yang digunakan dalam proses produksi pabrik cenderung berubah setiap tahun karena dipengaruhi oleh kondisi ekonomi. Untuk menghitung harga peralatan pada rencana pendirian pabrik tahun 2029, digunakan indeks harga pada tahun tersebut. Analisis ini menggunakan data indeks harga peralatan dari tahun 1963 sampai 2000, yang ditampilkan pada tabel 6.1 berikut :

Tabel 6.1 Indeks Harga Alat

Tahun (X)	Indeks Harga (Y)
1963	102,4
1964	103,3
1965	104,2
1966	107,2
1967	109,7
1968	113,7
1969	119,0
1970	125,7
1971	132,3

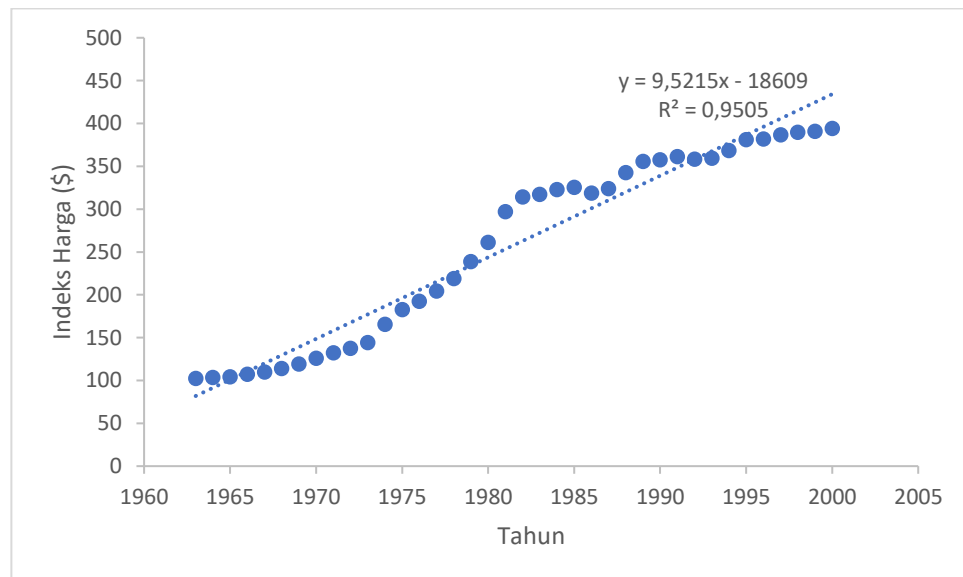
Lanjutan Tabel 6.1 Indeks Harga Alat

Tahun (X)	Indeks Harga (Y)
1972	137,2
1973	144,1
1974	165,4
1975	182,4
1976	192,1
1977	204,1
1978	218,8
1979	238,7
1980	261,2
1981	297,0
1982	314,0
1983	317,0
1984	322,7
1985	325,3
1986	318,4
1987	323,8
1988	342,5
1989	355,4
1990	357,6
1991	361,3
1992	358,2
1993	359,2
1994	368,1
1995	381,1
1996	381,7
1997	386,5
1998	389,5

Lanjutan Tabel 6.1 Indeks Harga Alat

Tahun (X)	Indeks Harga (Y)
1999	390,6
2000	394,1
Sumber : https://www.chemengonline.com/pci-home	

Dari data pada Tabel 6.1, dapat diperoleh persamaan linier yang ditampilkan dalam bentuk grafik pada Gambar 6.1 berikut :



Gambar 6.1 Grafik Indeks Harga Alat

Berdasarkan data pada Gambar 6.1, diperoleh persamaan regresi linier sebagai berikut :

$$y = 9,5215x - 18609 \quad [6.1]$$

Pabrik Gliserol dengan kapasitas 40.000 ton/tahun direncanakan akan dibangun pada tahun 2029. Dengan memasukkan nilai $x = 2029$ ke dalam persamaan tersebut, diperoleh nilai indeks harga tahun 2029 (y) sebesar 710,1. Untuk menentukan harga peralatan pada tahun pendirian pabrik, digunakan perbandingan antara indeks harga pada tahun referensi dan tahun pembelian, sesuai dengan persamaan berikut :

$$Ex = Ey \times \frac{Nx}{Ny} \quad [6.2]$$

Keterangan :

Ex : Harga pembelian pada tahun x

Ey : Harga pembelian pada tahun referensi

Nx : Indeks harga pada tahun pembelian

Ny : Indeks harga pada tahun referensi

(Aries & Newton, 1955)

6.2. Dasar Perhitungan

Analisis ekonomi pada pabrik gliserol disusun dengan mengacu pada dasar-dasar perhitungan sebagai berikut :

Kapasitas	: 40.000 ton/tahun
Satu tahun produksi	: 330 hari
Umur pabrik	: 10 tahun
Tahun pabrik didirikan	: 2029
Kurs mata uang	: 1 USD = Rp16.217

6.3. Perhitungan Biaya

6.3.1. Capital Investment

Capital Investment merupakan kelseluruhan biaya yang diperlukan untuk pembangunan dan persiapan sebuah pabrik hingga mencapai kondisi siap beroperasi. Berikut ini yang termasuk dalam *capital investment*, yaitu :

a. *Fixed Capital Investment (FCI)*

Fixed Capital Invesment merupakan biaya yang diperlukan untuk memperoleh modal tetap yang digunakan dalam pendirian fasilitas pabrik. Perhitungan yang dilakukan dalam perencanaan ini mencakup *physical plant cost*, *direct plant cost*, serta *fixed capital investment* secara keseluruhan, yang dijabarkan dalam tabel berikut :

Tabel 6.2 *Physical Plant Cost (PPC)*

No.	Jenis Capital Investment	Biaya (\$)	Biaya (Rp)
1.	<i>Delivered Equipment Cost</i>	\$3.446.894	Rp803.175.000
2.	<i>Equipment Installation</i>	\$280.323	Rp1.569.017.000
3.	<i>Piping Cost</i>	\$1.231.738	Rp1.814.176.000
4.	<i>Instrumentation Cost</i>	\$297.905	Rp147.095.000
5.	<i>Insulation</i>	\$75.529	Rp245.159.000
6.	<i>Electrical Cost</i>		Rp6.023.814.000
7.	<i>Building</i>		Rp148.600.000.000
8.	<i>Land and Yard Improvement</i>		Rp323.200.000.000
9.	<i>Utilities</i>	\$6.191.431	Rp25.824.915.000
<i>Physical Plant Cost (PPC)</i>		\$11.543.820	Rp508.227.351.000

Tabel 6.3 *Direct Plant Cost (DPC)*

No.	Jenis Capital Investment	Biaya (\$)	Biaya (Rp)
1.	<i>Engineering and Contraction</i>	\$2.308.764	Rp101.645.470.000
Total (PPC + DPC)		\$13.852.585	Rp609.872.821.000

Tabel 6.4 *Fixed Capital Investment (FCI)*

No.	Jenis Capital Investment	Biaya (\$)	Biaya (Rp)
1.	Total DPC	\$13.852.585	Rp609.872.821.000
2.	<i>Contractor Fee</i>	\$1.385.258	Rp60.987.282.000
3.	<i>Contingency</i>	\$2.077.888	Rp91.480.923.000
<i>Fixed Capital Investment (FCI)</i>		\$17.325.731	\$762.341.026.000

b. *Working Capital (WC)*

Working Capital merupakan biaya yang dibutuhkan sebagai modal kerja untuk menjalankan operasional pabrik dalam jangka waktu tertentu.

Perhitungan *working capital* dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 6.5 *Working Capital (WC)*

No.	Jenis <i>Working Capital</i>	Biaya (\$)	Biaya (Rp)
1.	<i>Raw-material Inventory</i>		733.082.859.000
2.	<i>In-process Inventory</i>	4.979	15.465.712.000
3.	<i>Product Inventory</i>	273.850	850.614.178.000
4.	<i>Extended Credit</i>	547.700	1.701.228.357.000
5.	<i>Available Cash</i>	273.850	850.614.178.000
<i>Working Capital (WC)</i>		1.100.379	4.151.005.284.000

6.3.2. Manufacturing Cost

Manufacturing cost merupakan total biaya yang diperlukan untuk mendukung seluruh aktivitas produksi di dalam pabrik. Biaya ini diperoleh dari akumulasi biaya langsung (*direct cost*), tidak langsung (*indirect cost*), serta *fixed manufacturing cost*.

a. *Direct Manufacturing Cost (DMC)*

Biaya produksi langsung merupakan biaya yang secara langsung terkait dengan proses pembuatan suatu produk. Perhitungan biaya yang diperlukan untuk *direct cost* disajikan pada tabel berikut :

Tabel 6.6 *Direct Manufacturing Cost (DMC)*

No.	Jenis Pengeluaran	Biaya (\$)	Biaya (Rp)
1.	<i>Raw material</i>		Rp4.334.824.973.000
2.	<i>Labor</i>		Rp12.546.000.000
3.	<i>Supervision</i>		Rp1.881.900.000
4.	<i>Maintenance</i>	\$1.212.101	Rp53.363.872.000
5.	<i>Plant Supplies</i>	\$181.815	Rp8.004.581.000
6.	<i>Royalties and Patents</i>		Rp10.000.000.000
7.	<i>Utilities</i>		Rp36.237.145.000
<i>Direct Manufacturing Cost (DMC)</i>		\$1.393.916	Rp4.456.858.471.000

b. *Indirect Manufacturing Cost (IMC)*

Biaya tidak langsung merupakan pengeluaran yang timbul sebagai konsekuensi dari produksi, namun tidak berkaitan secara langsung dengan proses pembuatan produk. Rincian perhitungan biaya yang termasuk dalam *indirect cost* disajikan pada tabel berikut :

Tabel 6.7 *Indirect Manufacturing Cost (IMC)*

No.	Jenis Pengeluaran	Biaya (Rp)
1.	<i>Payroll Overhead</i>	Rp2.509.200.000
2.	<i>Laboratory</i>	Rp2.509.200.000
3.	<i>Plant Overhead</i>	Rp12.546.000.000
4.	<i>Packaging</i>	Rp135.564.439.000
5.	<i>Shipping</i>	Rp884.768.759.000
<i>Indirect Manufacturing Cost (IMC)</i>		Rp1.037.897.598.000

c. *Fixed Manufacturing Cost (FMC)*

Biaya tetap merupakan jenis biaya yang mencerminkan investasi awal dalam bentuk modal tetap serta biaya terkait lainnya, di mana total biayanya tidak berubah seiring waktu, terlepas dari besar kecilnya tingkat produksi. Perhitungan biaya yang termasuk dalam *fixed cost* dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 6.8 *Fixed Manufacturing Cost (FMC)*

No.	Jenis Pengeluaran	Biaya (\$)	Biaya (Rp)
1.	<i>Depreciation</i>	\$1.731.573	Rp76.234.103.000
2.	<i>Property Taxes</i>		Rp10.431.485.000
3.	<i>Insurance</i>	\$173.157	Rp7.623.410.000
<i>Fixed Manufacturing Cost (FMC)</i>		\$1.904.730	Rp94.288.998.000

Tabel 6.9 *Total Manufacturing Cost*

No.	Jenis <i>Manufacturing Cost</i>	Biaya (\$)	Biaya (Rp)
1.	<i>Direct Manufacturing Cost (DMC)</i>	\$1.393.916	Rp4.456.858.471.000
2.	<i>Indirect Manufacturing Cost (IMC)</i>		Rp1.037.897.598.000
3.	<i>Fixed Manufacturing Cost (FMC)</i>	\$1.904.730	Rp94.288.998.000
<i>Total Manufacturing Cost</i>		\$3.298.646	Rp5.589.045.067.000

6.3.3. General Expense

General expense adalah biaya umum yang dikeluarkan untuk mendukung kelangsungan operasional pabrik secara keseluruhan, namun tidak secara langsung berkaitan dengan proses produksi. Biaya ini mencakup antara lain biaya administrasi, pemasaran, riset, dan keuangan.

a. *Administration*

Biaya administrasi perusahaan mencakup pengeluaran yang berkaitan dengan kegiatan manajerial secara keseluruhan, seperti gaji manajemen, biaya hukum, dan biaya audit. Untuk biaya administrasi dapat dihitung sebesar 2-3% dari total harga jual atau sekitar 3-6% dari total biaya *manufacturing cost*.

b. *Sales*

Biaya penjualan adalah biaya yang dikeluarkan untuk memasarkan dan menjual produk. Besarnya bisa berbeda-beda tergantung jenis barang, cara menjualnya, dan seberapa luas promosinya. Untuk biaya penjualan dihitung sekitar 3-12% dari harga jual atau 5-22% dari biaya produksinya.

c. *Research*

Biaya riset adalah biaya yang dikeluarkan perusahaan untuk penelitian dan pengembangan produk. Tujuannya untuk memperbaiki kualitas atau meningkatkan efisiensi. Pada industri kimia, biaya riset sebesar 2% dari hasil penjualan.

d. *Finance*

Biaya keuangan merupakan pengeluaran terkait pengelolaan dana perusahaan, seperti bunga pinjaman, biaya bank, dan jasa keuangan. Presentase bunga yang dikenakan terhadap pinjaman modal ditetapkan sebesar 6%.

Rincian dari seluruh biaya yang termasuk dalam *general expense* disajikan pada tabel berikut :

Tabel 6.10 *Total General Expense*

No.	Jenis <i>General Expense</i>	Biaya (\$)	Biaya (Rp)
1.	<i>Administration</i>		Rp203.346.659
2.	<i>Sales</i>		Rp135.564.439.000
3.	<i>Research</i>		Rp169.455.549.000
4.	<i>Finance</i>	\$184.203	Rp179.703.583.000
Total <i>General Expense</i>		\$184.203	Rp688.070.230.000

Tabel 6.11 *Total Production Cost*

No.	Jenis <i>Production Cost</i>	Biaya (\$)	Biaya (Rp)
1.	Total <i>Manufacturing Cost</i>	\$3.298.646	Rp5.589.045.067.000
2.	Total <i>General Expense</i>	\$184.203	Rp688.070.230.000
Total <i>Production Cost</i>		\$3.482.849	Rp6.277.225.297.000

6.4. Analisa Keuntungan

Tabel 6.12 Analisa Keuntungan

Hasil Penjualan	: Rp6.778.221.962.000
Biaya Produksi	: Rp6.333.596.311.000
Keuntungan Sebelum Pajak	: Rp444.625.651.000
Pajak Pendapatan	: Rp97.817.643.000
Keuntungan Setelah Pajak	: Rp346.808.008.000

6.5. Analisa Kelayakan

Kelayakan pabrik gliserol ini dianalisis berdasarkan parameter pada aspek ekonomi. Pabrik ini termasuk dalam kategori risiko *low risk* karena menggunakan teknologi yang telah tersedia dan telah diterapkan di Indonesia. Selain itu, proses produksi berlangsung pada suhu maksimum 400°C dan tekanan 10,84 bar. Adapun beberapa cara yang digunakan untuk mengevaluasi kelayakan proyek ini adalah sebagai berikut :

6.5.1. *Return on Investment (ROI)*

Return on Investment digunakan untuk mengukur tingkat keuntungan yang diperoleh dari suatu investasi dibandingkan dengan total modal yang telah dikeluarkan. Pabrik kimia dengan tingkat risiko rendah memiliki nilai minimum ROI sebelum pajak sebesar 11%. Perhitungan ROI dapat dilakukan menggunakan persamaan berikut :

$$ROI = \frac{\text{Keuntungan}}{\text{Fixed Capital}} \times 100\% \quad [6.3]$$

- a. ROI b (Keuntungan Sebelum Pajak)

$$ROI = \frac{\text{Keuntungan (Sebelum Pajak)}}{\text{Fixed Capital}} \times 100\% = 43\% \quad [6.4]$$

- b. ROI a (Keuntungan Setelah Pajak)

$$ROI = \frac{\text{Keuntungan (Setelah Pajak)}}{\text{Fixed Capital}} \times 100\% = 33\% \quad [6.5]$$

Keuntungan pabrik dihitung berdasarkan *annual sales* (Sa) dan total *manufacturing cost*, sedangkan biaya keuangan mencakup pengembalian utang selama masa pendirian pabrik.

6.5.2. Pay Out Time (POT)

Pay Out Time adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan investasi awal melalui pendapatan yang dihasilkan hingga setara dengan total modal yang telah dikeluarkan. Untuk pabrik kimia berisiko rendah, batas maksimum POT sebelum pajak adalah 5 tahun. Perhitungan POT dilakukan menggunakan persamaan berikut :

$$POT = \frac{\text{Fixed Capital Investment}}{(\text{Keuntungan} + \text{Depresiasi})} \quad [6.6]$$

- a. POT b (Sebelum Pajak)

$$POT = \frac{\text{Fixed Capital Investment}}{(\text{Keuntungan} + \text{Depresiasi})} = 1,9 \text{ Tahun} \quad [6.7]$$

- b. POT a (Setelah Pajak)

$$POT = \frac{\text{Fixed Capital Investment}}{(\text{Keuntungan} + \text{Depresiasi})} = 2,3 \text{ Tahun} \quad [6.8]$$

6.5.3. Break Even Point (BEP)

Break Even Point merupakan kondisi di mana total pendapatan sama dengan total biaya yang dikeluarkan, sehingga perusahaan berada pada posisi

tidak untung maupun rugi. Pada titik ini, kapasitas produksi dijual setara dengan total biaya operasional. Secara umum, nilai BEP berada dalam kisaran 40%-60%. Jika BEP suatu pabrik berada di bawah kisaran tersebut, maka berisiko mengalami kerugian. Perhitungan BEP dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\text{BEP} = \frac{(Fa + 0,3 Ra)}{(Sa - Va - 0,7 Ra)} \times 100\% \quad [6.9]$$

Keterangan :

Fa : *Annual fixed manufacturing cost* pada produksi maksimum

Ra : *Annual regulated expenses* pada produksi maksimum

Sa : *Annual sales value* pada produksi maksimum

Va : *Annual variable value* pada produksi maksimum

Tabel 6.13 Total *Annual Fixed Manufacturing Cost* (Fa)

No.	Jenis Total Fa	Biaya (\$)	Biaya (Rp)
1.	<i>Depreciation</i>	\$1.731.573	Rp76.234.103.000
2.	<i>Taxes</i>		Rp10.431.485.000
3.	<i>Insurance</i>	\$173.157	Rp7.623.410.000
Total Fa		\$1.904.730	Rp94.288.988.000

Tabel 6.14 *Total Annual Regulated Expenses (Ra)*

No.	Jenis Total Ra	Biaya (\$)	Biaya (Rp)
1.	<i>Labor</i>		Rp12.546.000.000
2.	<i>Payroll Overhead</i>		Rp2.509.200.000
3.	<i>Plant Overhead</i>		Rp12.546.000.000
4.	<i>Plant Supplies</i>	\$181.815	Rp8.004.581.000
5.	<i>Supervision</i>		Rp1.881.900.000
6.	<i>Laboratory</i>		Rp2.509.200.000
7.	<i>General Expenses</i>	\$184.203	Rp688.070.230.000
8.	<i>Maintenance</i>	\$1.212.101	Rp53.363.872.000
Total Ra		\$1.578.119	Rp781.430.983.000

Tabel 6.15 *Total Annual Variable Value (Va)*

No.	Jenis Total Va	Biaya (Rp)
1.	<i>Raw material</i>	Rp4.334.824.973.000
2.	<i>Packaging</i>	Rp135.564.439.000
3.	<i>Shipping</i>	Rp884.768.759.000
4.	<i>Utilities</i>	Rp36.237.145.000
5.	<i>Royalties and Patents</i>	Rp10.000.000.000
Total Va		Rp5.401.395.316.000

Tabel 6.16 *Total Annual Sales Value (Sa)*

No.	Jenis Total Sa	Biaya (Rp)
1.	<i>Annual Sales Value</i>	Rp6.778.221.962.000
Total Sa		Rp6.778.221.962.000

Nilai BEP dapat diperoleh dengan mensubstitusikan hasil perhitungan Fa, Ra, Va, dan Sa ke dalam persamaan perhitungan BEP, sehingga diperoleh nilai BEP sebesar 45%.

6.5.4. Shut Down Point (SDP)

Shut Down Point adalah kondisi di mana perusahaan memutuskan untuk menghentikan kegiatan produksi sementara karena biaya variable yang dikeluarkan sama atau melebihi pendapatan dari penjualan. Dalam situasi ini, melanjutkan operasional justru menyebabkan kerugian yang lebih besar dibandingkan dengan menghentikan produksi dan hanya menanggung biaya tetap. Perhitungan SDP dapat dilakukan menggunakan persamaan berikut :

$$SDP = \frac{0,3 Ra}{(Sa - Va - 0,7 Ra)} \times 100\% \quad [6.10]$$

Nilai SDP diperoleh dengan memasukkan hasil perhitungan Ra, Va, dan Sa ke dalam persamaan SDP, sehingga didapatkan nilai SDP sebesar 30%.

6.5.5. Discounted Cash Flow Rate of Return (DCFRR)

Discounted Cash Flow Rate of Return merupakan metode evaluasi profitabilitas yang mempertimbangkan nilai waktu terhadap uang, dengan menghitung nilai sekarang dari investasi yang belum kembali di setiap akhir tahun selama masa operasional pabrik. Nilai minimum DCFRR senilai 6% sehingga nilai perhitungan DCFRR dilakukan menggunakan persamaan berikut :

$$(FC + WC)(I + 1)^n = CF(I + 1)^n + WC + SV \quad [6.11]$$

Keterangan :

I : Nilai DCFRR

n : Umur pabrik

FC : *Fixed Capital*

WC : *Working Capital*

SV : *Salvage Value*

CF : *Cash Flow = Profit after taxes + depreciation + finance*

Berdasarkan hasil perhitungan, nilai DCFRR diperoleh sebagai berikut :

Umur pabrik = 10 Tahun

Fixed Capital Investment = Rp1.043.148.499.000

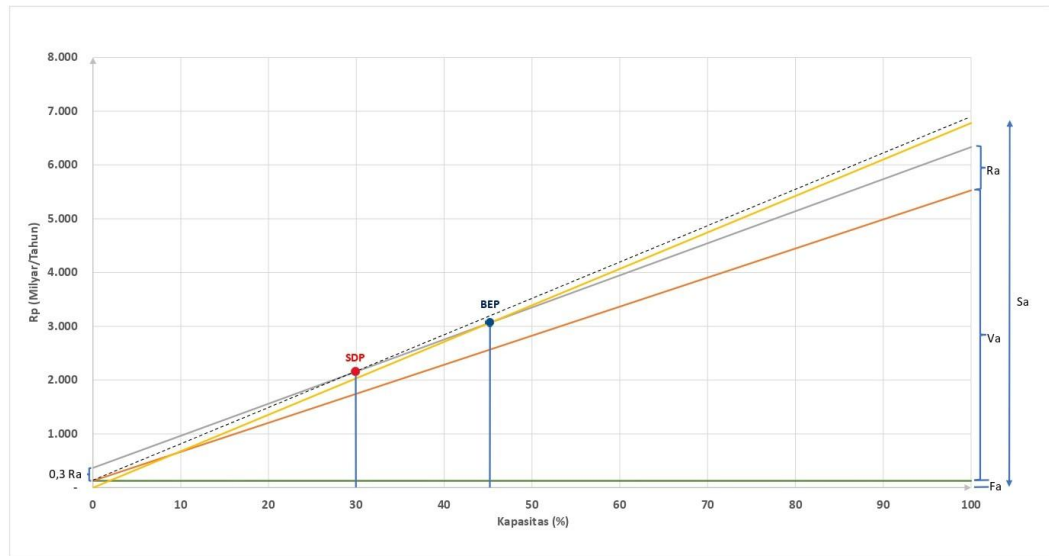
Working Capital Investment = Rp2.250.630.999.000

Salvage Value = Rp471.800.000.000

Cash Flow = Rp633.813.642.000

Discounted Cash Flow Rate of Return = nilai I = 22% (dihitung *trial and error*)

Nilai DCFRR yang telah diperoleh yaitu sebesar 3 kali bunga bank.



Gambar 6.2 Grafik Evaluasi Ekonomi

Keterangan :

BEP : *Break Even Point*

SDP : *Shut Down Point*

Fa : *Annual fixed manufacturing cost*

Ra : *Annual regulated expenses*

Sa : *Annual sales value pada*

Va : *Annual variable value*

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis pra-rancangan pabrik gliserol dari minyak jagung dan metanol dengan kapasitas produksi 40.000 ton/tahun, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Pabrik gliserol dengan kapasitas 40.000 ton/tahun direncanakan berlokasi di Karawang, Jawa Barat dengan kebutuhan lahan seluas 40.400 m².
2. Berdasarkan peninjauan pra-rancangan meliputi kondisi operasi, ketersediaan dan kemudahan pengadaan bahan baku, keberadaan pabrik skala komersial, serta akses distribusi yang memadai, pabrik gliserol ini dikategorikan sebagai pabrik dengan tingkat risiko (*low risk*).
3. Hasil analisis dan evaluasi ekonomi menunjukkan bahwa pabrik gliserol memiliki keuntungan dan parameter kelayakan sebagai berikut :
 - a. Keuntungan sebelum pajak sebesar Rp444.625.651.000 dan keuntungan setelah pajak sebesar Rp346.808.008.000.
 - b. *Return on Investment* (ROI)
 - ROI sebelum pajak = 43%
 - ROI setelah pajak = 33%Memenuhi syarat ROI minimum 11% untuk pabrik berisiko rendah.
 - c. *Pay Out Time* (POT)
 - POT sebelum pajak = 1,9 Tahun

- POT setelah pajak = 2,3 Tahun

Memenuhi syarat POT maksimum 5 tahun untuk pabrik berisiko rendah.

- d. *Break Even Point* (BEP) diperoleh sebesar 45%, berada dalam rentang BEP umum industri yaitu 40% - 60%.
- e. *Shut Down Point* (SDP) diperoleh sebesar 30%.
- f. *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCFRR) diperoleh sebesar 22%.

Berdasarkan keseluruhan hasil evaluasi ekonomi tersebut, pabrik gliserol dari minyak jagung dan metanol dengan kapasitas 40.000 ton/tahun dinyatakan layak untuk didirikan karena memenuhi kriteria kelayakan teknis dan ekonomi.

7.2. Saran

Dalam perancangan suatu pabrik kimia, diperlukan pemahaman mengenai konsep dasar yang mendukung kelayakan pendirian pabrik. Beberapa hal penting yang perlu diperhatikan antara lain :

1. Optimalisasi pemilihan peralatan proses dan bahan baku agar diperoleh efisiensi produksi serta keuntungan yang maksimal.
2. Pengelolaan limbah pabrik harus dilakukan secara efisien dan optimal untuk menciptakan pabrik kimia yang ramah lingkungan.
3. Pendirian pabrik gliserol layak direalisasikan mengingat kebutuhan gliserol di Indonesia yang terus meningkat dari waktu ke waktu.

DAFTAR PUSTAKA

- Apetrei, C. (Ed.). (2015). *Corn and coconut oil: Antioxidant properties, uses and health benefits*. New York, United States: Nova Science Publishers.
- Aries, L., & Newton, R. (1955). *Chemical engineering cost estimation*. New York, United States: McGraw-Hill.
- Brownell, L. E., & Young, E. H. (1959). *Process equipment design*. New York, United States: John Wiley & Sons.
- Edwards, J. E. (2008). *Design and rating of shell and tube heat exchangers*. Teesside, United Kingdom: P & I Design Ltd.
- Holland, F. A., & Chapman, F. S. (1966). *Liquid mixing*. London, United Kingdom: Van Nostrand Reinhold.
- Jamal, Y., Rabie, A. I., & Boulanger, B. O. (2014). *Determination of methanolysis rate constants for low and high fatty acid oils using heterogeneous surface reaction kinetic models. Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis*, 113(2), 421–432.
- Kern, D. Q. (1950). *Process heat transfer*. New York, United States: McGraw-Hill.
- Peters, M. S., & Timmerhaus, K. D. (1991). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers* (4th ed.). New York: McGraw-Hill.
- Peters, M. S., Timmerhaus, K. D., & West, R. E. (2003). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers* (5th ed.). New York: McGraw-Hill.

Silla, H. (2003). *Chemical Process Engineering: Design and Economics*. New York: Marcel Dekker.

Yaws, C. L. (1999). *Chemical properties handbook: Physical, thermodynamic, environmental, transport, safety, and health related properties for organic and inorganic chemicals*. New York, United States: McGraw-Hill.

Badan Pusat Statistik (BPS), <https://www.bps.go.id/> diakses pada tanggal 27 Mei 2024

Chemical Engineering Plant Cost Index, <https://www.chemengonline.com/pci-home> diakses pada tanggal 13 Juli 2025

Data konsumsi gliserol di Indonesia, <https://www.globenewswire-com> diakses pada tanggal 27 mei 2024

Harga alat, <https://www.matche.com> diakses pada tanggal 1 Juli 2025

LAMPIRAN A

PERANCANGAN REAKTOR

Data :

Suhu operasi = 50 °C

Tekanan operasi = 1 atm

1. Massa Masuk Reaktor

Komponen	Masuk (kg/jam)	Keluar (kg/jam)
C ₅₂ H ₉₅ O ₆	49.464,9007	2.473,2450
CH ₄ O	5.547,4655	277,3732
H ₂ O	56,0350	56,0350
C ₃ H ₈ O ₃		5.050,5050
C ₁₇ H ₃₄ O ₂		14.822,1343
C ₁₉ H ₃₆ O ₂		16.249,4510
C ₁₉ H ₃₄ O ₂		16.139,6574
Total	55.068,4012	55.068,4012

2. Menentukan Volume Reaktor

Konversi (x) = 0,95

k = 7,48 x 10⁻⁴ jam

K = 1,1 x 10⁻⁴ m³/kmol

M = 3

F_{A0} = 2,8893 kmol/jam

Komposisi bahan keluar reaktor :

Komponen	Keluar (kmol/jam)	Keluar (kg/jam)	ρ (kg/m ³)	Fv (m ³ /jam)
C ₅₂ H ₉₅ O ₆	2,8893	2.473,2450	917	2,6971
CH ₄ O	8,6679	277,3732	764	0,3630
H ₂ O	3,1130	56,0350	1.004,287	0,0557
C ₃ H ₈ O ₃	54,8967	5.050,5050	1.241,714	4,0673
C ₁₇ H ₃₄ O ₂	54,8967	14.822,1343	860	17,2350
C ₁₉ H ₃₆ O ₂	54,8967	16.249,4510	879	18,4862
C ₁₉ H ₃₄ O ₂	54,8967	16.139,6574	890	18,1344
Total	234,2574	55.068,4012		61,0390

Persamaan kinetika reaksi, r :

$$r = \frac{k(M-X)}{(1+K)(1-X)} \quad [1]$$

Untuk menentukan jumlah reaktor yang digunakan, perlu diperhatikan

dalam beberapa hal berikut ini :

Persamaan *Damkohler number* :

$$Da = \frac{\text{reaction rate}}{\text{flow}} = \frac{-r_{A0}V}{F_{A0}} \quad [2]$$

$$C_{An} = \frac{C_{A0}}{(1+Da)^n} \quad [3]$$

$$xn = 1 - \frac{1}{(1+Da)^n} \quad [4]$$

Persamaan volume :

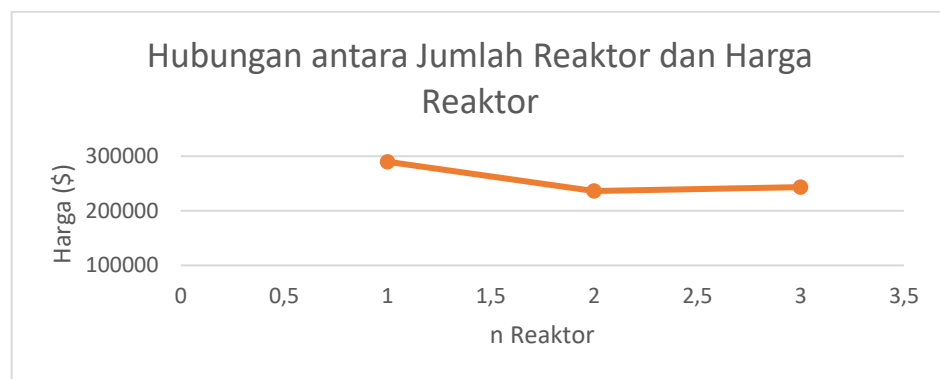
$$V = \tau F_{A0} \quad [5]$$

Persamaan waktu :

$$\tau = \frac{Da}{r} \quad [6]$$

	Bila menggunakan 1 reaktor	Bila menggunakan 2 reaktor	Bila menggunakan 3 reaktor
Da	18,9077	3,4354	1,7094
n	1	2	3
x	0,95	0,95	0,95
r	0,3052	0,3017	0,3049
τ (jam)	61,9467 jam	11,3862 jam	5,6054 jam
V (m ³)	178,9830 m ³	32,8984 m ³	16,1959 m ³
Harga (\$)	\$289.900	\$236.200	\$243.300

Harga yang diperoleh untuk menentukan jumlah reaktor dapat dilihat pada grafik di bawah ini :



Berdasarkan grafik di atas menunjukkan dengan menggunakan 2 reaktor akan lebih ekonomis jika dibandingkan dengan menggunakan 1 reaktor maupun 3 reaktor.

3. Ukuran Reaktor

$$\begin{aligned}\text{Kapasitas volume nominal} &= 32,8984 \text{ m}^3 \\ &= 8.691,7902 \text{ gall}\end{aligned}$$

$$\text{Kapasitas volume terpasang} = 8.765 \text{ gall}$$

$$\text{Diameter luar, OD} = 3,3528 \text{ m}$$

Bahan konstruksi : Baja Karbon

a. Tebal dinding

$$ts = \frac{P R_o}{f_{all} \epsilon + 0,4 P} + C \quad [7]$$

Dengan :

$$P = 50,6625 \text{ kPa}$$

$$R_o = 1,6764 \text{ m}$$

$$\text{Fall } \epsilon = 0,85 \text{ (Megyesy)}$$

$$C'' = 0,0015 \text{ m}$$

Maka didapatkan nilai ts sebesar 0,1039 in dengan dipilih tebal dinding reaktor standar sebesar 0,4375 in.

b. Ukuran head

Jenis head : *Torispherical Dished*

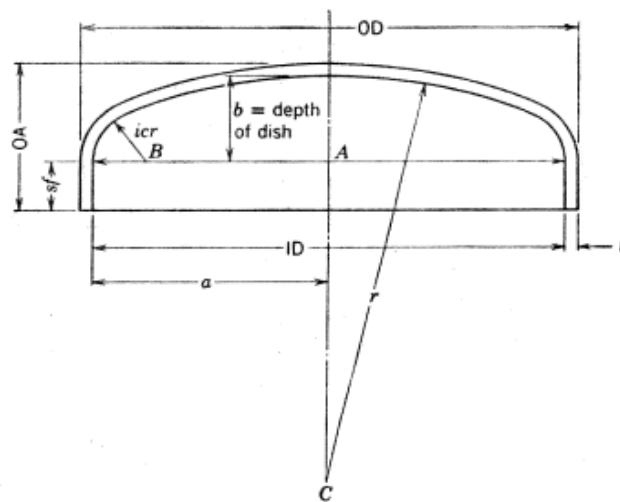


Fig. 5.8. Dimensional relationships for flanged and dished heads.

$$a = \frac{ID}{2}$$

$$b = r - \sqrt{(BC)^2 - (AB)^2}$$

$$AB = \frac{ID}{2} - (icr)$$

$$BC = r - (icr)$$

$$AC = \sqrt{(BC)^2 - (AB)^2}$$

$$OA = t + b + sf$$

Dengan :

$$OA \text{ (Tinggi head)} = 0,6698 \text{ m}$$

$$icr \text{ (Jari-jari kelengkungan pojok)} = 0,2032 \text{ m}$$

$$r \text{ (Jari-jari kelengkungan)} = 3,302 \text{ m}$$

$$b \text{ (Kedalaman)} = 0,5698 \text{ m}$$

$$sf \text{ (Straight flange)} = 0,0889 \text{ m}$$

$$AB = 1,4620 \text{ m}$$

$$BC = 3,0988 \text{ m}$$

$$AC = 2,7321 \text{ m}$$

$$a = 1,6652 \text{ m}$$

$$ID = 3,3305 \text{ m}$$

$$OD = 3,3528 \text{ m}$$

(Brownell and Young, 1959)

c. Tinggi reaktor = 4,6982 m

4. Ukuran Pengaduk

Jenis pengaduk : flate-blade turbin

a. Diameter reaktor (D_t) = 3,3305 m

b. Diameter pengaduk (D_i) = $1/3 D_t$ = 1,1101 m

c. Lebar *baffle* = $1/10 D_t$ = 0,3330 m

d. Tinggi cairan = $1,0 D_t$ = 3,3305 m

e. Tinggi pengaduk = $1,0 D_i$ = 1,1101 m

f. Tebal pengaduk = $1/5 D_i$ = 0,2220 m

g. Panjang pengaduk = $1/4 D_i$ = 0,2775 m

h. Panjang *flate blade turbine* = $1/8 D_i$ = 0,1387 m

Dipilih kecepatan putar sebesar 500 ft/menit, kemudian diperoleh nilai rpm sebesar 43,7177.

Bilangan Reynold

$$Re = \frac{\rho l N D i^2}{\mu l} \quad [8]$$

Dengan :

$$\rho l = 902,1824 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu l = 0,00045 \text{ kg/m.s}$$

$$\text{rpm} = 0,7286 \text{ rotasi/s}$$

$$Re = 1.787.687$$

5. Daya Penggerak

Diperoleh :

$$\text{Daya penggerak} = 2.354,3036 \text{ watt atau } 3,1571 \text{ kW}$$

$$\text{Efisiensi} = 80\%$$

$$\text{Daya motor} = 4 \text{ HP}$$

6. Media Pendingin

Nilai U_d berkisar 200-300 J/m.s.K, maka :

$$\text{Dipilih nilai } U_d = 300 \text{ J/m.s.K}$$

$$= 0,3 \text{ kJ/m.s.K}$$

Luas perpindahan kalor yang diperlukan :

$$A = \frac{Q_{pp}}{U_d LMTD} \quad [9]$$

Dengan :

$$Q_{pp} \text{ (Panas yang harus diserap media pendingin)} = 669.804 \text{ kJ/jam}$$

$$LMTD = 42,4509 \text{ K}$$

$$\text{Nilai A} = 157,2559 \text{ ft}^2$$

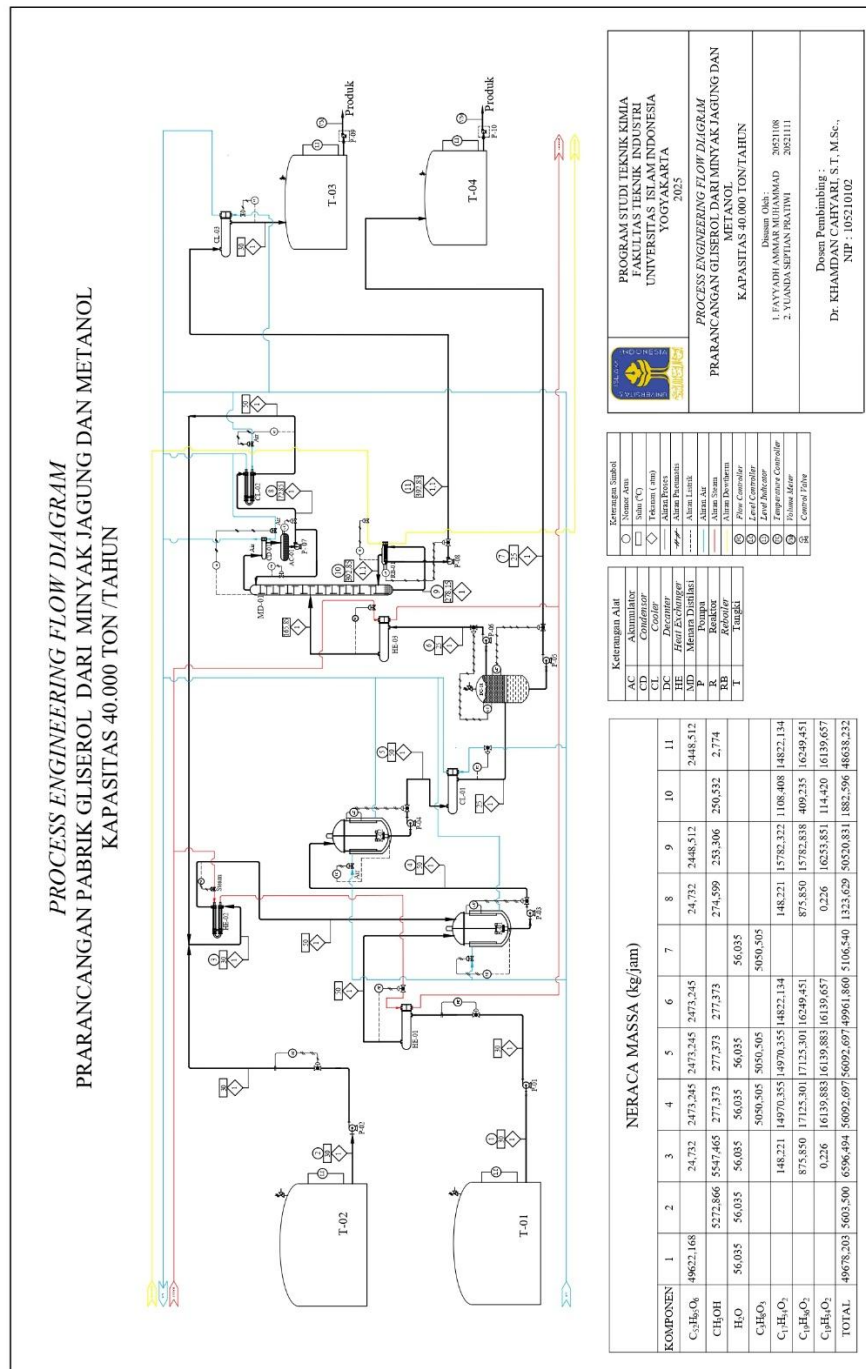
Luas selimut :

$$A \text{ tersedia} = \pi \times Dt \times Hl + \pi Dt^{2/4} \quad [10]$$

$$A \text{ tersedia} = 468,6495 \text{ ft}^2$$

Luas selimut yang tersedia > luas perpindahan kalor yang diperlukan, maka media pendingin yang digunakan yaitu media jaket. Kemudian diperoleh tebal jaket sebesar 3,3545 m.

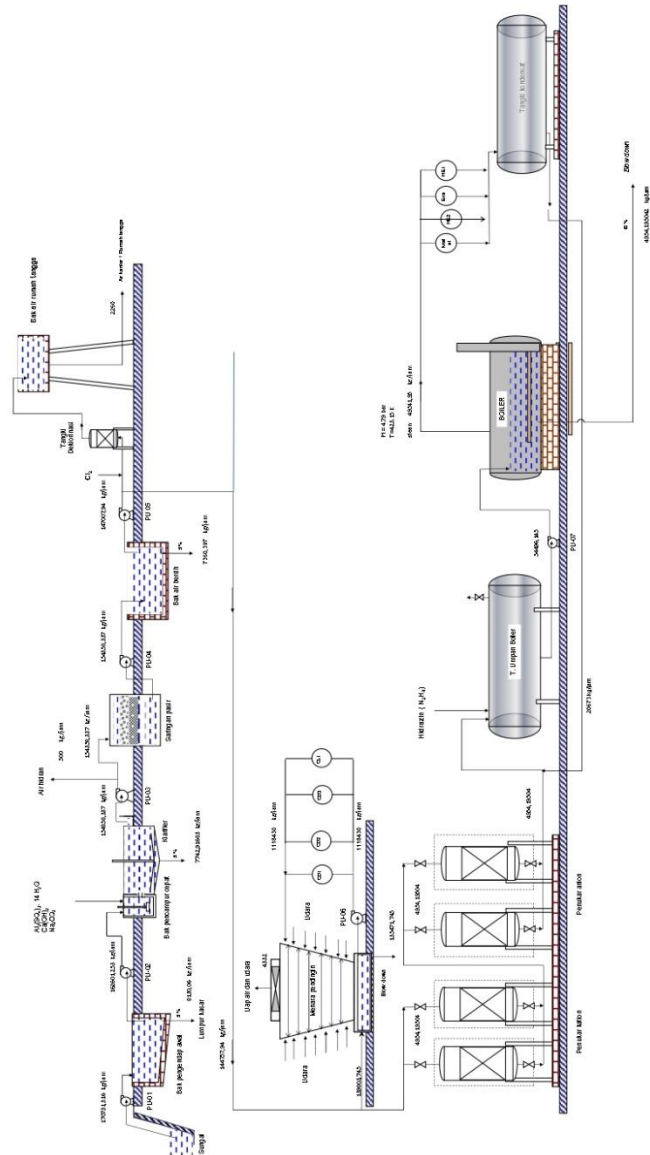
PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM (PEFD)



Lampiran C

Gambar Utilitas

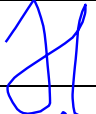
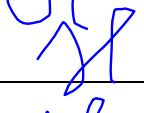
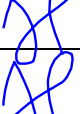
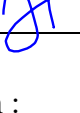
UTILITAS



Lampiran D
KARTU KONSULTASI BIMBINGAN PRA RANCANGAN PABRIK

Nama Mahasiswa 1 : Fayyadh Ammar Muhammad
 No. Mahasiswa 1 : 20521108
 Nama Mahasiswa 2 : Yuanda Septian Pratiwi
 No. Mahasiswa 2 : 20521111
 Judul Pra rancangan Pabrik : Prarancangan Pabrik Gliserol dari Minyak Jagung dan Metanol dengan Kapasitas 40.000 Ton/Tahun
 Mulai Masa Bimbingan : 20 Maret 2024
 Selesai Masa Bimbingan : 29 Juli 2025

No	Tanggal	Materi Bimbingan	Paraf Dosen
1.	20 Maret 2024	Perkenalan dan diskusi awal	
2.	22 Mei 2024	Konsultasi penentuan kapasitas	
3.	26 Juni 2024	Konsultasi pemilihan proses	
4.	14 Agustus 2024	Konsultasi spesifikasi bahan	
5.	25 September 2024	Konsultasi diagram alir kualitatif	
6.	30 Oktober 2024	Konsultasi neraca massa	
7.	17 Februari 2025	Konsultasi perancangan reaktor	
8.	19 Februari 2025	Konsultasi perancangan reaktor	
9.	24 Februari 2025	Konsultasi perancangan reaktor	
10.	27 Februari 2025	Konsultasi perancangan reaktor	
11.	4 Maret 2025	Konsultasi perancangan alat pemisah dan unit operasi pendukung	
12.	7 Maret 2025	Konsultasi perancangan alat pemisah dan unit operasi pendukung	
13.	11 Maret 2025	Konsultasi perancangan alat pemisah dan unit operasi pendukung	
14.	12 Maret 2025	Konsultasi pembuatan PEFD	
15.	14 Mei 2025	Konsultasi perancangan alat penyimpanan bahan	

16.	18 Juni 2025	Konsultasi perancangan alat transportasi bahan	
17.	24 Juni 2025	Konsultasi perancangan alat penukar panas dan konsultasi perhitungan neraca panas	
18.	3 Juli 2025	Konsultasi penentuan lokasi, tata letak pabrik, dan struktur organisasi pabrik perusahaan	
19.	22 Juli 2025	Konsultasi perancangan unit utilitas	
20.	29 Juli 2025	Konsultasi perhitungan evaluasi ekonomi	
21.	6 Agustus 2025	Konsultasi penyusunan naskah	

Disetujui Draft Penulisan :
Yogyakarta, 11 Agustus 2025
Pembimbing,



Dr. Khamdan Cahyari, S.T., M.Sc.

NIP : 105210102