

**PRARANCANGAN PABRIK DIOKTILOTEREFTALAT
DARI ASAM TEREFTALAT DAN 2-ETILHEKSANOL
KAPASITAS 120.000 TON / TAHUN**

PRARANCANGAN PABRIK

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



Disusun Oleh :

Nama : Ali Hasan

NIM : 21521024

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

2024

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN HASIL

PRARANCANGAN PABRIK DIOKTILOTEREFTALAT DARI ASAM TEREFTALAT DAN 2-ETIL-HEKSANOL KAPASITAS 120.000 TON / TAHUN

Saya yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Ali Hasan

NIM : 21521024

Yogyakarta, 09 september 2024

Menyatakan bahwa naskah prarancangan pabrik ini sudah ditulis sesuai kaidah ilmiah. Apabila dikemudian hari terbukti ada plagiasi atau pelanggaran lainnya, maka saya siap menanggung risiko dan konsekuensi apapun.

Demikian surat pernyataan ini saya buat, semoga dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

A blue official stamp from the Indonesian Ministry of Education, Culture, and Higher Education (KEMDIKBUD). The stamp contains the text 'KEMDIKBUD', 'METRAJAL', 'TEMPEK', and a unique identifier '1008FAMX231543895'. A handwritten signature in black ink is written over the stamp.

Ali Hasan

NIM. 21521024

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

PRARANCANGAN PABRIK DIOKIL TEREF TALAT DARI ASAM

TEREF TALAT DAN 2-ETIL-HEKSANOL KAPASITAS 120.000

TON/TAHUN

TUGAS AKHIR



LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

PRARANCANGAN PABRIK DIOKIL TEREFTALAT DARI ASAM
TEREFTALAT DAN 2-ETIL-HEKSANOL KAPASITAS 120.000 TON /
TAHUN

PRARANCANGAN PABRIK

Oleh :

Nama : Ali Hasan

NIM : 21521024

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, 19 Juni 2025

Tim Penguji,

Ajeng Yulianti Dwi Lestari, S.T., M.T.
Ketua

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

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

9 Juli 2025

3/ Juli 2025

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Kimia
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia



Prof. Sholeh Ma'mun, S.T., M.T., Ph.D
NIK. 99520045

KATA PENGANTAR



Assalammua'laikum Wr.Wb.

Alhamdulillahirabbil'alam, kita selalu bersyukur kepada Allah SWT, yang telah memberi kita semua nikmat dan karunia, sehingga kami dapat menyelesaikan laporan tugas akhir prarancangan pabrik kimia yang baik. Semoga sholawat dan salam selalu dilimpahkan oleh Allah SWT kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW yang telah membimbing kita dari jalan yang gelap gulita menuju jalan yang terang benderang yaitu agama Islam dari zaman jahiliyah ke zaman ilmu pengetahuan saat ini.

Untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Kimia di Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia di Yogyakarta, tugas prarancangan pabrik kimia dengan judul "PRARANCANGAN PABRIK DIOKTIL TEREFTALAT DARI ASAM TEREFTALAT DAN 2-ETIL-HEKSANOL KAPASITAS 120.000 TON/TAHUN" adalah salah satu syarat. Tugas ini disusun dengan menerapkan dan mengaplikasikan berbagai ilmu yang telah didapat semasa perkuliahan di jurusan Teknik Kimia.

Dengan bantuan dari berbagai pihak, laporan tugas prarancangan pabrik kimia ini dapat ditulis dengan lancar. Oleh karena itu, penyusun ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT karena atas kehendak, berkat, dan rahmat-Nya, penulis diberikan kesehatan, pemikiran yang jernih, kemampuan menyelesaikan masalah dengan baik dan kemudahan dalam menemukan sumber penunjang penulisan tugas akhir.
2. Kedua orang tua dan adik saya yang telah memberikan semangat dan membiayai saya selama perkuliahan dengan UKT yang begitu mahal. Tak lupa dengan doa kepada saya selama penyusunan tugas akhir ini.
3. Diri saya sendiri, terima kasih diriku yang telah berjuang secara *solo rank* selama perkuliahan dengan suasana yang datar tiada kesan selama perkuliahan dan sebagai *support system* terbaik adalah diriku sendiri.
4. Ibu Ajeng Yulianti Dwi Lestari, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing tugas akhir ini yang telah membantu dan memberikan ilmunya sehingga bisa terselesaikannya dengan maksimal.
5. Prof. Sholeh Ma'mun, S.T., M.T., Ph.D. selaku ketua program studi teknik kimia yang telah mengesahkan naskah tugas akhir ini.
6. Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M.T., IPU. selaku Dekan FTI yang telah menandatangani naskah ini.
7. Andrian yang telah berkontribusi banyak pada penyusunan dan sistematika perhitungan ta saya.
8. Seorang bapak yang suka berjalan kaki dan suka mendaki gunung yang membawa inspirasi bagi saya ini.
9. Seluruh tumbuhan yang sudah memberikan pasokan oksigen yang cukup.

10. Dhimas temanku yang ada di UIN MALANG yang selalu mengerti keadaan dan memberikan kesan setiap pertemuan membuatku semakin semangat, terutama pada kata-kata bijaknya.
11. Azmi temanku yang ada di UGM yang sangat ringan tangan membantu dalam hal apapun salah satunya pencarian sumber, tidak terlalu memperhatikan aturan-aturan yang tidak jelas dan mengutamakan kepentingan temannya. Terima kasih banyak.
12. Vandi teman terbaikku sejak kecil yang sudah tiada, yang telah memberikan terima kasihnya kepada saya dengan mengacungkan tangan kanan jempolnya.
13. Semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu dalam membantu penyusunan naskah tugas akhir ini.

DAFTAR ISI

PRARANCANGAN PABRIK DIOKTILOTEREFTALAT.....	0
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN HASIL.....	1
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING.....	2
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	3
KATA PENGANTAR.....	4
DAFTAR ISI.....	7
DAFTAR TABEL.....	11
DAFTAR GAMBAR.....	13
DAFTAR LAMPIRAN.....	14
DAFTAR LAMBANG/NOTASI/SINGKATAN.....	15
ABSTRAK.....	17
ABSTRACT.....	18
BAB I	
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Penentuan Kapasitas Pabrik.....	4
1.2.1 Kapasitas Pabrik yang Telah Berdiri.....	4
1.2.2 Konsumsi dalam Negeri.....	6
1.2.3 Ketersediaan Bahan Baku.....	9
1.3 Tinjauan Pustaka.....	10
1.3.1 Esterifikasi.....	11
1.3.2 Transesterifikasi.....	22
1.3.3 Alkoholisasi Polietilen Tereftalat (PET).....	24
1.4 Tinjauan Kinetika dan Termodinamika.....	28
1.4.1 Tinjauan Kinetika.....	28
1.4.2 Tinjauan Termodinamika.....	29
BAB II	
PERANCANGAN PRODUK.....	33
2.1 Spesifikasi Produk.....	33
2.1.1 Dioctyl Terephthalate (DOTP).....	33
2.1.1.1 Sifat Fisika.....	33
2.1.1.2 Sifat Kimia.....	34
2.2 Spesifikasi Produk Samping.....	34
2.2.1 Air.....	34
2.2.1.1 Sifat Fisika.....	34
2.2.1.2 Sifat Kimia.....	35
2.3 Spesifikasi Bahan Baku Utama.....	36

2.3.1 Asam Tereftalat (TPA).....	36
2.3.1.1 Sifat Fisika.....	36
2.3.1.2 Sifat Kimia.....	36
2.3.2 2-Etil Heksanol.....	37
2.3.2.1 Sifat Fisika.....	37
2.3.2.2 Sifat Kimia.....	38
2.4 Spesifikasi Bahan Pendukung.....	38
2.4.1 Katalis Tetraabutyl Titanat.....	38
2.4.1.1 Sifat Fisika.....	38
2.4.1.2 Sifat Kimia.....	39
2.5 Pengendalian Kualitas.....	42
2.5.1 Pengendalian Kualitas Bahan Baku.....	43
2.5.2 Pengendalian Kualitas Proses Produksi.....	43
2.5.2.1 Aliran Sistem Kontrol.....	44
2.5.2.2 Alat Sistem Kontrol.....	45
2.5.3 Pengendalian Kualitas Produk.....	47
BAB III	
PERANCANGAN PROSES.....	49
3.1 Diagram Alir Proses dan Material.....	49
3.1.1 Diagram Alir Kualitatif.....	49
3.1.2 Diagram Alir Kuantitatif.....	50
3.2 Uraian Proses.....	51
3.2.1 Tahap Persiapan Bahan Baku.....	51
3.2.2 Tahap Reaksi.....	52
3.2.3 Tahap Pemurnian dan Pemisahan Produk.....	53
3.3 Spesifikasi Alat.....	54
3.3.1 Spesifikasi alat proses.....	54
3.3.2 Spesifikasi Alat Penyimpanan Bahan.....	60
3.3.3 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan.....	63
3.3.4 Spesifikasi Alat Penukar Panas.....	70
3.4 Neraca Massa.....	81
3.5 Neraca Panas.....	84
BAB IV	
PERANCANGAN PABRIK.....	90
4.1 Lokasi Pabrik.....	90
4.1.1 Faktor Primer Penentuan Lokasi Pabrik.....	92
4.1.1.1 Ketersediaan Sumber Bahan Baku.....	92
4.1.1.2 Letak dan Aksesibilitas Transportasi.....	92

4.1.1.3 Penyediaan Utilitas.....	93
4.1.1.4 Daerah Pemasaran.....	95
4.1.1.5 Keadaan Geografis dan Iklim.....	96
4.1.2 Faktor Sekunder Penentuan Lokasi Pabrik.....	98
4.1.2.1 Perizinan.....	98
4.1.2.2 Prasarana.....	99
4.1.2.3 Sosial Masyarakat.....	99
4.2 Tata Letak Pabrik (Plant Layout).....	100
4.3 Tata Letak Mesin/ Alat proses (Machines Layout).....	106
4.4 Organisasi Perusahaan.....	112
4.4.1 Bentuk Perusahaan.....	112
4.4.2 Struktur Organisasi.....	115
4.4.3 Tugas dan Wewenang.....	117
4.4.3.1 Pemegang Saham.....	117
4.4.3.2 Dewan Komisaris.....	117
4.4.3.3 Direktur Utama.....	118
4.4.3.4 Kepala Bagian.....	119
4.4.3.5 Kepala Seksi.....	120
4.4.4 Pembagian Jam Kerja Karyawan.....	122
4.4.5 Jumlah Penggolong Pekerja dan Sistem Penggajian.....	125
4.4.5.1 Jumlah Pekerja dan Sistem Gaji.....	125
4.4.5.2 Penggolongan Jabatan Pekerja.....	129
4.4.6 Fasilitas dan Hak Karyawan.....	130
BAB V	
UTILITAS.....	133
5.1 Unit Penyediaan dan Pengolahan Air (Water Treatment System).....	134
5.1.1 Unit Penyediaan Air.....	134
5.1.2 Unit Pengolahan Air.....	141
5.2 Unit Pembangkit Steam.....	150
5.3 Unit Pembangkit Listrik.....	151
5.4 Unit Penyedia Udara Tekan.....	154
5.5 Unit Penyedia Bahan Bakar.....	155
5.6 Unit Pengolahan Limbah.....	155
5.7 Spesifikasi Alat Utilitas.....	157
BAB VI	
EVALUASI EKONOMI.....	168
6.1 Perkiraan Harga Alat.....	169
6.2 Dasar Perhitungan.....	172

6.3 Komponen Biaya.....	172
6.3.1 Modal (Capital Investment).....	172
6.3.2 Biaya Produksi (Manufacturing cost).....	172
6.3.3 Pengeluaran Umum (General Expenses).....	173
6.4 Analisis Kelayakan.....	173
6.4.1 Return on Investment (ROI).....	173
6.4.2 Pay out Time (POT).....	174
6.4.3 Break Even Point (BEP).....	174
6.4.4 Shut Down Point (SDP).....	175
6.4.5 Discounted Cash Flow Rate (DCFR).....	175
6.5 Hasil Perhitungan.....	176
6.6 Analisis Hasil Keuntungan.....	181
6.7 Hasil Kelayakan Ekonomi.....	181
6.7.1 Return on Investment (ROI).....	181
6.7.2 Pay Out Time (POT).....	182
6.7.3 Break Even Point (BEP).....	182
6.7.4 Shut Down Point (SDP).....	182
6.7.5 Discounted Cash Flow Rate of Return (DCFR).....	182
6.7.6 Analisis Kelayakan Pabrik.....	183
6.7.7 Analisis Resiko Pabrik.....	184
BAB VII	
KESIMPULAN DAN SARAN.....	185
7.1 Kesimpulan.....	185
7.2 Saran.....	186
DAFTAR PUSTAKA.....	187

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Kapasitas produksi pabrik DOTP di luar negeri.....	5
Tabel 1.2 Data impor DOTP.....	6
Tabel 1.3 Data ekspor DOTP.....	7
Tabel 1.4 Data konsumsi DOTP.....	7
Tabel 1.5 Paten Pembuatan DOTP dengan metode esterifikasi.....	13
Tabel 1.6 Kondisi reaksi dan hasil sintesis DOTP dengan berbagai katalis.....	23
Tabel 1.7 Perbandingan proses produksi DOTP.....	26
Tabel 1.8 Harga panas pembentukan standar (ΔH_{fo}) pada 298 K.....	29
Tabel 1.9 Harga nilai Gibbs (ΔG_{fo}) masing-masing komponen.....	30
Tabel 2.1 Analisis Risiko Proses.....	40
Tabel 3.1 Tangki penyimpanan fase cair.....	60
Tabel 3.2 Spesifikasi pompa pada alat proses.....	63
Tabel 3.3 Spesifikasi transportasi bahan.....	68
Tabel 4.1 Luas Tanah dan Bangunan Pabrik.....	105
Tabel 4.2 Jadwal jam kerja karyawan non-shift.....	123
Tabel 4.3 Jadwal jam kerja karyawan shift.....	124
Tabel 4.4 Jadwal kerja regu shift.....	125
Tabel 4.5 Jumlah Tenaga Kerja dan Sistem Penggajian.....	126
Tabel 4.6 Penggolongan Jabatan.....	129
Tabel 5.1 Kebutuhan Air Domestik.....	136
Tabel 5.2 Kebutuhan Air Pendingin.....	138
Tabel 5.3 Kebutuhan Steam.....	139
Tabel 5.4 Kebutuhan Listrik Alat Proses.....	152
Tabel 5.5 Kebutuhan Listrik Alat Utilitas.....	153
Tabel 5.6 Kebutuhan Listrik Total Pabrik DOTP.....	154
Tabel 5.7 Spesifikasi pompa pada unit utilitas.....	157
Tabel 5.8 Spesifikasi tangki pada unit utilitas.....	162
Tabel 5.9 Spesifikasi bak pada unit utilitas.....	164
Tabel 6.1 Indeks Harga Alat.....	169
Tabel 6.2 Physical plant cost.....	176
Tabel 6.3 Direct plant cost (DPC).....	177
Tabel 6.4 Fixed capital investment.....	177
Tabel 6.5 Direct manufacturing cost.....	177
Tabel 6.6 Indirect manufacturing cost.....	178

Tabel 6.7 Fixed manufacturing cost.....	178
Tabel 6.8 Manufacturing cost.....	178
Tabel 6.9 Working capital.....	179
Tabel 6.10 General Expenses.....	179
Tabel 6.11 Total production cost.....	180
Tabel 6.12 Fixed cost.....	180
Tabel 6.13 Variable cost.....	180
Tabel 6.14 Regulated cost.....	180
Tabel 6.15 Analisis evaluasi ekonomi.....	183
Tabel 6.16 Analisis resiko pabrik.....	184

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Struktur kimia Senyawa Dioktil Tereftalat (DOTP).....	11
Gambar 1.2 Proses esterifikasi produksi DOTP.....	19
Gambar 1.3 Proses esterifikasi dari DOTP.....	21
Gambar 1.4 Proses transesterifikasi produksi DOTP.....	22
Gambar 1.5 Alkoholisasi PET untuk menghasilkan DOTP.....	25
Gambar 3.1 Diagram Alir Kualitatif.....	49
Gambar 3.2 Diagram Alir Kuantitatif.....	50
Gambar 4.1 Lokasi Pendirian Pabrik DOTP.....	91
Gambar 4.2 Layout Tata Letak Pabrik DOTP.....	106
Gambar 4.3 Tata Letak Pabrik DOTP.....	112
Gambar 4.4 Struktur Organisasi Pabrik DOTP.....	116
Gambar 5.1 Diagram Alir Utilitas.....	140
Gambar 6.1 Grafik Indeks Harga vs Tahun.....	171
Gambar 6.2 Grafik evaluasi ekonomi.....	183

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A.....	196
LAMPIRAN B.....	222
LAMPIRAN C.....	224

DAFTAR LAMBANG/NOTASI/SINGKATAN

A	: Luas Penampang, m ²
Re	: Bilangan Reynold
u ₀	: Kecepatan awal fluidisasi, m/s
F	: <i>Allowable Stress</i> , psia
V	: Volume, m ³
T	: Waktu, jam
M	: Massa, Kg
F _v	: Laju Volumetrik, m ³
R	: Jari-jari, in
Q	: Kebutuhan Kalor, Kj/Jam
H	: <i>Heat transfer factor</i>
H _i	: <i>Inside film coefficient</i> , Btu/jam ft ² °F
H _o	: <i>Outside film coefficient</i> , Btu/jam ft ² °F
LMTD	: <i>Long mean temperature different</i> , °F
K	: Konstanta kinetika reaksi, 1/waktu
W _f	: Total head, in
ΔH	: Entalpi, kJ/Jam
Th	: Tebal <i>head</i> , in
ΔPT	: <i>Pressure drop</i> , psia
ID	: <i>Inside diameter</i> , in
OD	: <i>Outside diameter</i> , in
P	: <i>Power motor</i> , Hp

Ts : Tebal *shell*, in

T : *Temperature*, °C

D : Diameter, m

H : Tinggi, m

P : Tekanan, psia

μ : Viskositas, cP

ρ : Densitas, kg/m³

h : Tebal *head*, in

E : Efisiensi pengelasan

Icr : Jari-jari sudut dalam, in

Ud : Koefisien transfer panas dalam keadaan kotor, Btu/jam ft²°F

Uc : Koefisien transfer panas dalam keadaan bersih, Btu/jam ft²°F

Rd : Faktor pengotor

Cp : Kapasitas Panas, Btu/lb °F

K : Konduktivitas termal, Btu/jam ft²°F

Diopt : jari-jari dalam pipa hasil perhitungan, m

Le : Panjang ekuivalen (ft)

SCH : *Schedule Number*

ABSTRAK

Dioktil Tereftalat (DOTP) adalah senyawa yang digunakan dalam proses pembuatan resin etil selulosa, otomotif, PVC fleksibel, lantai/ permukaan interior, gasket/ selang/ tabung, sealant lateks, sensitif tekanan, perekat, kawat/kabel, *plasticizer* pada *polyvinyl chloride* (PVC) dan lain-lain. Pendirian DOTP dengan kapasitas 120.000 ton/tahun direncanakan akan didirikan di daerah Cilegon, Banten pada tahun 2029. Proses produksi DOTP menggunakan Reaktor CSTR pada kondisi operasi 180°C pada tekanan 29,6 atm dan menggunakan proses esterifikasi. Produk keluaran reaktor menghasilkan DOTP dan air. Kemudian, produk dipisahkan dengan dekanter dalam suhu ruang dan tekanan 1 atm. Untuk keluaran organik yang berupa DOTP akan dialirkan ke evaporator selanjutnya ke tangki penyimpanan produk dengan kemurnian 99,23%. Utilitas untuk mendukung proses produksinya dibutuhkan air pendingin sebanyak 373.757,960 kg/jam, kebutuhan air service sebanyak 1.020,417 kg/jam, dan air steam sebanyak 8.914 kg/jam. Untuk kebutuhan listrik pabrik ini membutuhkan 1.161,875 kW. Dari studi evaluasi ekonomi, Keuntungan pabrik sebelum pajak sebesar Rp882.454.093.000 per tahun dan setelah pajak sebesar Rp882.012.866.000. *Return Of Investment* (ROI) sebelum pajak sebesar 26,066% dan setelah pajak sebesar 26,053%. *Pay Out Time* (POT) sebelum pajak selama 1,941 tahun dan POT setelah pajak selama 1,942 tahun. *Break Even Point* (BEP) pada pabrik DOTP sebesar 43,361%. Untuk nilai *Shut Down Point* (SDP) didapatkan sebesar 19,514%. Discounted Cash Flow Rate (DCFR) pada pabrik DOTP sebesar 45,628%.

Kata kunci:

Asam Tereftalat, 2-Etil Heksanol, Dioktil Tereftalat, CSTR, Esterifikasi, Evaluasi Ekonomi

ABSTRACT

Diethyl Terephthalate (DOTP) is a compound used in the manufacturing process of ethyl cellulose resins, automotive, flexible PVC, flooring/interior surfaces, gaskets/hoses/tubes, latex sealants, pressure sensitive, adhesives, wire/cable, plasticizers in polyvinyl chloride (PVC) and others. The establishment of DOTP with a capacity of 120.000 tons/year is planned to be established in Cilegon, Banten in 2029. The DOTP production process uses a CSTR Reactor at operating conditions of 180°C at a pressure of 29,6 atm and uses an esterification process. The reactor output product produces DOTP and water. Then, the products are separated by decanter at room temperature and 1 atm pressure. For organic output in the form of DOTP will be flowed to the evaporator and then to the product storage tank with 99,23% purity. Utilities to support the production process require 373.757,960 kg/hour of cooling water, 1.020,417 kg/hour of service water, and 8.914 kg/hour of steam water. For electricity needs, this plant requires 1.161,875 kW. From the economic evaluation study, the factory profit before tax amounted to Rp882.454.093.000 per year and after tax amounted to Rp882.012.866.000. Return Of Investment (ROI) before tax is 26,066% and after tax is 26,053%. Pay Out Time (POT) before tax for 1,941 years and POT after tax for 1,942 years. Break Even Point (BEP) at the DOTP plant is 43,361%. For the Shut Down Point (SDP) value, it is obtained at 19,514%. Discounted Cash Flow Rate (DCFR) is 45,628%.

Keywords:

Terephthalic Acid, 2-Ethyl Hexanol, Diethyl Terephthalate, CSTR, Esterification, Economic Evaluation

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebagai bagian dari upaya pembangunan ekonomi jangka panjang, pertumbuhan industri dimaksudkan untuk menciptakan struktur ekonomi yang lebih kokoh dan seimbang dengan fokus pada industri maju yang dibantu oleh sektor lain yang kuat. Berdasarkan data BPS 2024, kebutuhan bahan baku industri nasional Indonesia masih mengimpor sekitar 90%. Hal ini menunjukkan ketergantungan yang tinggi terhadap impor dan kebutuhan mendesak untuk meningkatkan produksi dalam negeri guna memperkuat ketahanan ekonomi.

Salah satu komponen penting dalam berbagai industri adalah *plasticizer*. *Plasticizer* adalah zat yang ditambahkan ke bahan untuk membuatnya lebih lembut dan fleksibel sambil meningkatkan plastisitasnya dan mengurangi viskositasnya. *Hardener*, di sisi lain, adalah zat yang ditambahkan ke sebuah bahan untuk membuatnya lebih kaku dan kuat dengan mengurangi plastisitasnya dan meningkatkan viskositasnya (David F., et al., 2000). Banyaknya bahan *plasticizer* yang diperlukan untuk memperoleh kekerasan atau pemanjangan tertentu merupakan ukuran efisiensinya. *Plasticizer* yang paling efisien adalah yang memiliki tingkat kelarutan paling tinggi dan peleburan yang paling cepat. *Plasticizer* diklasifikasikan menurut fungsi atau strukturnya. Klasifikasi fungsionalnya adalah primer atau sekunder. *Plasticizer* yang kompatibel dengan PVC dan menunjukkan volatilitas yang rendah, sifat permanen yang baik, dan efisiensi tinggi disebut sebagai *plasticizer* primer sedangkan *plasticizer* sekunder

memiliki karakteristik yang berlawanan dengan *plasticizer* primer. *Plasticizer* / pemlastis secara luas digunakan dalam industri plastik, *coating*, *sealant*, dan karet. Pemlastis merupakan kelas penting dari senyawa non-volatil dengan berat molekul rendah yang banyak digunakan dalam industri polimer. Beberapa pemlastis yang tersedia secara komersial seperti Dibutil Ftalat (DBP), Di-Isobutil Ftalat (DIBP), Di-Iso-Pentil Ftalat (DIPP), Di-Iso-Heptil Ftalat (DIHP), dan Dioktil Ftalat (DOP) biasanya dibuat melalui reaksi esterifikasi ftalat anhidrida dengan alkohol yang sesuai dengan adanya katalis asam. Di antara pemlastis, DOP, DOA (Dioktil Adipat), dan Dioktil Tereftalat (DOTP) telah digunakan secara luas karena biokompatibilitasnya. Sebagai alternatif Dioktil Ftalat, DOTP telah diperkenalkan sebagai pemlastis untuk PVC kelas medis. Ini aman bagi pengguna yang memiliki sensitivitas terhadap DOP. Selain itu, ia memiliki kinerja yang setara dengan formulasi DOP. Senyawa ini biasanya dibuat melalui reaksi esterifikasi dan / atau transesterifikasi 2-Etil heksanol oleh anhidrida / asam tereftalat dan / atau ester tereftalat. Reaksi biasanya dilakukan dalam pelarut hidrokarbon, seperti toluena, dengan adanya katalis asam homogen (Firdovsi et al., 2007).

Menurut US *Patent* 2020/0010399 A1, *Dioctyl Phthalate* (DOP) adalah *plasticizer* yang paling banyak digunakan dalam industri plastik. Namun, dengan meningkatnya kesadaran akan dampak lingkungan dan kesehatan, perhatian telah beralih ke *Dioctyl Terephthalate* (DOTP), yang merupakan *plasticizer* bebas *phthalate* yang aman dan ramah lingkungan. Perbedaan struktural antara diester DOP dan DOTP adalah penempatan substitusi 2-Etil heksanol: posisi 1,2 versus

1,4 (Dupont, L., et al., 1993). DOTP memiliki aplikasi yang luas, dapat digunakan dalam proses pembuatan resin etil selulosa, otomotif, PVC fleksibel, lantai/ permukaan interior, gasket/ selang/ tabung, sealant lateks, sensitif tekanan, perekat, kawat/kabel, *plasticizer* pada *polyvinyl chloride* (PVC) dan lain-lain. *Plasticizer* ini digunakan untuk mengubah PVC, plastik kaku, menjadi bahan yang lembut, fleksibel, dan elastis (Von M., et al., 2004). Kemampuan DOTP untuk meningkatkan fleksibilitas dan daya tahan membuatnya sangat diminati oleh berbagai industri petrokimia di seluruh dunia.

Saat ini, beberapa perusahaan besar yang memproduksi DOTP diantaranya BASF dan Oxea (Jerman), Aekyung Petrochemical dan LG Chemical (korea selatan), Eastman Chemical Company (Amerika Serikat). Lima pemain teratas global memegang saham sekitar 10%. Tiongkok merupakan pasar terbesar dengan pangsa sekitar 80%, disusul Korea Selatan dan Eropa dengan total pangsa sekitar 15%. Namun, di Indonesia sendiri belum ada manufaktur DOTP, sehingga kebutuhan akan produk ini sepenuhnya dipenuhi melalui impor. Hal ini menambah beban defisit neraca perdagangan dan menunjukkan kelemahan dalam struktur industri kimia nasional.

Dalam upaya mengurangi ketergantungan impor dan memperkuat industri dalam negeri, pembangunan pabrik DOTP di Indonesia menjadi sangat penting. Selain mengurangi impor, keberadaan pabrik ini diharapkan dapat menciptakan lapangan kerja, transfer teknologi, dan meningkatkan kapasitas produksi domestik. Pendirian pabrik DOTP juga sejalan dengan upaya pemerintah untuk meningkatkan investasi di sektor industri dan mendorong pertumbuhan ekonomi

yang berkelanjutan. Dengan demikian, inisiatif ini tidak hanya akan mengurangi ketergantungan pada impor tetapi juga memberikan kontribusi signifikan terhadap pembangunan ekonomi jangka panjang yang lebih mandiri dan berkelanjutan di Indonesia.

1.2 Penentuan Kapasitas Pabrik

Kapasitas produksi merupakan bagian yang sangat penting dalam perancangan pabrik. Kapasitas produksi didefinisikan sebagai jumlah *output* maksimum yang dapat dihasilkan dalam satuan waktu tertentu. Pabrik menghasilkan lebih banyak uang dengan kapasitas produksi yang lebih besar. Untuk menentukan kapasitas produksi yang optimal, data statistik seperti ekspor, impor, konsumsi dan produksi Dioktil Tereftalat harus dipertimbangkan. Informasi mengenai impor dan ekspor Dioktil Tereftalat di Indonesia dari tahun 2018 hingga 2023 disajikan dari data Badan Pusat Statistik (BPS). Mengingat konsumsi dan kapasitas pabrik saat ini, hal ini penting untuk menghasilkan produk dengan keuntungan maksimal dan biaya produksi minimal.

1.2.1 Kapasitas Pabrik yang Telah Berdiri

Dalam upaya mendukung perencanaan strategis pembangunan pabrik DOTP baru, analisis terhadap data industri global menjadi krusial. Tabel 1.2 memberikan gambaran mengenai pabrik-pabrik DOTP di luar negeri, yang berperan penting dalam menentukan kapasitas produksi yang optimal. Informasi ini sangat penting untuk menentukan kapasitas produksi optimal bagi pabrik DOTP baru. Dengan menganalisis data ini, diharapkan pabrik DOTP dapat mencapai keuntungan maksimal dan efisiensi dalam biaya produksi, serta

memenuhi permintaan pasar yang terus berkembang untuk produk yang ramah lingkungan.

Tabel 1.1 Kapasitas produksi pabrik DOTP di luar negeri

Nama Perusahaan	Lokasi	Kapasitas Produksi (ton/tahun)
BASF	Ludwigshafen, Jerman	60.000
Oxea	Oberhausen, Jerman	50.000
Aekyung Petrochemical	Seoul, Korea Selatan	350.000
Grupa Azoty	Tarnów, Polandia	82.000
LG Chemical	Seoul, Korea Selatan	239.000
Valtris Specialty Chemicals	Ohio, Amerika Serikat	45.000

Berdasarkan tabel di atas, dapat disimpulkan bahwa produsen DOTP dengan kapasitas produksi terendah di dunia adalah Valtris Specialty Chemicals, dengan kemampuan memproduksi 45.000 ton per tahun. Di sisi lain, produsen dengan kapasitas produksi tertinggi adalah Aekyung Petrochemical, yang mampu menghasilkan hingga 350.000 ton per tahun. Data ini menunjukkan bahwa kapasitas produksi yang ideal untuk mendirikan pabrik DOTP baru berada dalam rentang 45.000 hingga 350.000 ton per tahun, yang memberikan potensi keuntungan optimal dalam skala tersebut.

1.2.2 Konsumsi dalam Negeri

Pada tahun 2024, beberapa pabrik yang menggunakan bahan baku *plasticizer* bebas *phthalate* diantaranya yaitu PT Asahimas Subentra Chemical, PT Standard Toyo Polymer, PT Satomo Indovyl Polymer, PT Eastern (Mitsubishi) Polymer. Pemetaan dan analisis industri ini sulit dilakukan karena kurang dan minimnya data tentang pabrik pengonsumsi DOTP sehingga digunakan data pabrik yang menghasilkan PVC. Diketahui bahwa DOTP digunakan sebesar 30% untuk pembuatan PVC (Othmer, K. 2005). Oleh karena itu, informasi tentang *plasticizer* yang saat ini tersedia di pasar digunakan untuk menghitung kapasitas produksi pabrik DOTP. Metode ini dipilih karena dianggap bahwa *trend* dan kemampuan produksi DOTP dapat memberikan gambaran awal yang bermanfaat untuk pengembangan dan perencanaan produksi DOTP.

Berdasarkan data BPS dari tahun 2018-2023, diketahui mengenai ekspor, impor, konsumsi mengenai DOTP. Tidak ditemukan data mengenai produksi DOTP di dalam negeri karena belum ada pabrik yang memproduksi senyawa tersebut. Berikut ini adalah data yang telah dikumpulkan :

Tabel 1.2 Data impor DOTP

Tahun	Besarnya Impor (ton)	%Pertumbuhan
2018	18.321,374	-
2019	16.830,86	-0,000813538
2020	10.988,523	-0,003471205
2021	17.030,454	0,005498401
2022	2.968,11	-0,008257175

Tahun	Besarnya Impor (ton)	%Pertumbuhan
2023	4.449,614	0,004991405
TOTAL		-0,002052112
i		-0,000410422

Tabel 1.3 Data ekspor DOTP

Tahun	Besarnya Ekspor (ton)	%Pertumbuhan
2018	1,6	-
2019	1.847,10277	11,53439231
2020	281,83	-0,008474205
2021	268,94	-0,000457368
2022	16,2	-0,009397635
2023	120,3	0,064259259
TOTAL		11,58032236
i		2,316064473

Tabel 1.4 Data konsumsi DOTP

Tahun	Besarnya Konsumsi (ton)	%Pertumbuhan
2018	180.600	-
2019	180.600	0
2020	180.600	0
2021	180.600	0
2022	180.600	0
2023	180.600	0
TOTAL		0
i		0

Dari data-data diatas selanjutnya dilakukan perhitungan menggunakan rumus peluang kapasitas yaitu dalam persamaan 1.1 :

$$m_1 + m_2 + m_3 = m_4 + m_5 \quad (1.1)$$

Dimana :

- m_1 = impor
 - m_2 = produksi
 - m_3 = kapasitas
 - m_4 = ekspor
 - m_5 = konsumsi
- a. Menghitung nilai m_2 2029 (karena pabrik akan berdiri pada tahun 2029 / 5 tahun kedepan), maka dengan persamaan 1.2 :
- $$m_2 \text{ 2029} = m_2 \text{ 2023} \times (1 + i)^5 \quad (1.2)$$
- **$m_2 \text{ 2029} = 0$ ton/ tahun** karena tidak ada pabrik dalam negeri yang menghasilkan DOTP
- b. Selanjutnya Menghitung nilai m_1 2029, m_5 2029, dan m_4 2029 yang sama langkahnya dengan perhitungan di atas dan didapatkan nilai sebagai berikut :
- **$m_1 \text{ 2029} = 4.440,49$ ton/tahun**
 - **$m_5 \text{ 2029} = 180.600$ ton/tahun**
 - **$m_4 \text{ 2029} = 48.237,02$ ton/tahun**
- c. Mencari m_3 2029 (peluang kapasitas pabrik DOTP pada tahun 2029) :
- $$m_3 \text{ 2029} = (m_4 + m_5) - (m_1 + m_2) \quad (1.3)$$
- **$m_3 \text{ 2029} = 224.396,5281$ ton/tahun**

Dari perhitungan didapatkan peluang kapasitas pabrik DOTP pada tahun 2029 yaitu 224.396,5281 ton/tahun. Lalu berdasarkan data kapasitas produksi pabrik yang telah berdiri di luar negeri didapatkan hasil yaitu akan menguntungkan jika pabrik DOTP ini berada pada rentang produksi antara 45.000 - 350.000 ton / tahun. Maka dengan mempertimbangkan dua hal tersebut diambil nilai 50% dari perhitungan peluang kapasitas produksi DOTP dan menghasilkan angka sebesar 112.000,26 ton per tahun. Untuk tujuan praktis dan operasional, angka ini dibulatkan menjadi 120.000 ton per tahun. Pembulatan ini dilakukan guna mempermudah perencanaan dan eksekusi, serta mempertimbangkan potensi peningkatan kapasitas di masa depan. Dengan kapasitas 120.000 ton per tahun, pabrik diharapkan dapat lebih fleksibel dalam memenuhi permintaan pasar yang berkembang, sekaligus mencapai efisiensi produksi yang lebih optimal.

1.2.3 Ketersediaan Bahan Baku

Salah satu bagian penting dari perancangan pabrik adalah ketersediaan bahan baku. Hal ini karena bagus atau tidaknya sebuah produk sangat dipengaruhi oleh kualitas bahan bakunya / *raw material*. Asam Tereftalat dan 2-Etil-Heksanol adalah bahan baku utama yang dibutuhkan untuk membuat DOTP. Bahan baku ini didapat dari industri kimia berikut ini :

- Asam Tereftalat dengan kemurnian 99% diperoleh dari 2 pilihan pabrik kimia diantaranya, PT Mitsubishi Chemical Indonesia atau dari PT TPPI Tuban. Lalu Pabrik DOTP membutuhkan asam tereftalat sebesar 51.730 ton/tahun.

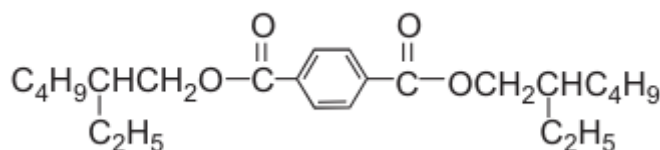
- 2-Etil-Heksanol dengan kemurnian 99,5% bisa diperoleh dari beberapa pabrik kimia berikut ini: PT Petro Oxo Nusantara (PON), PT Chandra Asri Pacific, PT Indorama Synthetics. Lalu Pabrik DOTP ini membutuhkan 2-Etil Heksanol sebesar 81.042,192 ton/tahun
- Katalis Tetraabutyl Titanat dengan kemurnian 99% diimpor dari Haihang Industri. Pabrik DOTP membutuhkan katalis tersebut sebesar 2,376 ton/tahun.

Disamping itu juga harus diperhatikan mengenai data yang telah dikumpulkan menunjukkan bahwa konsumsi DOTP di Indonesia diperkirakan mencapai 120.000 ton pada tahun 2029. Selanjutnya, studi menunjukkan bahwa kapasitas produksi pabrik kimia DOTP akan menguntungkan jika berkisar antara kapasitas 45.000 hingga 350.000 ton per tahun. Dengan demikian, kapasitas produksi yang ideal untuk pabrik DOTP adalah 120.000 ton per tahun. Kapasitas ini dipilih untuk memenuhi perkiraan *plasticizer* di negara ini pada tahun 2029, serta untuk menjamin bahwa pabrik beroperasi dengan baik dan menghasilkan keuntungan. Selain itu, mempertimbangkan kapasitas produksi ini akan memungkinkan penyesuaian yang lebih baik terhadap dinamika pasar dan kemungkinan peningkatan konsumsi di masa mendatang. Oleh karena itu, diharapkan perancangan pabrik dengan kapasitas ini dapat memenuhi kebutuhan domestik, mengurangi ketergantungan pada bahan baku impor, dan mendorong pertumbuhan industri plastik Indonesia secara berkelanjutan.

1.3 Tinjauan Pustaka

Dioktil Tereftalat / DOTP adalah sebuah senyawa yang diketahui sebagai *plasticizer* bebas ftalat, DOTP termasuk dalam senyawa aromatik tereftalat. Ada

tiga metode produksi utama DOTP, esterifikasi, transesterifikasi, alkoholisis polietilen tereftalat (PET) (Altun, A., et al., 2022). Metode tersebut dijalankan pada suhu, tekanan, dan katalis tertentu. Biasanya katalis yang digunakan berupa asam kuat. Senyawa ini banyak digunakan dalam industri PVC atau nat beton. Dalam industri PVC sendiri, DOTP dipilih karena memiliki tingkat kompatibilitas yang tinggi dan tingkat toksisitas yang lebih rendah dibanding senyawa ftalat yang lain seperti DOP, memiliki keawetan yang baik, toleransi yang baik terhadap air sabun dan fleksibilitas suhu rendah (G.Z. Cao et al., 2010). Sedangkan pada industri nat beton, DOTP digunakan sebagai bahan campuran agar bangunan lebih awet karena memiliki konduktivitas termal yang rendah (Şimşek, B. et al., 2018) .



Gambar 1.1 Struktur kimia Senyawa Dioktil Tereftalat (DOTP)

(Sumber : Liu et al., 2013)

1.3.1 Esterifikasi

Satu diantara proses untuk mendapatkan Dioktil Tereftalat yaitu dengan cara esterifikasi. Pada metode ini umumnya menggunakan pelarut hidrokarbon yang nantinya akan bereaksi dengan katalis homogen. Sintesis DOTP dengan esterifikasi dengan bahan baku asam tereftalat / Terephthalic Acid (TPA) dan 2-etil-Heksanol (2-EH) dijalankan pada tekanan dan suhu tinggi. Reaksi terjadi dengan katalis titanium atau senyawa titanium yang larut dalam campuran reaksi. Kondisi reaksi adalah sebagai berikut: rasio mol EH/TPA adalah 2:1

hingga 2,5:1, tekanan total terletak di antara 100 hingga 400 kPa, kisaran suhu dijaga pada 180°C - 270°C. Selain itu, gas inert ditambahkan untuk menghilangkan campuran 2-EH dan air dari zona reaksi. Pada proses tersebut digunakan katalis berupa Titanium Tetraisopropoksida (TIPT). Menurut analisis, DOTP yang diperoleh memiliki kemurnian sekitar 99% (Cook et al., 2007). Feng Z., et al., (2022) melakukan reaksi esterifikasi dengan cara mereaksikan 2-Etil Heksanol dan Asam Tereftalat dengan menggunakan katalis Tetrabutyl Titanat . Hal ini juga dilakukan oleh Osborne et al., (2010), TPA dan alkohol yang terdiri dari satu atau lebih alkohol C6 hingga C10 digunakan untuk mendapatkan DOTP. Kisaran suhu 150°C - 270°C pada tekanan atmosfer dengan menggunakan katalis $Ti(OR)_4$, yang mana R adalah gugus alkil yang memiliki 1 hingga 8 atom C . Rasio mol alkohol/TPA adalah 2:1 hingga 2,5:1. Gas inert seperti nitrogen disuplai untuk mengambil air dari campuran reaksi. Selain itu, kolom fraksinasi dipasang pada reaktor untuk menghilangkan air. Kondisi esterifikasi optimal ditentukan sebagai rasio mol TPA terhadap oktil alkohol sebesar 1: 2 pada suhu 230°C, dan waktu reaksi 5,5 jam. Untuk mengurangi waktu reaksi dan meningkatkan efisiensi reaksi maka TPA dan alkohol rantai lurus atau rantai bercabang yang memiliki 6-10 atom karbon (alkohol C6-C10) dengan rasio 1 : 0,8-1,5 dicampur dan dihaluskan dengan TPA pada homogenizer hingga ukuran partikel 80-110 μm . Kemudian digunakan katalis berbasis titanium dengan berat 0,1-2% berdasarkan berat DOTP akhir. Reaksi terjadi antara tekanan -30 dan 1013 mbar dan pada suhu 200-250 °C. Setelah reaksi esterifikasi berlangsung sekitar 2-3 jam, larutan hidroksida logam alkali digunakan untuk menetralkan campuran.

Sisa alkohol dihilangkan, dan DOTP diperoleh dengan menerapkan langkah pengeringan dan penyaringan. Dengan metode tersebut maka waktu reaksi dapat berkurang hingga 37,5-50% ,dan kemurnian DOTP yang disintesis lebih tinggi dari 99,5% (Liao et al., 2019). Dengan menjaga tekanan rendah pada reaksi awal sangatlah menguntungkan dalam meningkatkan yield pada tahap selanjutnya untuk sintesis DOTP dengan metode esterifikasi (Li K., et al., 2013).

Ada beberapa paten dalam pembuatan DOTP diantaranya : CN104072365A, CN102701984A, US10472317B2, US20200010399A1, US20150307435A1, KR101663586B1. Keenam paten tersebut dijelaskan pada tabel 1.5 berikut ini :

Tabel 1.5 Paten Pembuatan DOTP dengan metode esterifikasi

Paten	Deskripsi	Bahan	Kondisi Operasi	Status
CN104072365A <i>(Preparation method of dioctyl terephthalate (DOTP))</i>	Merupakan paten dari Cina yang dipublikasikan pada tahun 2014. Tahap preparasi dimulai dengan menyiapkan Asam Tereftalat dan Oktanol berlebih ke dalam ketel reaksi, Produk jadi DOTP diperoleh melalui pengepresan filter	Asam Tereftalat dan Oktanol dengan katalis asam sulfat	Dijalankan pada suhu 0-200°C dilakukan pada kondisi tekanan uap. Proses berlangsung selama 4,5 - 5 jam	<i>Pending</i> (Pengajuan paten masih dalam proses dan belum ada keputusan yang dibuat oleh kantor paten. Status ini menunjukkan bahwa paten sedang diperiksa)

Paten	Deskripsi	Bahan	Kondisi Operasi	Status
CN102701984A <i>(Production method of dioctyl terephthalate)</i>	Merupakan paten dari cina yang dipublikasikan pada tahun 2012. Tahap awal yaitu menghaluskan asam tereftalat selanjutnya menambahkan 2-Etil-Heksil Alkohol dengan perbandingan berat 1 : 1,8 selanjutnya dilakukan pengadukan, penetralan, pemisahan fase cair hingga padatan. Dihasilkan DOTP yang murni dengan kualitas yang tinggi dan tingkat pencemaran yang minim	Asam Tereftalat dan 2-Etil-Heksil Alkohol katalis terdiri dari senyawa logam titanium seperti tetrabutyl titanat, titanium isopropilat atau senyawa logam seperti natrium hidroksida dan sejenisnya	Katalis ditambahkan pada suhu 170-210°C dengan suhu esterifikasi dijaga pada 190-200°C . Proses berlangsung selama 7-13 jam	<i>Pending</i> (Pengajuan paten masih dalam proses dan belum ada keputusan yang dibuat oleh kantor paten. Status ini menunjukkan bahwa paten sedang diperiksa)
US10472317B2 <i>(Dioctyl terephthalate plasticizer and method of enhancing reaction efficiency in process for producing the</i>	Paten dari Amerika serikat yang dipublikasikan pada tahun 2018. Paten ini sekarang digunakan oleh perusahaan Plastik Nan Ya, Taiwan.	Asam Tereftalat dan 2-Etil-Heksanol dengan katalis berbasis titanium seperti tetra isopropil titanat	Dijalankan pada suhu 200-250 °C dengan tekanan antara -30 hingga 1030 mbar. Proses	<i>Application Granted</i> (2019), <i>ED : 2038</i> (Paten telah diberikan atau disetujui oleh kantor paten yang

Paten	Deskripsi	Bahan	Kondisi Operasi	Status
same)	Suatu teknik untuk meningkatkan efisiensi reaksi pmlastis tereftalat melibatkan penggunaan homogenizer untuk menghaluskan PTA (<i>Purified Terephthalic Acid</i>) menjadi bubur dengan ukuran partikel 80-110 μm dan mengesterifikasi bubur PTA dengan alkohol C6-C10. Reaktivitas ditingkatkan lebih dari 37,5%, dan pmlastis tereftalat yang disintesis memiliki bau rendah dengan kemurnian lebih dari 99,5%.	(TIPT), titanium tetra isobutanolate (TIBT) atau tetra 2-etilheksil titanat (EHT)	berlangsung selama 2-3 jam	bersangkutan. Pemegang paten memiliki hak eksklusif untuk mengeksplorasi penemuan tersebut dalam periode waktu tertentu, biasanya 20 tahun sejak tanggal pengajuan)
US20200010399 A1 (<i>Method of making dialkyl terephthalate from terephthalic acid</i>)	Paten dari Amerika Serikat yang dipublikasikan pada tahun 2020 Campuran produk yang mengandung	Asam Tereftalat dan 2-Etil-Heksanol dengan perbandingan mol 1 : 2,6 hingga 1 : 4,2	Dijalankan pada suhu 200-220 °C pada tekanan 0,3 - 10 bar (disarankan pada	<i>Abandoned</i> (Pengajuan paten telah ditinggalkan oleh pemohon, biasanya karena

Paten	Deskripsi	Bahan	Kondisi Operasi	Status
	DOTP terdiri dari sisa 2-etil heksanol, air, satu atau lebih produk sampingan, TPA yang tidak bereaksi. Isolasi DOTP dapat dicapai dengan mendistilasi campuran produk untuk menghilangkan paling sedikit sisa 2-etil heksanol. Konversi asam tereftalat bisa diatas 85%	dengan katalis titanium oksiasetilase tonat	tekanan atmosfer)	pemohon tidak merespons tindakan dari kantor paten atau tidak membayar biaya yang diperlukan. Paten ini tidak akan pernah diberikan hak eksklusif)
US20150307435 A1 <i>(Esterification Process)</i>	Paten dari Amerika Serikat yang dipublikasikan pada tahun 2015. Paten ini menjelaskan mengenai proses esterifikasi untuk menghasilkan <i>plasticizer</i> . DOTP dapat dibuat dengan PTA atau TPA yang memiliki titik leleh lebih dari 300°C dan berbentuk padat dalam	Asam Tereftalat dan 2-Etil-Heksanol dengan katalis titanium Dengan perbandingan mol 1:2,5 lalu ditambahkan gas inert di zona reaksi	Dijalankan pada suhu 150-270 °C pada tekanan 10-400 kPa.	<i>Abandoned</i> (Pengajuan paten telah ditinggalkan oleh pemohon, biasanya karena pemohon tidak merespons tindakan dari kantor paten atau tidak membayar biaya yang diperlukan. Paten ini tidak akan pernah

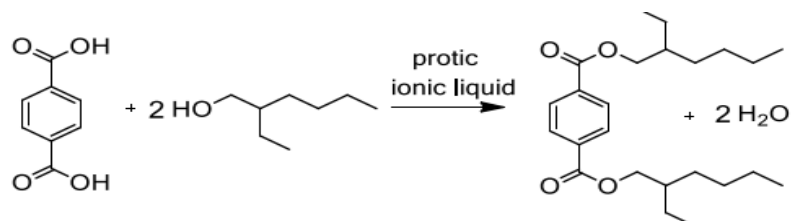
Paten	Deskripsi	Bahan	Kondisi Operasi	Status
	lingkungan operasi biasa. Dalam umpan alkohol, kelarutan PTA rendah dan laju reaksi dibatasi. Namun, ketika pelarut non-polar seperti dioksan ditambahkan secara terpisah ke dalam reaktor atau dalam campuran ke media reaksi, kelarutan TPA akan meningkat dan laju reaksi lebih cepat. Pengurangan tekanan dapat digunakan untuk merebus air dan dioksan, yang memungkinkan suhu reaksi yang lebih rendah, menghemat energi dan mengurangi tekanan pada peralatan. Dioksan juga dapat digunakan untuk mengeluarkan air dari campuran reaksi 2-EH,			diberikan hak eksklusif)

Paten	Deskripsi	Bahan	Kondisi Operasi	Status
KR101663586B1 <i>(Diocetyl Terephthalate manufacturing method increased reaction conversion rate through unique reaction temperature control)</i>	Merupakan sebuah paten dari Korea Selatan yang diterbitkan pada tahun 2016. Proses untuk menghasilkan dioktil tereftalat dengan kebutuhan energi reaksi rendah. Ini dicapai melalui dua tahap reaksi: tahap pertama, di mana banyak reaktor digunakan, dan tahap kedua, di mana suhu reaktor pada tahap pertama lebih rendah daripada suhu reaktor pada tahap pertama. Lebih disukai secara kuantitatif untuk mencapai konversi sebesar 99% atau lebih dengan menggunakan reaktor.	Dioktil Tereftalat (DOTP) dapat dibuat dari katalis esterifikasi dan oktanol (2-etilheksil alkohol dan isomer) dan asam tereftalat (TPA) sebagai bahan baku pada berbagai kondisi tekanan.	Dijalankan pada suhu 210-230 °C pada tekanan atmosfer	<i>Publication</i> (Paten masih dalam tahap pengajuan dan sedang diproses oleh kantor paten. Ini berarti bahwa paten belum disetujui dan hak eksklusif belum diberikan)

(Sumber : patents.google.com)

Berdasarkan kumpulan paten di atas, paten yang paling mungkin digunakan adalah Paten US No. 10472317B2. Paten tersebut dipilih karena statusnya sudah *application granted*, menghasilkan DOTP dengan kemurnian 99,5 % dan untuk saat ini sudah terbukti digunakan oleh perusahaan plastik Nan Ya dari Taiwan. Paten tersebut menjelaskan bahwa produksi DOTP menggunakan proses esterifikasi.

Proses esterifikasi adalah reaksi kimia yang mana alkohol dan asam bergabung untuk membentuk ester sebagai produk reaksi. Paten US No. 10472317B2 meningkatkan efisiensi proses esterifikasi untuk menghasilkan DOTP. Bahan utama dari proses ini yaitu PTA(*purified terephthalic acid*) / asam tereftalat dan 2-EH / 2-Etil Heksanol dengan menggunakan katalis berbasis titanium. Berikut ini adalah reaksi yang terjadi antara asam tereftalat ($C_8H_6O_4$) dan 2-Etil Heksanol ($C_8H_{18}O$) untuk membentuk DOTP:



Gambar 1.2 Proses esterifikasi produksi DOTP

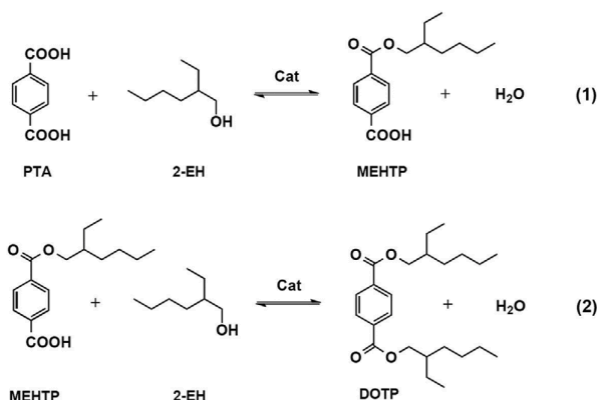
(Sumber : Grymel, A., et al., 2020)

Dalam paten ini terdapat 5 tahapan dalam pembuatan DOTP. Tahap awal dalam membuat DOTP adalah mencampur asam tereftalat murni (PTA) dan alkohol C_6 - C_{10} dengan perbandingan berat 1 : 0,8-1,5 dan diproses dalam homogenizer selama 2-8 jam sehingga terbentuk bubur PTA yang mempunyai ukuran partikel PTA antara 80 hingga 110 μm dan luas permukaan spesifik

sedikitnya 0,3723 m²/g, dimana laju kenaikan luas permukaan spesifiknya antara 5 dan 10%. Tahap 2 menyediakan 75-107 wt % bubur PTA dari langkah awal dan 30-85 wt % alkohol C₆-C₁₀. Tahap 3 menyediakan 0,1-2,0 wt% katalis berbasis titanium sebagai katalis esterifikasi. Katalis berbasis titanium adalah satu atau lebih yang dipilih dari kelompok yang terdiri dari tetrabutyl titanat (Ti(OC₄H₉)₄), tetraisopropil titanat (TIPT), titanium tetraisobutanolat (TIBT) dan tetra 2-etilheksil titanat (EHT). Tahap 4 yaitu melakukan esterifikasi komponen-komponen tahap (2) dengan kehadiran katalis esterifikasi tahap (3) pada tekanan antara -30 dan 1013 mbar dan suhu antara 200 dan 250° C selama 2-3 jam untuk membentuk campuran reaksi. Setelah esterifikasi, tahap 5 bertujuan menetralkan campuran reaksi dengan larutan berair logam alkali hidroksida yang mengandung campuran hidroksida 5-20 wt%, sampai campuran reaksi yang mempunyai nilai asamnya berkurang sampai di bawah 0,07 mg KOH/g, dan kemudian membuang sisa alkohol C₆-C₁₀, pengeringan dan penyaringan, sehingga diperoleh *plasticizer* tereftalat. Air yang dihasilkan selama esterifikasi dan alkohol yang digunakan dibentuk menjadi azeotrop di bawah tekanan vakum atau tekanan atmosfer, dan azeotrop dihilangkan dari campuran reaksi. katalis esterifikasi dihilangkan setelah esterifikasi menggunakan uap dan karbon aktif. Larutan berair logam alkali hidroksida pada Langkah (5) berada dalam jumlah 4-5 kali melebihi apa yang dibutuhkan oleh nilai asam dari campuran reaksi.

Zhou, F., et al (2022) melakukan sintesis DOTP melalui mekanisme yang sama yaitu esterifikasi. Bahan yang digunakan dalam proses ini yaitu asam tereftalat dan 2-etil heksanol lalu ditambahkan katalis tetrabutyl titanat.

Perbandingan rasio molar antara asam tereftalat dan 2-etil heksanol adalah 1:3 dengan konsentrasi katalis 0.0015 mol/L. Asam tereftalat dan 2-etil heksanol diumpangkan ke dalam reaktor dengan perbandingan 1 : 3 rasio molar dengan konsentrasi katalis 0.0015 mol/L atau setara. Reaksi dijalankan pada sebuah reaktor alir tangki berpengaduk yang dilengkapi dengan *heating jacket* dan *blanket system* menggunakan unsur N₂. Reaksi esterifikasi dijalankan pada suhu 453,15 K atau 180°C pada tekanan 1 atm. Berikut ini adalah mekanisme reaksi esterifikasi yang dijalankan :



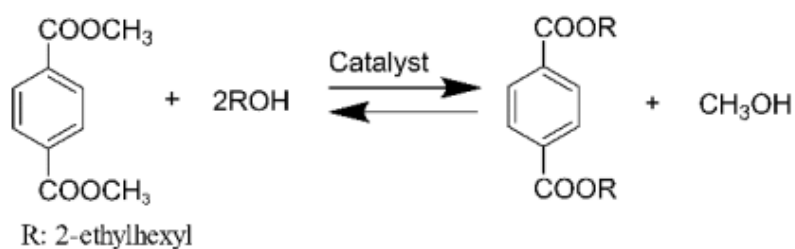
Gambar 1.3 Proses esterifikasi dari DOTP

(Sumber : Zhou, F., et al., 2022)

Reaksi di atas menunjukkan reaksi secara semi-parallel yang mana asam tereftalat (PTA) akan bereaksi dengan 2-etil heksanol / 2-EH akan membentuk produk intermediat yaitu MEHTP (*mono- 2-ethylhexyl terephthalate*) dan secara bersamaan 2-etil heksanol akan bereaksi dengan MEHTP untuk membentuk produk utama yaitu DOTP dengan hasil samping atau *by product*-nya yaitu H₂O atau air.

1.3.2 Transesterifikasi

Transesterifikasi adalah penggantian satu reaktan dengan reaktan lain dalam gugus ester. DOTP dibuat secara komersial melalui transesterifikasi dimetil tereftalat dengan 2-Etil heksanol. Dalam labu alas bulat yang dilengkapi dengan pengaduk mekanis yang efisien, kondensor refluks, dan perangkap Dean-Stark DMT, 2-etil heksanol (1:2 dalam rasio molar) dan katalis ditempatkan dalam jumlah yang ditunjukkan pada Tabel 1.6. Campuran dipanaskan hingga suhu yang ditentukan untuk waktu yang ditentukan (Tabel 1.6). Tingkat konversi diikuti dan dihitung dengan mengukur jumlah metanol yang terkumpul. Setelah waktu yang tepat (Tabel 1.6), campuran reaksi disaring dalam ruang hampa udara dan filtrat jernih didistilasi fraksional di bawah tekanan rendah. Produk utama (DOTP) dikumpulkan pada kisaran suhu 206-220 °C pada 3-5 mmHg (titik didih yang dilaporkan pada 760 mmHg adalah 400 °C) (Firdovsi et al., 2007).



Gambar 1.4 Proses transesterifikasi produksi DOTP

(Sumber : Altun et al., 2022)

Tabel 1.6 Kondisi reaksi dan hasil sintesis DOTP dengan berbagai katalis

Katalis	% mol	Suhu	Durasi Reaksi (menit)	% Konversi
$\text{Cd}(\text{OAc})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1,5	140-170	180	85,6
$\text{Cd}(\text{OAc})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1,5	140-170	105	93,6
$\text{Pb}(\text{OAc})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	1,5	140-170	160	77,2
$\text{Zn}(\text{OAc})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1,82	140-175	190	45,4
NaOAc	4,88	140-175	360	2,5
Sulfated ZrO_2	1,13	140-180	260	85,6

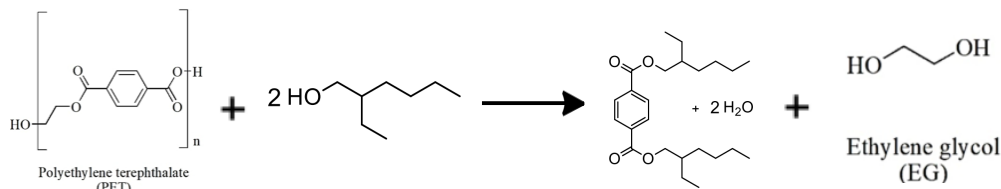
(Sumber : Firdovsi et al., 2007)

Berdasarkan paten dari Jepang yaitu JP 2003238479A yang menjelaskan proses produksi DOTP menggunakan metode transesterifikasi dari *Dimethyl Terephthalate* (DMT) dengan alkohol monohidrat $\text{C}_6\text{-C}_{13}$ dalam dua langkah proses produksi dalam hal ini digunakan 2-Etil Heksanol / 2-EH. Reaksi transesterifikasi ini difasilitasi oleh katalis seperti tetraisopropil titanat atau dibutyltin oksida, dan berlangsung pada suhu antara 150 hingga 250°C. Reaksi berlangsung di reaktor semi *batch*. Sistem reaksi dijaga dalam atmosfer inert dengan menggunakan nitrogen, dan metanol yang dihasilkan dari reaksi ini secara bertahap dihilangkan melalui distilasi. Cairan yang mengandung metanol didistilasi pada awal reaksi, sementara cairan yang mengandung alkohol monohidrat rantai panjang terdistilasi pada akhir reaksi. Reaksi dimulai dengan mencampurkan 1,0 mol DMT (194 g), 2,5 mol 2-etil heksanol (325 g), dan 0,2 ml tetraisopropil titanat dalam labu reaksi berkapasitas 1 L yang dilengkapi dengan

berbagai peralatan. Reaksi berlangsung dengan peningkatan suhu secara bertahap hingga mencapai 220°C, dan metanol yang dihasilkan didistilasi secara bertahap selama 2 jam pertama. Setelah distilasi metanol dimulai, reaksi dilanjutkan dengan penambahan 195 g 2-etilheksanol secara bertahap dalam waktu satu jam, dan alkohol berlebih kemudian dihilangkan dengan distilasi di bawah tekanan rendah untuk menyelesaikan reaksi. Produk akhir berupa larutan reaksi yang mengandung DOTP kemudian dimurnikan melalui distilasi untuk mendapatkan 387 g DOTP dengan kemurnian tinggi dan konversi sebesar 94%. Waktu reaksi total adalah 4 jam dan 40 menit dengan penggunaan kolom rektifikasi untuk mengembalikan 2-etil heksanol ke dalam reaktor.

1.3.3 Alkoholis Polietilen Tereftalat (PET)

Memproduksi dioktil tereftalat (DOTP) melalui alkoholis polietilena tereftalat (PET) menggunakan isooktil alkohol (2-Etilheksanol, 2-EH) melibatkan beberapa langkah dan pertimbangan utama. Cairan ionik, khususnya yang berbahan dasar imidazol, semakin banyak digunakan dalam proses degradasi polimer karena sifatnya yang unik, seperti stabilitas kimia, tidak mudah menguap, dan kemampuan melarut yang kuat. Sifat-sifat ini menjadikan ILs (*ionic liquids*) sebagai pelarut yang sangat baik, yang dapat meningkatkan reaksi alkoholis dengan meningkatkan kelarutan PET dan meningkatkan laju reaksi.



Gambar 1.5 Alkoholisasi PET untuk menghasilkan DOTP

(Sumber : Anuar et al., 2022 & Grymel et al., 2020)

Alkoholisasi PET untuk menghasilkan DOTP dengan adanya cairan ionik biasanya dilakukan dalam labu leher tiga dengan dasar bulat dalam kondisi refluks. Reaksi ini berlangsung di reaktor batch pada kondisi subkritis bisa juga digunakan reaktor RATB jika pada kondisi superkritis (Ding et al., 2014). Pengaturan tersebut mencakup kondensor refluks untuk mendaur ulang 2-EH dan sistem untuk memisahkan produk sampingan etilen glikol (EG) dari campuran reaksi. Irisan PET dibersihkan, dikeringkan, lalu dicampur dengan 2-EH, cairan ionik (biasanya [Bmim]Cl (1-Butyl-3-methylimidazolium chloride), dan katalis seperti seng asetat (ZA) atau tetrabutyl titanat ($\text{Ti}(\text{OC}_4\text{H}_9)_4$). Campuran reaksi dipanaskan hingga suhu refluks, sekitar $190\text{--}200^\circ\text{C}$, pada tekanan atmosfer. Pada suhu ini, 2-EH, agen alkoholisasi, bereaksi dengan PET, memecahnya menjadi komponen monomernya. Cairan ionik meningkatkan kelarutan PET dan memperbaiki laju reaksi. Reaksi berlangsung sekitar 5 jam, selama itu PET hampir seluruhnya terdegradasi dan DOTP tersintesis. Setelah reaksi, campuran didinginkan, dan residu padat (PET yang tidak bereaksi, katalis) dipisahkan dari fase cair. Fase cair, yang mengandung DOTP, 2-EH, dan cairan ionik, dicuci dengan air untuk menghilangkan komponen yang larut dalam air seperti etilen glikol. Cairan ionik kemudian dipulihkan dengan menguapkan air dan sisa

kotoran yang mudah menguap pada tekanan rendah. Pada proses ini PET memiliki konversi sebesar 98%. Proses alkoholisis polietilena tereftalat (PET) untuk menghasilkan dioktil tereftalat (DOTP) menawarkan beberapa keuntungan, terutama saat menggunakan pelarut eutektik dalam (DES) berbasis kolin klorida sebagai katalis. Metode ini memberikan alternatif yang efisien dan ramah lingkungan untuk proses tradisional, yang seringkali mahal dan rumit. Potensinya untuk aplikasi skala besar dalam memproduksi *plasticizer* hijau dan tidak beracun seperti DOTP (Zhou, L., et al., 2019).

Dari ketiga metode diatas, untuk memudahkan analisis metode yang paling optimal yang nantinya akan digunakan dalam proses produksi DOTP yaitu dirangkum pada tabel 1.7 berikut ini.

Tabel 1.7 Perbandingan proses produksi DOTP

Proses	Esterifikasi	Transesterifikasi	Alkoholisis PET
Bahan baku	Asam tereftalat (TPA) dan 2-Etil heksanol (2-EH)	Dimetil Tereftalat (DMT) dan 2-Etil heksanol (2-EH)	Polietilen tereftalat (PET) dan 2-Etil Heksanol (2-EH)
Produk	DOTP dan air	DOTP dan metanol	DOTP dan Etilen glikol
Rasio bahan baku	TPA : 2-EH 1 : 1,8-5	DMT : 2-EH 1 : 2,5	PET : 2-EH 1 : 2
Katalis	Tetrabutyl titanat $Ti(OC_4H_9)_4$	Tetraisopropil titanat $Ti(OCH(CH_3)_2)_4$	Seng asetat (ZA) atau tetrabutyl titanat $Ti(OC_4H_9)_4$
Suhu	180°C-210°C	198°C-220°C	190-200°C
Tekanan	1 atm	1 atm	1 atm

Proses	Esterifikasi	Transesterifikasi	Alkoholisis PET
Waktu reaksi	2-3 jam	4-6 jam	5 jam
reaktor	RATB	Semi Batch	Batch / RATB
Konversi	99%	93,6%-94%	98%
Kelebihan	Durasi waktu reaksi yang cukup singkat, bahan baku tersedia melimpah di Indonesia, dan konversi yang sangat tinggi	Kemudahan proses separasi <i>by product</i> (metanol), kemudahan manipulasi kontrol proses karena reaksi <i>reversible</i>	Proses alternatif dan lebih ramah lingkungan sehingga menghasilkan toksisitas yang rendah
Kekurangan	Variasi rasio bahan mol merupakan tantangan dalam sebuah proses	Durasi waktu yang lama dan konversi relatif lebih rendah dibanding proses esterifikasi, diperlukan	Mahal dan rumit karena adanya etilen glikol yang memerlukan perlakuan dalam separasi

Dari ketiga proses yang telah dipaparkan di atas, maka dapat dipilih proses yang pertama yaitu proses esterifikasi. Pada proses ini memiliki banyak keunggulan dibanding diantara proses yang lainnya serta konversi yang cukup tinggi yaitu 99 %. Disamping itu terdapat paten yang legal dan perusahaan Nan Ya dari Taiwan telah menggunakan proses ini untuk menghasilkan DOTP. Hal itu juga didukung dengan penggunaan katalis berbasis tetrabutyl titanat yang dapat sangat mempersingkat waktu reaksi esterifikasi dan merupakan katalis lebih baik dari pada asam kuat sebelumnya karena dapat merusak peralatan proses (Zhou, F., et al., 2022).

1.4 Tinjauan Kinetika dan Termodinamika

1.4.1 Tinjauan Kinetika

Proses sintesis *Diocetyl Terephthalate* (DOTP) melalui metode esterifikasi melibatkan satu tahap utama, di mana asam tereftalat bereaksi dengan 2-etil heksanol untuk membentuk DOTP, dengan air sebagai produk sampingan. Reaksi ini membutuhkan waktu sekitar 2-3 jam dan menggunakan katalis berbasis titanium, yaitu Tetrautil Titanat. Sintesis DOTP mengikuti mekanisme reaksi orde dua.

Berdasarkan penelitian oleh Zhou, F., et al. (2022), pada kondisi tekanan 29,6 atm dan suhu 180°C, konstanta laju reaksi pertama (k_1) adalah esterifikasi pembentukan DOTP dari asam tereftalat dan 2-Etil Heksanol yang memiliki nilai sebesar 0,785 L/(mol.min) dan konstanta laju reaksi kedua (k_2) yang memiliki nilai 6,222 L/(mol.min), dengan deviasi masing-masing sebesar 5% dan 34%. Selain itu. Sementara itu, energi aktivasi untuk reaksi pertama (E_{a1}) nya yaitu adalah 98,6 kJ/mol, sementara untuk reaksi kedua (E_{a2}) adalah 85,51 kJ/mol, dengan deviasi berturut-turut sebesar 16% dan 78%. (Zhou, F., et al., 2022). Berdasarkan analisis ini, nilai deviasi terkecil yang diperoleh adalah pada konstanta laju reaksi k_1 sebesar 0,785 L/(mol.min) dan energi aktivasi E_{a1} sebesar 98,6 kJ/mol, sehingga nilai-nilai ini digunakan sebagai acuan dalam desain ukuran reaktor.

Dengan demikian, sintesis DOTP melalui proses esterifikasi ini dapat dioptimalkan dengan mempertimbangkan nilai-nilai kinetika yang diperoleh,

terutama konstanta laju reaksi dan energi aktivasi, yang sangat mempengaruhi efisiensi dan hasil akhir dari reaksi tersebut.

1.4.2 Tinjauan Termodinamika

Tinjauan dari perspektif termodinamika bertujuan untuk memahami karakteristik reaksi kimia, khususnya dalam hal apakah reaksi tersebut bersifat endotermis (menyerap energi dalam bentuk panas) atau eksotermis (melepaskan energi panas), serta menentukan arah kecenderungan reaksi, apakah reaksi tersebut berlangsung secara *reversible* (dapat berbalik arah) atau *irreversible* (tidak dapat berbalik arah). Untuk mengetahui apakah reaksi bersifat endotermis atau eksotermis, dilakukan penghitungan berdasarkan panas pembentukan standar (ΔH_f°) dari zat-zat yang terlibat dalam reaksi. Penghitungan ini dilakukan pada kondisi standar, yaitu pada tekanan 1 atm dan suhu 298 K (25°C), yang merupakan kondisi standar dalam termodinamika.

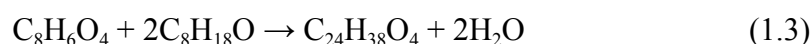
Nilai ΔH_f° masing-masing komponen pada suhu 298 K dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 1.8 Harga panas pembentukan standar (ΔH_f°) pada 298 K

Senyawa	Nama senyawa	$\Delta H_f^\circ_{298K}$ (kJ/mol)
$C_8H_6O_4$	Asam tereftalat	-717,9
$C_8H_{18}O$	2-Etil heksanol	-365,3
$C_{24}H_{38}O_4$	DOTP	-966,72
H_2O	Air	-241,8

(Yaws, 1999)

Adapun reaksi esterifikasi dari DOTP adalah sebagai berikut :



$$\Delta H_r = \Delta H_f^\circ \text{ produk} - \Delta H_f^\circ \text{ reaktan} \quad (1.4)$$

$$\begin{aligned} &= (\Delta H_f^\circ \text{C}_{24}\text{H}_{38}\text{O}_4 + 2 \cdot \Delta H_f^\circ \text{2H}_2\text{O}) - (\Delta H_f^\circ \text{C}_8\text{H}_6\text{O}_4 + 2 \cdot \Delta H_f^\circ \text{C}_8\text{H}_{18}\text{O}) \\ &= (-966,72 + 2 \times -241,8) \text{ kJ/mol} - (-717,9 + 2 \times -365,3) \text{ kJ/mol} \\ &= -1,82 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan di atas, dapat disimpulkan bahwa proses sintesis Dioctyl Terephthalate (DOTP) berlangsung secara eksotermis. Hal ini ditunjukkan oleh nilai entalpi pembentukan standar (ΔH_r) yang bernilai negatif ($\Delta H_r < 0$). Nilai negatif dari ΔH_f° mengindikasikan bahwa selama berlangsungnya reaksi, energi dalam bentuk panas dilepaskan ke lingkungan.

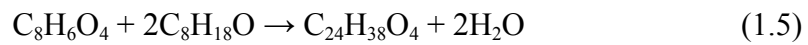
Untuk menentukan arah kecenderungan suatu reaksi kimia, diperlukan perhitungan nilai konstanta kesetimbangan reaksi (K), yang dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan yang didasarkan pada energi Gibbs dari seluruh komponen senyawa yang terlibat dalam reaksi. Nilai konstanta kesetimbangan (K) memberikan informasi penting mengenai posisi kesetimbangan reaksi dan apakah reaksi tersebut akan lebih condong ke arah produk atau reaktan.

Tabel 1.9 Harga nilai Gibbs (ΔG_f°) masing-masing komponen

Senyawa	Nama senyawa	ΔG_f° (kJ/mol)
$\text{C}_8\text{H}_6\text{O}_4$	Asam tereftalat	-599
$2\text{C}_8\text{H}_{18}\text{O}$	2-Etil heksanol	-118,88
$\text{C}_{24}\text{H}_{38}\text{O}_4$	DOTP	-406,3
$2\text{H}_2\text{O}$	Air	-227,36

(Yaws, 1999)

Adapun reaksi esterifikasi dari DOTP adalah sebagai berikut :



$$\Delta G_r = \Delta G_f^\circ \text{ produk} - \Delta G_f^\circ \text{ reaktan} \quad (1.6)$$

$$\begin{aligned} &= (\Delta G_f^\circ \text{C}_{24}\text{H}_{38}\text{O}_4 + 2.\Delta G_f^\circ \text{H}_2\text{O}) - (\Delta G_f^\circ \text{C}_8\text{H}_6\text{O}_4 + 2.\Delta G_f^\circ \text{C}_8\text{H}_{18}\text{O}) \\ &= (-406,3 + 2 \times -227,36) \text{ kJ/mol} - (-599 + 2 \times -118,88) \text{ kJ/mol} \\ &= -24,26 \text{ kJ/mol} \\ &= -24.260 \text{ J/mol} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas menghasilkan nilai $\Delta G_f^\circ < 0$ yang menunjukkan reaksi tersebut berjalan secara spontan. Selanjutnya dihitung nilai K menggunakan persamaan Smith Van Ness (1997), maka :

$$\ln K = - \frac{\Delta G_r}{T \times R} \quad (1.7)$$

Dimana :

ΔG_r = Energi Gibbs reaksi (kJ/mol)

T = Temperature (K)

R = 8,314 J/mol.K

Sehingga didapat :

$$\ln K = - \frac{-24.260}{298 \times 8,314} \quad (1.8)$$

$$K = e^{- \frac{-24.260}{298 \times 8,314}}$$

$$K = 17.887,270$$

Jika nilai K kurang dari 1 ($K < 1$), maka reaksi tersebut dianggap reversible, yang berarti bahwa reaksi tersebut memiliki kecenderungan untuk berlangsung bolak-balik antara pereaksi dan produk, dengan keseimbangan yang

lebih condong ke arah pereaksi. Sebaliknya, nilai K lebih besar dari 1 ($K > 1$), maka reaksi cenderung bersifat irreversible, artinya reaksi ini sangat mengarah pada pembentukan produk dan sulit untuk kembali ke arah pereaksi.

Dengan demikian reaksi pembentukan DOTP dengan metode esterifikasi berlangsung secara *irreversible* atau searah dan cenderung ke arah pembentukan produk.

BAB II

PERANCANGAN PRODUK

2.1 Spesifikasi Produk

2.1.1 *Diocetyl Terephthalate* (DOTP)

2.1.1.1 Sifat Fisika

Rumus kimia	: $C_{24}H_{38}O_4$
Berat molekul	: 390,56 g/mol
Fase	: Cair pada 25°C dengan tekanan 1 atm
Warna	: Tak berwarna
Densitas	: 0,986 g/ml pada 25°C
Temperatur kritis	: 532,85°C
<i>Liquid heat capacity</i>	: 1804 J/ kg.K
Viskositas	: 0.063 Pa.s pada 25°C
Titik didih	: 384°C
Titik leleh	: -50°C
<i>Specific gravity</i>	: 0,9822
<i>Flash point</i>	: 212°C
<i>Auto-ignition temperature</i>	: 387°C
Kemurnian	: 96%-99,5% $C_{24}H_{38}O_4$ 4%-0,05% $C_8H_6O_4$
Kelarutan	: 0,0004 g/l at 22,5°C di air Larut pada pelarut organik seperti $C_8H_{18}O$ (2-Etil Heksanol)
Harga	: \$10 / kg

(Sumber : *Diocetyl Terephthalate's* SDS, 2024)

2.1.1.2 Sifat Kimia

DOTP memiliki stabilitas termal yang tinggi, volatilitas yang rendah, dan modulus elastisitas yang sangat baik, yang meningkatkan sifat mekanis komposit polimer. Penelitian telah menunjukkan bahwa DOTP, ketika dicampur dengan polivinil alkohol (PVA) dan ditingkatkan dengan aditif seperti oksida grafena dan nanopartikel perak, secara signifikan meningkatkan sifat termal, hidrofilik, dan mekanis komposit PVA, meningkatkan modulus elastisitas lebih dari 13 kali dan mengurangi sudut kontak, yang menyiratkan hidrofilisitas yang lebih baik (Ceran, O.,B., et al 2020). Lebih jauh lagi, DOTP menawarkan ketahanan yang luar biasa dalam aplikasi semen, menunjukkan peningkatan kekuatan tekan yang nyata sebesar 10,44% ketika terkena larutan natrium sulfat (Kucuk, V., A., et al., 2020). Sifat-sifat ini menjadikan DOTP sebagai alternatif yang lebih aman dan sangat efisien untuk digunakan dalam PVC fleksibel, aplikasi listrik, dan bahan bangunan, yang berkontribusi terhadap peningkatan lingkungan dan fungsional dibandingkan dengan *plasticizer* tradisional.

2.2 Spesifikasi Produk Samping

2.2.1 Air

2.2.1.1 Sifat Fisika

Rumus kimia	: H_2O
Berat molekul	: 18,016 g/mol
Fase	: Cair (1 atm, 25°C)
Wujud	: Tak berwarna
Densitas	: 997 g/L (1 atm, 25°C)

Tekanan kritis	: 374°C
<i>Liquid heat capacity</i>	: 4.200 J/kg.K
Titik didih	: 100°C pada 1 atm
Titik lebur	: 0°C
<i>Specific gravity</i>	: 1,612
Viskositas	: 0.00085 Pa.s pada 30°C

(Sumber : *Water's* MSDS, 2000)

2.2.1.2 Sifat Kimia

Air (H_2O), yang dikenal sebagai pelarut universal, menunjukkan sifat kimia yang unik karena struktur molekulnya. Air merupakan molekul polar, di mana atom oksigen memiliki muatan negatif parsial, dan atom hidrogen membawa muatan positif parsial, yang menghasilkan ikatan hidrogen yang kuat antara molekul air. Ikatan hidrogen ini bertanggung jawab atas banyak karakteristik kimia utamanya, seperti titik didih yang relatif tinggi (100°C) dan tegangan permukaan yang tinggi (Zeece, 2020). Air dapat bertindak sebagai asam dan basa, menjadikannya amfoterik, yang memungkinkannya berpartisipasi dalam berbagai macam reaksi kimia, termasuk reaksi asam-basa dan redoks, yang penting bagi ekosistem (Molot & Dillon , 2024). Lebih jauh lagi, kemampuan air untuk melarutkan banyak zat membuatnya penting dalam pengangkutan nutrisi dan limbah dalam sistem biologis dan proses lingkungan.

2.3 Spesifikasi Bahan Baku Utama

2.3.1 Asam Tereftalat (TPA)

2.3.1.1 Sifat Fisika

Rumus kimia	: $C_8H_6O_4$
Berat molekul	: 166,133 g/mol
Fase	: Padat pada 25°C dan 1 atm
Warna	: Putih
Densitas	: 1,52 g/ml
Tekanan kritis	: 39,83 atm
<i>Liquid heat capacity</i>	: 1314 J/kg.K
Viskositas	: 0,0000196 Pa.s pada 166,85°C
Titik didih	: 558,85°C
Titik leleh	: 427°C
<i>Flash point</i>	: 260°C
<i>Auto-ignition temperature</i>	: 496°C
Kelarutan	: 52.2 g/100 g air pada 25°C
Kemurnian	: *99% $C_8H_6O_4$ 1% $C_8H_8O_2$
Harga	: \$1,1 / kg

(Sumber : *Terephthalic Acid*'s SDS, 2024 , *Richardson et al, 2017)

2.3.1.2 Sifat Kimia

Asam tereftalat / *Terephthalic Acid* (TA), monomer kunci dalam produksi polietilen tereftalat (PET), menunjukkan sifat kimia yang signifikan didorong oleh struktur asam karboksilat aromatiknya. TA adalah padatan kristal putih, dengan kelarutan rendah dalam pelarut umum, meskipun larut dalam alkali dan beberapa

cairan ionik (Matuszek et al ., 2019). TA bersifat amfifilik, larut dalam alkali tetapi tidak dalam air netral, membuatnya dapat dipulihkan dari air limbah melalui teknik pengasaman dan filtrasi. Kelarutan TA yang rendah telah mendorong penelitian tentang pelarut alternatif untuk produksi ramah lingkungan, termasuk proses penyemprotan yang melewati hidrogenasi, yang mengarah pada pengurangan 57% dalam emisi gas rumah kaca (Li & Subramaniam , 2017).

2.3.2 2-Etil Heksanol

2.3.2.1 Sifat Fisika

Rumus kimia	: $C_8H_{18}O$
Berat molekul	: 130,23 g/mol
Fase	: Cair pada 25°C dan 1,013 bar
Warna	: Tidak berwarna
Densitas	: 0,833 g/ml pada 25°C
Tekanan kritis	: 26,94°C
<i>Liquid heat capacity</i>	: 2373,9 J/kg.K pada 24°C
Viskositas	: 0.008268 Pa.s pada 24°C
Titik didih	: 184°C pada 1 atm
Titik leleh	: -89°C
<i>Flash point</i>	: 77°C
<i>Auto-ignition temperature</i>	: 280°C
Kelarutan	: Tidak larut di air
Kemurnian	: *99,5% $C_8H_{18}O$ 0,05% Air (H_2O)
Harga	: \$0,55 / kg

(Sumber : *2-Ethyl Hexanol's* SDS, 2023, *Ali Baba, 2024)

2.3.2.2 Sifat Kimia

2-Etil heksanol (2-EH) adalah zat antara kimia penting, yang terutama digunakan dalam produksi *plasticizer*, biolubrikan, dan surfaktan. Secara kimia, 2-EH adalah alkohol bercabang delapan karbon dengan rumus $C_8H_{18}O$, dan dikenal karena sifat hidrofobik dan amfifiliknya. Kehadiran gugus hidroksil memungkinkan terjadinya ikatan hidrogen, yang secara signifikan mempengaruhi interaksi molekulernya ketika dicampur dengan alkohol lain. Studi pada campuran biner 2-EH dengan alkohol primer lainnya (seperti 1-propanol dan *2-propyn-1-ol*) mengungkapkan bahwa ikatan hidrogen dan pembentukan kompleks transfer muatan merupakan faktor kunci dalam perilaku molekulernya, yang mempengaruhi volume berlebih dan kompresibilitas (Rajani et al., 2023). Selain itu, 2-EH adalah bahan kimia *platform* serbaguna, yang diproduksi terutama dari minyak bumi, meskipun penelitian terkini mengeksplorasi produksinya dari sumber terbarukan seperti biomassa lignoselulosa, yang dapat memenuhi permintaan pasar yang berkembang secara berkelanjutan (Pauzi, N., et al., 2022).

2.4 Spesifikasi Bahan Pendukung

2.4.1 Katalis Tetrabutyl Titanat

2.4.1.1 Sifat Fisika

Rumus kimia	: $C_{16}H_{36}O_4Ti$
Berat molekul	: 340,32 g/mol
Fase	: Cair

Warna	: Tidak berwarna
Densitas	: 1 g/ml pada 20°C
Viskositas	: 0.05-0.08 c.Ps pada 20°C
<i>Liquid heat capacity</i>	: 1465,38 J/kg.K pada 20°C
Titik didih	: 312°C pada 1 atm
Titik leleh	: -70°C
<i>Flash point</i>	: 32°C
Kelarutan	: Larut dalam air, alifatik, dan aromatik
Kemurnian	: 99% C ₁₆ H ₃₆ O ₄ Ti 1% H ₂ O
Harga	: \$1 / kg

(Sumber : *Tetrabutyl Titanate's* SDS, 2020)

2.4.1.2 Sifat Kimia

Tetrabutyl titanat (Ti(OBu)₄) menunjukkan sifat kimia yang signifikan karena perannya sebagai titanium alkoksida yang terhidrolisis untuk membentuk titanium dioksida (TiO₂). Senyawa ini umumnya digunakan dalam penghambatan api, katalis, dan sebagai prekursor dalam sintesis nanomaterial. Misalnya, peran sinergisnya dalam penghambatan api telah ditunjukkan dalam resin vinil epoksi (VE). Ketika dikombinasikan dengan silsesquioxanes oligomerik polihedral yang mengandung fosfor (POSS), tetrabutyl titanat meningkatkan pembentukan lapisan arang yang stabil selama pembakaran, yang mengurangi pelepasan panas dan asap sekaligus meningkatkan sifat mekanis (Han et al., 2022). Lebih dari itu, kemampuannya untuk berikatan silang dengan resin epoksi berbasis air meningkatkan ketahanan terhadap korosi, mempertahankan nilai impedansi tinggi

dalam kondisi salin, sehingga menawarkan perlindungan yang kuat terhadap substrat baja karbon (Xu et al., 2020). Selain aplikasi tekstil, tetrabutyl titanat telah digunakan untuk memodifikasi serat sutra dan wol dengan metode hidrotermal, yang memungkinkan pencangkakan nanopartikel TiO_2 yang meningkatkan perlindungan UV, stabilitas termal, dan fiksasi pewarna, tanpa mengubah sifat kain secara signifikan (Zhang et al., 2014).

Tabel 2.1 Analisis Risiko Proses

No.	Parameter Risiko	Deskripsi	Risiko	
			Rendah	Tinggi
Kondisi operasi				
1.	Suhu	180°C		✓
2.	Tekanan	29,6 atm	✓	
Bahan baku yang digunakan				
1.	Asam Tereftalat	Flammability : Sukar terbakar Kategori 1	✓	
		Toxicity : Tidak beracun Kategori 0	✓	
		Reactivity : Tidak reaktif Kategori 0	✓	
		Corrosivity : Tidak begitu korosif Kategori 1	✓	
2.	2-Etil Heksanol	Flammability : Cukup mudah terbakar Kategori 2		✓
		Toxicity : Cukup beracun Kategori 2		✓
		Reactivity : Reaktivitas rendah	✓	

No.	Parameter Risiko	Deskripsi	Risiko	
			Rendah	Tinggi
Kondisi operasi				
1.	Suhu	180°C		✓
2.	Tekanan	29,6 atm	✓	
		Kategori 1		
		Corrosivity : Tidak korosif Kategori 0	✓	
3.	Katalis <i>Tetrabutyl Titanate</i>	Flammability : Mudah terbakar Kategori 3		✓
		Toxicity : Toksisitas sedang Kategori 2		✓
		Reactivity : Sangat reaktif Kategori 3		✓
		Corrosivity : Agak korosif Kategori 2		✓
4.	Nitrogen	Flammability : Tidak mudah terbakar Kategori 0	✓	
		Toxicity : Tidak beracun Kategori 0	✓	
		Reactivity : Tidak reaktif Kategori 0	✓	
		Corrosivity : Tidak korosif Kategori 0	✓	
Sifat produk yang dihasilkan				
1.	Dioktil Tereftalat (DOTP)	Flammability : Sukar terbakar Kategori 1	✓	
		Toxicity : Toksisitas rendah Kategori 1	✓	

No.	Parameter Risiko	Deskripsi	Risiko	
			Rendah	Tinggi
Kondisi operasi				
1.	Suhu	180°C		✓
2.	Tekanan	29,6 atm	✓	
		Reactivity : Tidak reaktif Kategori 0	✓	
		Corrosivity : Tidak korosif kategori 0	✓	
2.	Air	Flammability : Tidak mudah terbakar Kategori 0	✓	
		Toxicity : Tidak beracun Kategori 0	✓	
		Reactivity : Reaktivitas rendah Kategori 1	✓	
		Corrosivity : Korosifitas rendah Kategori 1	✓	

(Sumber : SDS & MSDS)

2.5 Pengendalian Kualitas

Pengendalian kualitas (*Quality Control*) pada pabrik Dioktil Tereftalat mencakup serangkaian langkah yang sistematis untuk memastikan bahwa setiap aspek produksi memenuhi standar yang telah ditetapkan. Proses ini dimulai dengan pengendalian kualitas bahan baku, di mana bahan-bahan yang digunakan dalam produksi dievaluasi secara ketat untuk memastikan kesesuaiannya dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Selanjutnya, pengendalian proses produksi dilakukan secara berkelanjutan untuk memantau dan menjaga konsistensi dalam setiap tahap produksi, sehingga meminimalkan variasi yang dapat mempengaruhi

kualitas produk akhir. Terakhir, pengendalian kualitas produk akhir melibatkan pemeriksaan dan pengujian yang cermat terhadap produk jadi untuk memastikan bahwa produk tersebut memenuhi kriteria kualitas yang diharapkan sebelum didistribusikan ke pasar.

2.5.1 Pengendalian Kualitas Bahan Baku

Pengendalian kualitas bahan baku bertujuan untuk mengevaluasi sejauh mana kualitas bahan yang digunakan memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan dalam proses produksi. Sebelum dimulainya tahapan produksi, dilakukan pengujian terhadap bahan baku seperti Asam Tereftalat dan komponen lain, termasuk katalis, guna memastikan bahwa bahan-bahan tersebut memenuhi standar yang diperlukan untuk diproses secara optimal di dalam pabrik. Hal ini dilakukan untuk menjamin kelancaran proses produksi dan kualitas produk akhir yang dihasilkan.

2.5.2 Pengendalian Kualitas Proses Produksi

Instrumen dan alat ukur merupakan elemen esensial dalam sistem pengendalian proses produksi. Keberadaan sistem ini memungkinkan pengawasan rutin terhadap komponen-komponen penting di dalam pabrik sehingga dapat dikelola dengan baik dan efisien. Instrumen memiliki tiga fungsi utama, yaitu sebagai alat untuk pengukuran, analisis, dan pengendalian. Selain berfungsi untuk memantau kondisi operasi secara *real-time*, instrumen juga digunakan untuk mengatur variabel proses secara manual maupun otomatis, serta memberikan peringatan dini kepada operator mengenai potensi kondisi kritis atau berbahaya yang dapat terjadi selama proses produksi. Instrumen tersebut harus dipastikan

berfungsi dengan baik dan sesuai dengan kebutuhan spesifik dari lokasi di mana instrumen tersebut ditempatkan, karena keberadaannya berperan langsung dalam menentukan mutu hasil produksi. Oleh karena itu, pengendalian proses di pabrik melibatkan tidak hanya pemantauan aliran produksi, tetapi juga sistem kontrol yang terintegrasi dengan baik untuk menjaga stabilitas dan efisiensi produksi secara keseluruhan.

2.5.2.1 Aliran Sistem Kontrol

1. Aliran pneumatis yang mengacu pada aliran udara bertekanan, digunakan sebagai media untuk menggerakkan katup (*valve*) dalam sistem kontrol. Aliran ini dimulai dari pengontrol (*controller*), yang mengirimkan sinyal untuk mengatur aktuator (*actuator*), sehingga memungkinkan manipulasi presisi dalam pengoperasian peralatan yang memerlukan kontrol otomatisasi berbasis tekanan udara. Contoh : ()
2. Aliran elektrik yang merupakan transmisi arus listrik, memainkan peran penting dalam pengukuran dan pengaturan suhu pada suatu sistem. Proses ini dimulai ketika sensor mendeteksi perubahan suhu pada lingkungan atau objek tertentu. Sensor tersebut kemudian mengirimkan sinyal listrik yang mengandung informasi mengenai suhu tersebut ke pengontrol (*controller*), yang selanjutnya melakukan proses evaluasi dan memberikan perintah pengendalian. Contoh : (----)
3. Aliran mekanik yang diartikan sebagai gerakan fisik atau perpindahan mekanis, digunakan dalam sistem pengukuran laju aliran (*flow*) fluida. Dalam

proses ini, sensor menangkap perpindahan atau perubahan fisik yang terjadi dalam fluida yang mengalir, dan data ini dikirimkan ke pengontrol (*controller*) untuk dianalisis. Pengontrol kemudian menggunakan informasi ini untuk mengatur laju aliran sesuai dengan parameter yang diinginkan.

2.5.2.2 Alat Sistem Kontrol

1. Sensor adalah perangkat yang digunakan untuk mengidentifikasi variabel-variabel dalam suatu proses industri, yang sering disebut sebagai variabel proses. Sensor ini dirancang untuk mendeteksi perubahan dalam parameter-parameter penting seperti aliran fluida, tekanan, suhu, dan level cairan dalam suatu sistem. Contoh alat yang digunakan sebagai sensor termasuk manometer untuk mengukur tekanan dan aliran fluida, serta termokopel untuk mendeteksi suhu. Sensor level dan tekanan juga berfungsi untuk memastikan bahwa kondisi di dalam sistem berada dalam batas-batas yang diizinkan, sehingga proses tetap berjalan aman dan efisien.
2. Pengendali (*Controllers*) adalah perangkat yang berfungsi untuk mengatur variabel-variabel proses berdasarkan pengukuran yang dilakukan oleh sensor. Pengendali ini bertindak sebagai otak dari sistem kontrol otomatis. Terdapat beberapa jenis pengendali yang umum digunakan dalam proses industri, di antaranya adalah *Level Control* (LC), *Temperature Control* (TC), *Pressure Control* (PC), dan *Flow Control* (FC).
 - a. *Level Control* (LC) berfungsi untuk menentukan dan mengatur ketinggian atau level cairan di dalam suatu peralatan, seperti kolom atau bejana, agar tetap berada dalam batas yang diizinkan. Dengan adanya pengendalian ini,

cairan tidak akan meluap atau turun di bawah level minimum yang dapat menyebabkan gangguan pada proses. LC umumnya dihubungkan dengan katup kontrol yang terletak pada saluran keluar dari kolom atau bejana, yang akan membuka atau menutup aliran sesuai dengan level cairan yang terdeteksi.

- b. *Temperature Control* (TC) bertugas untuk mengatur dan mempertahankan suhu operasi suatu alat atau proses pada tingkat yang telah ditentukan. Pengendalian suhu sangat penting dalam proses industri yang memerlukan kondisi termal tertentu agar proses kimia atau fisika dapat berlangsung dengan efisien. TC umumnya terhubung dengan perangkat pemanas atau pendingin untuk menyesuaikan suhu sesuai kebutuhan.
 - c. *Pressure Control* (PC) adalah pengendali yang berfungsi untuk mengatur tekanan operasi berdasarkan spesifikasi yang ditentukan untuk suatu peralatan atau proses. PC sangat penting dalam sistem yang menggunakan uap atau gas, di mana tekanan yang berlebihan dapat menyebabkan kerusakan alat atau bahaya lainnya. Pengendali tekanan ini biasanya terhubung dengan katup kontrol yang mengatur aliran uap atau gas, memastikan bahwa tekanan tetap stabil dan berada dalam rentang yang diinginkan.
3. *Flow Control* (FC) digunakan untuk mengatur laju aliran suatu material yang akan masuk ke dalam suatu proses atau peralatan. Pengendalian aliran ini memastikan bahwa jumlah bahan yang diperlukan untuk proses sesuai dengan kebutuhan, sehingga proses dapat berjalan dengan efisien dan konsisten. FC

seringkali dihubungkan dengan sensor aliran untuk mengukur dan mengatur aliran secara otomatis.

4. Aktuator (*Actuator*) adalah perangkat yang digunakan untuk melakukan tindakan fisik dalam proses pengendalian, dengan tujuan agar variabel aktuator sesuai dengan variabel yang ditentukan oleh pengendali. Aktuator bertanggung jawab untuk menggerakkan komponen mekanis seperti katup kontrol otomatis atau katup manual (*hand valve*), yang akan membuka atau menutup aliran bahan berdasarkan perintah dari sistem kontrol. Aktuator memungkinkan penyesuaian fisik dalam sistem untuk memastikan bahwa proses berjalan sesuai dengan parameter yang telah ditentukan oleh pengendali. Peran aktuator sangat penting dalam menjaga kestabilan dan efisiensi operasi dalam berbagai jenis sistem industri.

Dalam keseluruhan sistem kontrol ini, sensor, pengendali, dan aktuator bekerja secara sinergis untuk memastikan bahwa setiap aspek dari suatu proses industri dapat dikontrol secara otomatis dan dengan akurasi tinggi, sehingga kualitas produk dan keselamatan operasi dapat terjamin.

2.5.3 Pengendalian Kualitas Produk

Kualitas produk yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh proses-proses yang terjadi sebelumnya dalam rantai produksi. Untuk mencapai standar kualitas produk yang diinginkan, penting untuk memastikan bahwa setiap tahap dalam proses produksi dilaksanakan dengan baik. Hal ini mencakup pemilihan bahan baku yang berkualitas tinggi, penerapan metode pengawasan yang efektif, serta pengendalian proses yang ketat. Pengendalian proses yang efektif melibatkan

pemantauan dan penyesuaian parameter proses secara berkala untuk memastikan bahwa setiap variabel tetap berada dalam rentang yang sesuai. Ini termasuk mengatur suhu, tekanan, dan aliran bahan dalam sistem produksi agar tetap konsisten dan sesuai dengan spesifikasi yang diperlukan.

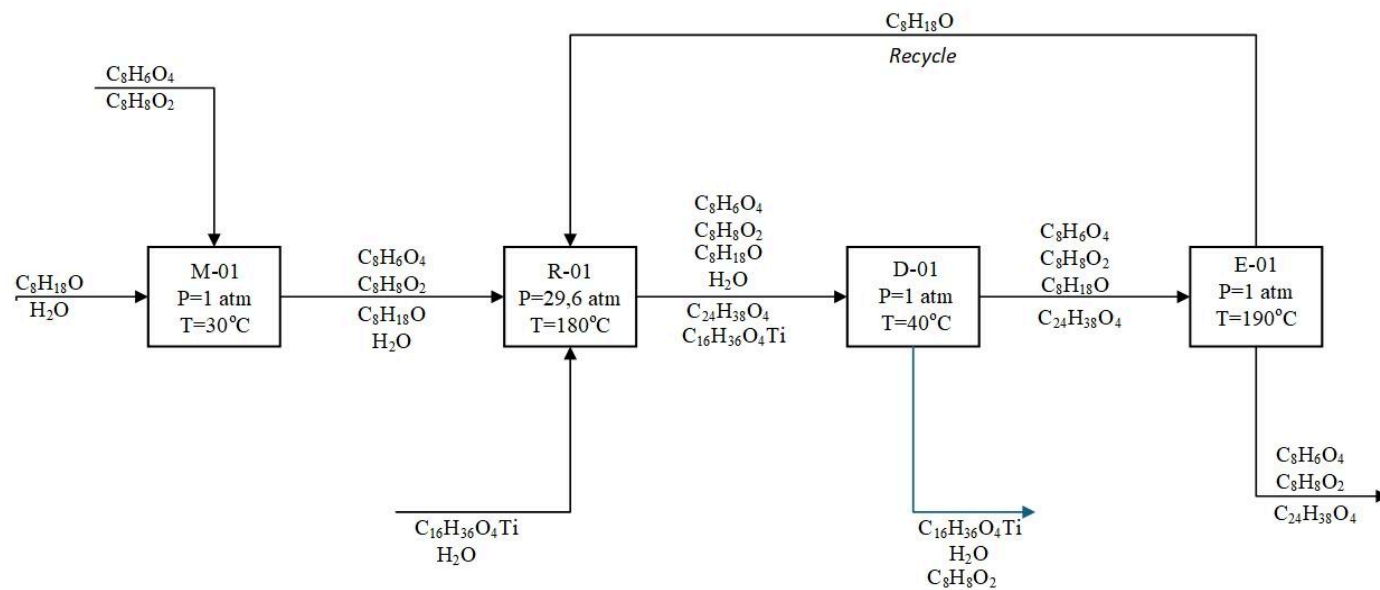
Dengan menerapkan bahan-bahan yang berkualitas, pengawasan yang cermat, dan pengendalian proses yang baik, maka produk yang dihasilkan dapat memenuhi standar kualitas yang diharapkan dan sesuai dengan kebutuhan pasar. Proses-proses ini bersama-sama berkontribusi pada pencapaian hasil akhir yang berkualitas tinggi, yang pada akhirnya mempengaruhi kepuasan pelanggan dan keberhasilan di pasar.

BAB III

PERANCANGAN PROSES

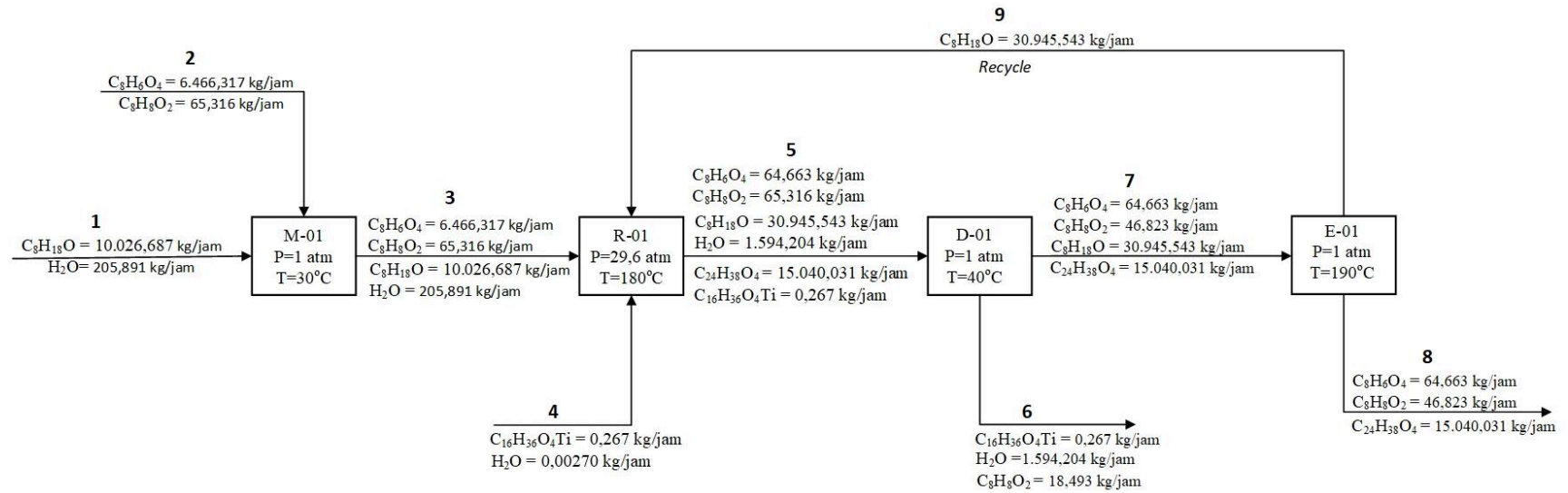
3.1 Diagram Alir Proses dan Material

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

Perancangan pabrik DOTP ini diproduksi dengan kapasitas sebesar 120.000 ton/tahun menggunakan bahan baku 2-etil heksanol dan asam tereftalat dengan bantuan katalis tetrabutyl titanat. Proses pembuatan DOTP ini menggunakan metode esterifikasi. Pabrik beroperasi selama 24 jam perhari dalam 330 hari dalam 1 tahun. Proses yang terjadi dibagi menjadi tiga tahap yaitu :

1. Persiapan bahan baku
2. Proses reaksi pembuatan produk
3. Proses pemisahan dan pemurnian produk

3.2.1 Tahap Persiapan Bahan Baku

1. Asam Tereftalat

Bahan baku utama pembuatan Dioktil Tereftalat yaitu asam tereftalat. Bahan baku ini memiliki kemurnian sebesar 99% dengan pengotor berupa *p-toluic acid* sebesar 1%. Bahan baku disimpan dalam silo (S-01) pada fase padat dengan kondisi lingkungan yaitu 1 atm dan suhu 30°C. Selanjutnya transportasi asam tereftalat menggunakan *bucket elevator* (BE-01) menuju silo lalu ke *belt conveyor* (BC-01) sebelum masuk *mixer* (M-01).

2. 2-Etil Heksanol

Bahan baku kedua yang digunakan yaitu 2-etil heksanol. Bahan baku ini memiliki kemurnian sebesar 99,5% dengan pengotor 0,05% berupa air. Bahan ini disimpan di Tangki (T-01) pada kondisi 1 atm dan suhu 30°C. Lalu mengalir ke *mixer* untuk melarutkan asam tereftalat sehingga membentuk larutan homogen.

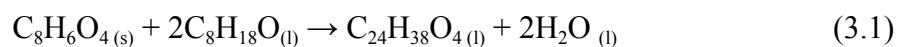
3. Tetrabutyl Titanat

Tetrabutyl titanat (TBT) merupakan bahan pendukung pada proses pembuatan DOTP. Bahan ini merupakan katalis cair yang mengalir langsung menuju reaktor (R-01). Katalis ini langsung aktif pada kondisi reaktor yaitu pada 29,6 atm dengan suhu 180°C.

3.2.2 Tahap Reaksi

Proses pembuatan DOTP digunakan reaksi esterifikasi dengan bantuan katalis tetrabutyl titanat (TBT). Proses pembuatan ini dijalankan pada reaktor kontinu pada kondisi operasi 180°C dengan tekanan 29,6 atm. Sebelum masuk reaktor, bahan utama berupa asam tereftalat dan 2-etil heksanol yang telah membentuk larutan homogen di *mixer* akan dipompa (P-02) hingga pada tekanan 29,6 atm. Selanjutnya akan dipanaskan pada *heater* (HE-01) hingga suhu 180°C. Penambahan katalis TBT dilakukan secara berkala oleh operator. Proses ini berjalan pada fase cair dengan waktu reaksi sebesar 0,56 jam.

Reaksi yang terjadi dapat dituliskan menggunakan persamaan di bawah ini :



Reaksi berlangsung secara adiabatik dan isothermal dengan fase cair-cair. Setelah produk terbentuk, selanjutnya dilakukan proses pemurnian menuju dekanter (D-01) untuk menghilangkan air dari hasil samping reaksi pembentukan dioktil tereftalat.

3.2.3 Tahap Pemurnian dan Pemisahan Produk

Hasil keluaran reaktor berupa campuran DOTP, 2-etil heksanol, air, *p-toluic acid*, asam tereftalat, dan TBT. Untuk mendapatkan produk DOTP dengan kemurnian tinggi maka diperlukan tahap pemisahan dan pemurnian produk. Tahap pertama yaitu memisahkan air dari campuran tersebut menggunakan dekanter (D-01). Sebelum masuk ke dekanter campuran tersebut diturunkan suhunya menggunakan *multi cooler* (CL-01, CL-02, CL-03) hingga suhu 40°C, lalu mengalir menuju *pressure reducer* untuk diturunkan tekanannya menjadi 1 atm. Dekanter dipilih dengan tujuan karena kelarutan kelima bahan tersebut pada air di suhu 40°C sangatlah rendah sehingga dengan mudah air bisa dipisahkan. *pressure reducer* ditempatkan setelah *multi cooler* yaitu agar bahan yang keluar reaktor tidak menguap terlebih dahulu sebelum diturunkan suhunya pada *muti cooler*. Pada dekanter terdapat 2 aliran yaitu aliran berat dan aliran ringan. Aliran berat yaitu aliran yang memiliki densitas lebih tinggi dibanding aliran ringan. Aliran berat ini kaya akan air dan katalis TBT karena katalis akan larut sepenuhnya di air pada suhu 40°C dan tekanan 1 atm. Asam tereftalat dan *p-toluic acid* juga terlarut tetapi kuantitasnya tidak begitu banyak sedangkan untuk dioktil tereftalat tidak larut pada air. Lalu aliran ringan berupa DOTP, 2-etil heksanol, dan sisa asam tereftalat juga *p-toluic acid* akan menuju evaporator (EV-01).

Evaporator difungsikan untuk memisahkan 2-etil heksanol dari campuran DOTP, asam tereftalat, dan *p-toluic acid*. Evaporator ini bekerja secara *long tube*. Evaporator beroperasi pada kondisi tekanan 1 atm dengan suhu 190°C. Pada

evaporator ini 2-etil heksanol akan menguap secara sepenuhnya dan akan mengalir pada aliran atas. 2-etil heksanol yang berwujud gas akan mengalir menuju kondensor (CD-01) untuk diturunkan dan diubah fasenya menjadi cair pada suhu 180°C. 2-etil heksanol yang berwujud cair akan tertampung sementara pada akumulator. Setelah dari akumulator, 2-etil heksanol akan dipompa (P-06) hingga tekanan 29,6 atm untuk menuju reaktor (*recycle*). Sedangkan, aliran yang terdiri dari campuran dioktil tereftalat, asam tereftalat, dan *p-toluic* akan menuju *multi cooler* (CL-04 dan CL-05) untuk diturunkan suhunya hingga 50°C sebelum menuju tangki penyimpanan produk (T-02). Produk yang tersimpan pada tangki (T-02) yang berupa dioktil tereftalat (DOTP) memiliki kemurnian sebesar 99,26%.

3.3 Spesifikasi Alat

Spesifikasi alat pada perancangan pabrik DOTP telah ditentukan dan disesuaikan berdasar pertimbangan dan optimasi proses yang telah dilakukan. Berikut ini adalah spesifikasi alat pada perancangan pabrik DOTP :

3.3.1 Spesifikasi alat proses

a. *Mixer* (M-01)

Nama dan kode	: <i>Mixer</i> (M-01)
Fungsi	: Mencampur asam tereftalat dan 2-etil heksanol
Jenis	: Tangki silinder tegak berpengaduk
Jumlah	: 1 buah
Bahan konstruksi	: <i>Iron and steel</i> SA-285 Grade C
Harga	: \$ 575,648.67

Kondisi Operasi

Suhu : 30°C

Tekanan : 1 atm

Spesifikasi *Mixer*

Diameter : 2,438 m

Tinggi : 3,809 m

Tebal *shell* : 0,3125 in

Allowable stress : 95151 kPa

Faktor korosi : 0,5 mm/tahun

Efisiensi sambungan : 0,85

Tekanan perancangan : 50,663 kPa

Waktu tinggal : 0,5 jam

Volume total : 30,511 m³

Spesifikasi *Head*

Jenis *head* : *Torisperichal head*

Diameter luar(OD) : 2,438 m

Tebal standar : 0,375 in

Jari-jari kelengkungan(r) : 2,440 m

Jari-jari kelengkungan internal (icr) : 5,875 in

Straight flange : 3 in

Pengaduk

Jenis pengaduk : *Flat-blade turbin*

Lebar *buffle* : 0,203 m

Diameter pengaduk(Di)	: 0,813 m
Lebar sudu	: 0,163 m
Elevasi pengaduk (z)	: 0,940 m
Panjang <i>blade impeller</i> (r)	: 0,203 m
Panjang <i>blade</i> dari pusat bantalan(s)	: 0,102 m
Kecepatan pengaduk	: 83,556 rpm
Efisiensi motor	: 85%
Daya penggerak yang diperlukan	: 8,098 hp
Motor standar	: 10 hp
Jumlah sudu	: 6

b. Reaktor (R-01)

Spesifikasi Umum

Kode	: R-01
Fungsi	: Mereaksikan 2-EH dan Asam Tereftalat untuk menghasilkan DOTP dengan bantuan katalis tetrabutyl titanat
Jenis	: Reaktor alir tangki berpengaduk
Mode operasi	: kontinu
Jumlah	: 1
Harga	: \$336,262.00

Kondisi Operasi

Suhu	: 190°C
Tekanan	: 29,6 atm
Kondisi proses	: Isotermal

Waktu tinggal : 0,56 jam

Spesifikasi Tangki

Volume cairan : 35,523 m³
 Volume tangki : 39,076 m³
 Volume reaktor : 42,628 m³
 Diameter reaktor (Dt) : 3,658 m
 Tinggi reaktor (Ht) : 5,06 m
 Tebal dinding (ts) : 3 in
 Bahan : *Iron and steel SA-285 grade C*

Spesifikasi Head

Diameter luar (OD) : 3,658 m
 Jari-jari kelengkungan (r) : 3,353 m
 Jenis *head* : *Ellipsoidal head*
 Tebal : 3 in
 Tinggi : 0,82 m
 Bahan : *Iron and steel SA-285 Grade C*

Spesifikasi Pengaduk

Jenis : *Flat blade turbine impeller*
 Diameter : 1,219 m
 Jumlah *blade* : 6
 Jumlah *baffle* : 4
 Lebar *baffle* : 0,305 m
 Lebar *blade* : 0,3 m

Elevasi pengaduk	: 1.687 m
Panjang <i>blade</i>	: 0,244 m
Putaran	: 63,662 rpm
<i>Power</i>	: 25 Hp

Spesifikasi Jaket Pendingin

Media pendingin	: Air
Luas transfer panas	: 22,014 m ²
Luas selimut	: 31,521 m ²
Kebutuhan air pendingin	: 3680,220 kg/jam
OD <i>nozzle</i>	: 0,168 m
ID <i>nozzle</i>	: 0,146 m

c. Dekanter (DC-01)

Spesifikasi Umum

Nama dan kode	: Dekanter (D-01)
Fungsi	: Memisahkan air dan TBT dari campuran 2-Etil Heksanol, PTAc, TBT, DOTP dan TPA.
Jenis	: <i>Two-phase decanter</i>
Bahan konstruksi	: <i>Stainless steel</i> 316
Harga	: \$ 255,662.46

Kondisi Operasi

Suhu	: 40°C
Tekanan	: 1 atm

Spesifikasi Alat

Kecepatan pemisahan	: 0,002 m/s
Diameter dekanter	: 1,672 m
Panjang dekanter	: 5,691 m
Volume dekanter	: 11,013 m ³
<i>Allowable stress</i>	: 114.312 kPa
Faktor korosi	: 0,0015 m
Efisiensi sambungan	: 0,85
Jari-jari luar	: 0,836 m
Tebal dinding	: 0,25 in
Jenis <i>head</i>	: <i>Torispherical dished</i>
Panjang <i>head</i>	: 0,34 m
Jari-jari kelengkungan <i>head</i>	: 4 in

d. Evaporator (EV-01)

Spesifikasi Umum

Nama dan Kode	: Evaporator (E-01)
Fungsi	: Menguapkan 2-etil heksanol dari campuran DOTP, PTAc, dan TPA. Sehingga produk memiliki kemurnian sebesar 99,26 %
Tipe	: <i>Long tube vertical evaporator</i>
Bahan konstruksi	: <i>Stainless steel 316</i>
Jumlah	: 1
Harga	: \$ 837,025.16

Kondisi Operasi

Suhu : 190°C

Tekanan : 1 atm

Spesifikasi Alat

Diameter evaporator : 1,426 m

Tinggi evaporator : 7,935 m

Luas perpindahan kalor : 58,907 m²

Kecepatan volume gas : 2,927 m³/s

Panjang pipa (L) : 3,568 m

OD pipa : 0,0318 m

ID pipa : 0,0274 m

BWG : 14

Jumlah pipa (nt) : 161

Pitch : 0,0397 m

Clearance (C'') : 0,00794 m

Diameter selongsong (ids) : 0,656 m

3.3.2 Spesifikasi Alat Penyimpanan Bahan

a. Tangki penyimpanan fase cair

Tabel 3.1 Tangki penyimpanan fase cair

Tangki	T-01	T-02	T-Acc
Fungsi	Menyimpan bahan baku (99,5% C ₈ H ₁₈ O dan 0,05% H ₂ O)	Menyimpan produk (99,26% C ₂₄ H ₃₈ O ₄ ; 0,43% C ₈ H ₆ O ₄ ; dan 0,31% C ₈ H ₈ O ₂)	Menampung 2-etil heksanol fase cair sementara sebelum dipompa

Tangki	T-01	T-02	T-Acc
			untuk di <i>recycle</i> ke reaktor
Lama penyimpanan (hari)	7	7	0,00694
Fase	cair	cair	cair
Jumlah tangki	1	1	1
Suhu(°C)	30	50	180
Tekanan (atm)	1	1	1
Bahan Konstruksi	<i>Carbon steel</i>	<i>Carbon steel</i>	<i>Carbon steel</i>
Volume tangki standar (m ³)	10.461,364	3.241.75	8,892
Diameter (m)	42,672	27,432	1,557
Tinggi / panjang (m)	7,315	5,486	6
Jumlah <i>courses</i>	4	3	-
Tebal <i>shell</i> (in)	0,470	0,250	0,188
Jenis <i>head</i>	<i>Conical roof</i>	<i>Conical roof</i>	<i>Torispherical dished</i>
Tebal <i>head</i> (in)	0,500	0,500	0,188
Jenis <i>bottom</i>	<i>Flat bottom</i>	<i>Flat bottom</i>	-
Tebal <i>bottom</i> (in)	0,250	0,250	-
Harga (\$)	1,346,064.46	628,544.35	19,590.99

b. Tangki penyimpanan fase padat

Nama dan kode : Silo (S-01)

Fungsi : Menyimpan bahan baku

Lama : 7 hari penyimpanan
Jenis : Silinder tegak tutup datar dan alas berbentuk kerucut

Kondisi Operasi

Suhu : 30°C
Tekanan : 1 atm

Spesifikasi

Bahan konstruksi : *Stainless steel* 316
Volume : 864,010 m³
Diameter : 7,158 m
Tinggi : 21,473 m
Harga : \$ 767,313.88

3.3.3 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan

a. Alat transportasi pada fase cair

Tabel 3.2 Spesifikasi pompa pada alat proses

Kode	P-01 A/B	P-02 A/B	P-03 A/B	P-04 A/B	P-05 A/B	P-06 A/B
Fungsi	Mengalirkan $C_8H_{18}O$ dari T-01 menuju M-01	Meningkatkan tekanan dan mengalirkan umpan (H_2O , $C_8H_{18}O$, $C_8H_8O_2$, dan $C_8H_6O_4$) menuju HE-01	Mengalirkan $C_8H_{18}O$, $C_8H_8O_2$, $C_{24}H_{38}O_4$, $C_8H_6O_4$ dari DC-01 menuju EV-01	Mengalirkan H_2O , $C_8H_8O_2$, $C_{16}H_{36}O_4Ti$ dari DC-01 menuju Unit Pembuangan Limbah (UPL)	Mengalirkan $C_8H_8O_2$, $C_{24}H_{38}O_4$, $C_8H_6O_4$ dari DC-01 menuju EV-01	Meningkatkan tekanan dan mengalirkan $C_8H_{18}O$ dari akumulator ke reaktor untuk di <i>recycle</i>
Tipe	Pompa sentrifugal	Pompa sentrifugal	Pompa sentrifugal	Pompa sentrifugal	Pompa sentrifugal	Pompa sentrifugal
<i>Impeller</i>	<i>Mixed flow impeller</i>	<i>Radial flow impeller</i>	<i>Mixed flow impeller</i>	<i>Mixed flow impeller</i>	<i>Mixed flow impeller</i>	<i>Radial flow impeller</i>
Jumlah	1	1	1	1	1	1
<i>Suction</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Stage</i>	1	2	1	2	1	2
Bahan	Baja Komersial	Baja komersial	Baja Komersial	Baja Komersial	Baja Komersial	Baja komersial

Kode	P-01 A/B	P-02 A/B	P-03 A/B	P-04 A/B	P-05 A/B	P-06 A/B
Ukuran pipa						
Diapt (in)	4,980	5,198	5,175	1,0946	3,128	4,633
ID (in)	5,047	5,295	5,295	1,097	3,260	4,813
OD (in)	5,563	5,563	5,563	1,315	3,500	5,563
NPS (in)	5	5	5	1	3	5
<i>Schedule number</i>	40ST , 40S	10S	10S	10S	40ST , 40S	80X,80S
Kekasaran relatif	0,0004	0,0003	0,0003	0,0016	0,0006	0,00037
Faktor friksi	0,0265	0,0716	0,0371	0,0278	0,0306	0,0170
Luas aliran (m ²)	0,0129	0,0142	0,0142	0,0006	0,00538	0,0117
Kecepatan putar (rpm)	1425	28500	1425	2850	1425	2850
Efisiensi motor (%)	80,5	90,90	82	80	80	90,5%

Kode	P-01 A/B	P-02 A/B	P-03 A/B	P-04 A/B	P-05 A/B	P-06 A/B
<i>Power motor (Hp)</i>	1,692	93,33	2,974	0,0624	0,233	79,116
<i>Power motor standar (Hp)</i>	2	100	3	0,5	0,5	100
Rencana pemipaan						
<i>Pipa lurus (m)</i>	108	26,2	26	103,6	25,5	37,75
<i>Kontraksi (ft)</i>	6	6	6	1,25	3,9	6
<i>Elbow (ft)</i>	26	26	26	6	18	26
<i>Valve(ft)</i>	149	149	149	29	99	149
<i>Check valve(ft)</i>	30	30	30	7	19	34
<i>Ekspansi (ft)</i>	14	14	14	2,5	8	16
<i>Le HE (ft)</i>	0	25,840	26,752	0	26,51	0

Kode	P-01 A/B	P-02 A/B	P-03 A/B	P-04 A/B	P-05 A/B	P-06 A/B
<i>Head</i> karena friksi (m)	2,324	4,706	2,154	3,280	2,015	1,033
<i>Head</i> beda tekanan(m)	0	331,168	0	0	0	424,844
<i>Head</i> potensial (m)	3,81	5,061	7,935	0	0	5,06
<i>Head</i> kinetik (m)	0,0584	0,0557	0,0557	0,0280	0,0411	0,0565
<i>Head</i> pompa (m)	6,191	340,990	10,145	3,308	2,056	430,995
NPSH (<i>net positive suction head</i>) (m)	12,666	10,769	11,949	10,451	12,529	2,371
Harga (\$)	26,774	167,830	26,774	35,917	19,264	167,823

a. Alat transportasi fase padat

Tabel 3.3 Spesifikasi transportasi bahan

Nama dan Kode	<i>Belt Conveyor (BC-01)</i>	<i>Bucket Elevator (BE-01)</i>
Fungsi	Mengangkut asam tereftalat kering ($C_8H_6O_4$) menuju <i>Mixer</i> (M-01)	Mengangkut asam tereftalat kering ($C_8H_6O_4$) menuju Silo (S-01)
Fase	Padat	Padat
Jumlah	1	1
Jenis	<i>Belt conveyor</i>	<i>Bucket elevator</i>
Kondisi Operasi		
Suhu (°C)	30°C	30°C
Tekanan (atm)	1	1
Kapasitas (kg/jam)	6.466,317	6.466,317
Spesifikasi		
Bahan konstruksi	<i>Stainless Steel 316</i>	<i>Stainless Steel 316</i>
Panjang / tinggi (m)	30	25
Lebar <i>belt</i> (in)	14	7,620
<i>Belt speed</i> (m/menit)	61	68,6
<i>Belt plies minimum</i>	3	-
<i>Belt plies maximum</i>	5	-
<i>Cross-sectional area of load</i> (ft ²)	0,11	-
<i>Size of lumps handled</i> (in)	-	0,750
Daya penggerak (Hp)	2,44	5,125

Nama dan Kode	<i>Belt Conveyor (BC-01)</i>	<i>Bucket Elevator (BE-01)</i>
Power motor standar (Hp)	3	7,5
Harga (\$)	28,244	17,632

b. Alat transportasi fase cair sebagai konversi tekanan

1) Spesifikasi *Pressure Reducer* 1

Nama dan kode : *Pressure Reducer (PR-01)*

Fungsi : Menurunkan tekanan keluaran *cooler* 3 (CL-03)
dari 29,6 atm menjadi 1 atm.

Fase : Cair

Jumlah : 1

Jenis : *Gate valve $\frac{3}{4}$ closed*

Kondisi Operasi

Suhu : 40°C

Tekanan masuk : 29,6 atm

Tekanan keluar : 1 atm

Kapasitas : 47.710,024

Spesifikasi

Bahan konstruksi : *Stainless steel 316*

ID : 15,670 in

OD : 16 in

NPS : 16 in

SCH : 5 s

Flow area : 192,854 in²

Le : 1119,747 ft

Harga : \$96,813

3.3.4 Spesifikasi Alat Penukar Panas

a. Heater 1 (HE-01)

Kode : HE-01

Fungsi : Menaikan suhu umpan yang terdiri dari C₈H₆O₄, C₈H₁₈O, C₈H₈O₂, H₂O dari suhu 30°C menjadi 180°C sebelum menuju reaktor.

Jenis : *Shell and tube*

Bahan konstruksi : *Stainless steel 304*

Harga : \$ 215,827

<i>Position</i>	<i>Shell</i>		<i>Tube</i>	
<i>Fluid</i>	H ₂ O, C ₈ H ₁₈ O, C ₈ H ₈ O ₂ , C ₈ H ₆ O ₄		<i>Steam</i>	
<i>Fluid type</i>	<i>Cold</i>		<i>Hot</i>	
	<i>in</i>	<i>out</i>	<i>in</i>	<i>out</i>
<i>Liquid flow rate (kg/jam)</i>	47.709,755	47.709,755		7.983,842
<i>Vapor flowrate (kg/jam)</i>			7.983,842	
<i>Temperature (°C)</i>	30	180	200	200

<i>Position</i>	<i>Shell</i>		<i>Tube</i>	
<i>Pressure (atm)</i>	1	1	1	1

<i>Shell</i>		<i>Tube</i>	
<i>Length (m)</i>	3,048	<i>Length (m)</i>	3,048
<i>Passes</i>		<i>Passes</i>	2
<i>ID (in)</i>	22	<i>ID (in)</i>	0,584
<i>Baffle spaces (m)</i>	0,560	<i>Number</i>	372
		<i>A(m²)</i>	67,856
		<i>BWG</i>	14
		<i>Pitch (in)</i>	0,938
$\Delta P_{calc} / \Delta P_{min} \text{ (bar)}$	0,000541	$\Delta P_{calc} / \Delta P_{min} \text{ (bar)}$	0,0217
$\Delta P_{max} \text{ (bar)}$	0,345	$\Delta P_{max} \text{ (bar)}$	0,689
$Rd_{calc} \text{ (m}^2\text{.s.K/kJ)}$	0,922	$Rd_{calc} \text{ (m}^2\text{.s.K/kJ)}$	0,922
$Rd_{min} \text{ (m}^2\text{.s.K/kJ)}$	0,529	$Rd_{min} \text{ (m}^2\text{.s.K/kJ)}$	0,529

b. Cooler -01

Kode : CL-01

Fungsi : Menurunkan suhu campuran H_2O , $C_8H_{18}O$, $C_8H_8O_2$, $C_{16}H_{36}O_4Ti$, $C_{24}H_{38}O_4$, $C_8H_6O_4$ keluaran reaktor dari suhu 180°C menjadi 130°C.

Jenis : *Shell and tube*

Bahan konstruksi : *Stainless steel 304*

Harga : \$ 124,729

<i>Position</i>	<i>Shell</i>		<i>Tube</i>	
<i>Fluid</i>	Air pendingin		H ₂ O, C ₈ H ₁₈ O, C ₈ H ₈ O ₂ , C ₁₆ H ₃₆ O ₄ Ti, C ₂₄ H ₃₈ O ₄ , C ₈ H ₆ O ₄	
<i>Fluid type</i>	<i>Cold</i>		<i>Hot</i>	
	<i>in</i>	<i>out</i>	<i>in</i>	<i>out</i>
<i>Liquid flow rate (kg/jam)</i>	60.426,958	60.426,958	47.710,024	47.710,024
<i>Vapor flow rate (kg/jam)</i>				
<i>Temperature (°C)</i>	26	50	180	130
<i>Pressure (atm)</i>	1	1	29,6	29,6

<i>Shell</i>		<i>Tube</i>	
<i>Length (m)</i>	2,438	<i>Length (m)</i>	2,438
<i>Passes</i>		<i>Passes</i>	2
<i>ID (in)</i>	20	<i>ID (in)</i>	0,584
<i>Baffle spaces (m)</i>	0,102	<i>Number</i>	260
		<i>A(m²)</i>	37,942
		<i>BWG</i>	14

<i>Shell</i>		<i>Tube</i>	
		Pitch (in)	1
$\Delta P_{calc} / \Delta P_{min}$ (bar)	0,0022	$\Delta P_{calc} / \Delta P_{min}$ (bar)	0,0268
ΔP_{max} (bar)	0,345	ΔP_{max} (bar)	0,689
R_{dcalc} (m ² .s.K/kJ)	2,316	R_{dcalc} (m ² .s.K/kJ)	2,316
R_{dmin} (m ² .s.K/kJ)	0,529	R_{dmin} (m ² .s.K/kJ)	0,529

c. Cooler -02

Kode : CL-02

Fungsi : Menurunkan suhu campuran H₂O, C₈H₁₈O, C₈H₈O₂, C₁₆H₃₆O₄Ti, C₂₄H₃₈O₄, C₈H₆O₄ keluaran reaktor dari suhu 130°C menjadi 80°C.

Jenis : *Shell and tube*

Bahan konstruksi : *Stainless steel 304*

Harga : \$ 206,195

<i>Position</i>	<i>Shell</i>	<i>Tube</i>
<i>Fluid</i>	Air pendingin	H ₂ O, C ₈ H ₁₈ O, C ₈ H ₈ O ₂ , C ₁₆ H ₃₆ O ₄ Ti, C ₂₄ H ₃₈ O ₄ , C ₈ H ₆ O ₄
<i>Fluid type</i>	<i>Cold</i>	<i>Hot</i>

<i>Position</i>	<i>Shell</i>		<i>Tube</i>	
	<i>in</i>	<i>out</i>	<i>in</i>	<i>out</i>
<i>Liquid flow rate (kg/jam)</i>	56.167,771	56.167,771	47.710,024	47.710,024
<i>Vapor flow rate (kg/jam)</i>				
<i>Temperature (°C)</i>	26	50	130	80
<i>Pressure (atm)</i>	1	1	29,6	29,6

<i>Shell</i>		<i>Tube</i>	
<i>Length (m)</i>	2,438	<i>Length (m)</i>	2,438
<i>Passes</i>		<i>Passes</i>	8
<i>ID (in)</i>	26	<i>ID (in)</i>	0,584
<i>Baffle spaces (m)</i>	0,132	<i>Number</i>	440
		<i>A(m²)</i>	64,210
		<i>BWG</i>	14
		<i>Pitch (in)</i>	1
$\Delta P_{\text{calc}} / \Delta P_{\text{min}} \text{ (bar)}$	0,0007	$\Delta P_{\text{calc}} / \Delta P_{\text{min}} \text{ (bar)}$	0,595
$\Delta P_{\text{max}} \text{ (bar)}$	0,345	$\Delta P_{\text{max}} \text{ (bar)}$	0,689
$R_{\text{dcalc}} \text{ (m}^2\text{.s.K/kJ)}$	2,312	$R_{\text{dcalc}} \text{ (m}^2\text{.s.K/kJ)}$	2,312
$R_{\text{dmin}} \text{ (m}^2\text{.s.K/kJ)}$	0,529	$R_{\text{dmin}} \text{ (m}^2\text{.s.K/kJ)}$	0,529

d. Cooler -03

Kode : CL-03

Fungsi : Menurunkan suhu campuran H_2O , $\text{C}_8\text{H}_{18}\text{O}$, $\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_2$, $\text{C}_{16}\text{H}_{36}\text{O}_4\text{Ti}$, $\text{C}_{24}\text{H}_{38}\text{O}_4$, $\text{C}_8\text{H}_6\text{O}_4$ keluaran reaktor dari suhu 80°C menjadi 40°C .

Jenis : *Shell and tube*

Bahan konstruksi : *Stainless steel 304*

Harga : \$ 390,024

<i>Position</i>	<i>Shell</i>		<i>Tube</i>	
<i>Fluid</i>	Air pendingin		H_2O , $\text{C}_8\text{H}_{18}\text{O}$, $\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_2$, $\text{C}_{16}\text{H}_{36}\text{O}_4\text{Ti}$, $\text{C}_{24}\text{H}_{38}\text{O}_4$, $\text{C}_8\text{H}_6\text{O}_4$	
<i>Fluid type</i>	<i>Cold</i>		<i>Hot</i>	
	<i>in</i>	<i>out</i>	<i>in</i>	<i>out</i>
<i>Liquid flow rate (kg/jam)</i>	111.629,086	111.629,086	47.710,024	47.710,024
<i>Vapor flow rate (kg/jam)</i>				
<i>Temperature ($^\circ\text{C}$)</i>	26	35	80	40
<i>Pressure (atm)</i>	1	1	29,6	29,6

<i>Shell</i>		<i>Tube</i>	
<i>Length (m)</i>	3,048	<i>Length (m)</i>	3,048
<i>Passes</i>		<i>Passes</i>	6
<i>ID (in)</i>	34	<i>ID (in)</i>	0,584
<i>Baffle spaces (m)</i>	0,173	<i>Number</i>	828
		<i>A(m²)</i>	120,831
		<i>BWG</i>	14
		<i>Pitch (in)</i>	1
$\Delta P_{\text{calc}} / \Delta P_{\text{min}} \text{ (bar)}$	0,0011	$\Delta P_{\text{calc}} / \Delta P_{\text{min}} \text{ (bar)}$	0,115
$\Delta P_{\text{max}} \text{ (bar)}$	0,345	$\Delta P_{\text{max}} \text{ (bar)}$	0,689
$R_{\text{dcalc}} \text{ (m}^2 \cdot \text{s.K/kJ)}$	1,404	$R_{\text{dcalc}} \text{ (m}^2 \cdot \text{s.K/kJ)}$	1,404
$R_{\text{dmin}} \text{ (m}^2 \cdot \text{s.K/kJ)}$	0,529	$R_{\text{dmin}} \text{ (m}^2 \cdot \text{s.K/kJ)}$	0,529

e. Cooler -04

Kode	: CL-04
Fungsi	: Menurunkan suhu produk ($\text{C}_{24}\text{H}_{38}\text{O}_4$) sebelum masuk tangki (T-02) dari suhu 190°C menjadi 120°C.
Jenis	: <i>Shell and tube</i>
Bahan konstruksi	: <i>Stainless steel 304</i>
Harga	: \$ 38,692

<i>Position</i>	<i>Shell</i>		<i>Tube</i>	
<i>Fluid</i>	Air pendingin		$C_{24}H_{38}O_4$, $C_8H_8O_2$, $C_8H_6O_4$	
<i>Fluid type</i>	<i>Cold</i>		<i>Hot</i>	
	<i>in</i>	<i>out</i>	<i>in</i>	<i>out</i>
<i>Liquid flow rate (kg/jam)</i>	21.548,923	21.548,923	15.1515,152	15.1515,152
<i>Vapor flow rate (kg/jam)</i>				
<i>Temperature (°C)</i>	26	50	190	120
<i>Pressure (atm)</i>	1	1	1	1

<i>Shell</i>		<i>Tube</i>	
<i>Length (m)</i>	2,438	<i>Length (m)</i>	2,438
<i>Passes</i>		<i>Passes</i>	1
<i>ID (in)</i>	14	<i>ID (in)</i>	0,584
<i>Baffle spaces (m)</i>	0,0711	<i>Number</i>	121
		<i>A(m²)</i>	17,658
		<i>BWG</i>	14
		<i>Pitch (in)</i>	1
$\Delta P_{calc} / \Delta P_{min}$ (bar)	0,0011	$\Delta P_{calc} / \Delta P_{min}$ (bar)	0,101
ΔP_{max} (bar)	0,345	ΔP_{max} (bar)	0,689
<i>Rdcalc</i>	1,883	<i>Rdcalc</i>	1,883

<i>Shell</i>		<i>Tube</i>	
(m ² .s.K/kJ)		(m ² .s.K/kJ)	
Rdmin (m ² .s.K/kJ)	0,529	Rdmin (m ² .s.K/kJ)	0,529

f. Cooler -05

Kode : CL-05

Fungsi : Menurunkan suhu produk (C₂₄H₃₈O₄) sebelum masuk tangki (T-02) dari suhu 120°C menjadi 50°C.

Jenis : *Shell and tube*

Bahan konstruksi : *Stainless steel 304*

Harga : \$ 110,526

<i>Position</i>	<i>Shell</i>		<i>Tube</i>	
<i>Fluid</i>	Air pendingin		C ₂₄ H ₃₈ O ₄ , C ₈ H ₈ O ₂ , C ₈ H ₆ O ₄	
<i>Fluid type</i>	<i>Cold</i>		<i>Hot</i>	
	<i>in</i>	<i>out</i>	<i>in</i>	<i>out</i>
<i>Liquid flow rate (kg/jam)</i>	33.358,593	33.358,593	15.1515,152	15.1515,152
<i>Vapor flow rate (kg/jam)</i>				
<i>Temperature (°C)</i>	26	40	120	50

<i>Position</i>	<i>Shell</i>		<i>Tube</i>	
<i>Pressure (atm)</i>	1	1	1	1

<i>Shell</i>		<i>Tube</i>		
<i>Length (m)</i>	2,438	<i>Length (m)</i>	2,438	
<i>Passes</i>		<i>Passes</i>	8	
<i>ID (in)</i>	22	<i>ID (in)</i>	0,584	
<i>Baffle spaces (m)</i>	0,112	<i>Number</i>	296	
		<i>A(m²)</i>	43,196	
		<i>BWG</i>	14	
		<i>Pitch (in)</i>	1	
$\Delta P_{calc} / \Delta P_{min} \text{ (bar)}$	0,0005	$\Delta P_{calc} / \Delta P_{min} \text{ (bar)}$	0,123	
$\Delta P_{max} \text{ (bar)}$	0,345	$\Delta P_{max} \text{ (bar)}$	0,689	
$Rd_{calc} \text{ (m}^2 \cdot s \cdot K/kJ)$	1,839	$Rd_{calc} \text{ (m}^2 \cdot s \cdot K/kJ)$	1,839	
$Rd_{min} \text{ (m}^2 \cdot s \cdot K/kJ)$	0,529	$Rd_{min} \text{ (m}^2 \cdot s \cdot K/kJ)$	0,529	

g. Condenser - 01

Kode : CD-01

Fungsi : Mengembunkan uap 2-etil heksanol dari hasil atas evaporator untuk di *recycle* ke reaktor.

Jenis : *Shell and tube*

Bahan konstruksi : *Stainless steel 304*

Harga : \$ 512,304

<i>Position</i>	<i>Shell</i>		<i>Tube</i>	
<i>Fluid</i>	C ₈ H ₁₈ O		Air pendingin	
<i>Fluid type</i>	<i>Hot</i>		<i>Cold</i>	
	<i>in</i>	<i>out</i>	<i>in</i>	<i>out</i>
<i>Liquid flow rate (kg/jam)</i>		30.945,543	86.946,409	86.946,409
<i>Vapor flow rate (kg/jam)</i>	30.945,543			
<i>Temperature (°C)</i>	190	180	26	50
<i>Pressure (atm)</i>	1	1	1	1

<i>Shell</i>		<i>Tube</i>	
<i>Length (m)</i>	3,658	<i>Length (m)</i>	3,658
<i>Passes</i>		<i>Passes</i>	4
<i>ID (in)</i>	42	<i>ID (in)</i>	0,584
<i>Baffle spaces (m)</i>	1,067	<i>Number</i>	1322
		<i>A(m²)</i>	289,383
		<i>BWG</i>	14
		<i>Pitch (in)</i>	0,938

<i>Shell</i>		<i>Tube</i>	
$\Delta P_{calc} / \Delta P_{min} \text{ (bar)}$	0,0000207	$\Delta P_{calc} / \Delta P_{min} \text{ (Pa)}$	0,0319
$\Delta P_{max} \text{ (bar)}$	0,345	$\Delta P_{max} \text{ (bar)}$	0,689
$R_{dcalc} \text{ (m}^2 \cdot \text{s.K/kJ)}$	8,375	$R_{dcalc} \text{ (m}^2 \cdot \text{s.K/kJ)}$	8,375
$R_{dmin} \text{ (m}^2 \cdot \text{s.K/kJ)}$	0,882	$R_{dmin} \text{ (m}^2 \cdot \text{s.K/kJ)}$	0,882

3.4 Neraca Massa

Neraca massa pendirian pabrik Dioktil Tereftalat (DOTP) dengan bahan baku asam tereftalat dan 2-Etil heksanol menggunakan katalis TBT (Tetra Butil Titanate) dengan kapasitas 120.000 ton/tahun meliputi :

1. Neraca massa mixer
2. Neraca massa reaktor
3. Neraca massa dekanter
4. Neraca massa evaporator

Basis perhitungan neraca massa :

Kapasitas pabrik = 120.000 ton/tahun

Dalam satu tahun = 330 hari (basis)

Perhitungan

$$= \frac{120.000 \text{ ton}}{\text{tahun}} \times \frac{1000 \text{ kg}}{\text{ton}} \times \frac{1 \text{ tahun}}{330 \text{ hari}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}}$$

$$= 15151.515 \text{ kg/jam}$$

a. Neraca Massa *Mixer*

Komponen	Input (kg/jam)		Output (kg/jam)
	Arus 1	Arus 2	Arus 3
C ₈ H ₁₈ O	10.026,687	0	10.026,687
H ₂ O	205,891	0	205,891
C ₈ H ₆ O ₄	0	6.466,317	6.466,317
C ₈ H ₈ O ₂	0	65,316	65,316
Subtotal	10.232,578	6.531,633	16.764,211
Total	16.764,211		16.764,211

b. Neraca Massa Reaktor

Komponen	Input (kg/jam)			Output (kg/jam)
	Arus 3	Arus 4	Arus 9	Arus 5
C ₈ H ₁₈ O	10.026,687	0	30.945,543	30.945,543
H ₂ O	205,891	0,00270	0	1.594,204
C ₈ H ₆ O ₄	6.466,317	0	0	64,663
C ₈ H ₈ O ₂	65,316	0	0	65,316
C ₁₆ H ₃₆ O ₄ Ti	0	0,267	0	0,267
C ₂₄ H ₃₈ O ₄	0	0	0	15.040,031
Subtotal	16.764,211	0,2697	30.945,543	47.710,024
Total	47710,024			47.710,024

c. Neraca Massa Dekanter

Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)	
	Arus 5	Arus 6	Arus 7
$C_8H_{18}O$	30.945,543	0	30.945,543
H_2O	1.594,204	1.594,204	0
$C_8H_6O_4$	64,663	0	64,663
$C_8H_8O_2$	65,316	18,493	46,823
$C_{16}H_{36}O_4Ti$	0,267	0,267	0
$C_{24}H_{38}O_4$	15.040,031	0	15.040,031
Subtotal	47.710,024	1.612,964	46.097,060
Total	47.710,024	47.710,024	

d. Neraca Massa Evaporator

Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)	
	Arus 7	Arus 8	Arus 9
$C_8H_{18}O$	30.945,543	0	30.945,543
H_2O	0	0	0
$C_8H_6O_4$	64,663	64,663	0
$C_8H_8O_2$	46,823	46,823	0
$C_{16}H_{36}O_4Ti$	0	0	0
$C_{24}H_{38}O_4$	15.040,031	15.040,031	0
Subtotal	46.097,060	15.151,517	30.945,543
Total	46.097,060	46.097,060	

3.5 Neraca Panas

a. Neraca panas *Heater-01* (HE-01)

ALIRAN MASUK		ALIRAN KELUAR	
Komponen	Energi (kJ/jam)	Komponen	Energi (kJ/jam)
H ₂ O	26.127,421	H ₂ O	156.764,524
C ₈ H ₁₈ O	3.065.418,420	C ₈ H ₁₈ O	18.392.510,525
C ₈ H ₈ O ₂	3.789,648	C ₈ H ₈ O ₂	22.737,889
C ₈ H ₆ O ₄	0	C ₈ H ₆ O ₄	0
Subtotal	3.095.335,489	Subtotal	18.572.012,938
Q <i>Steam</i>		Q Kondensat	
Komponen	Energi (kJ/jam)	Komponen	Energi (kJ/jam)
Q (<i>Steam</i>)	22.282.104,252	Q (Kondensat)	6.805.426,803
Subtotal	22.282.104,252	Subtotal	6.805.426,803
Total	25.377.439,741	Total	25.377.439,741

b. Neraca panas *Cooler-01* (CL-01)

ALIRAN MASUK		ALIRAN KELUAR	
Komponen	Energi (kJ/jam)	Komponen	Energi (kJ/jam)
H ₂ O	1.241.525,705	H ₂ O	896.657,453
C ₈ H ₁₈ O	15.018.405,735	C ₈ H ₁₈ O	10.846.626,364
C ₈ H ₈ O ₂	23.917,776	C ₈ H ₈ O ₂	17.273,950
C ₁₆ H ₃₆ O ₄ Ti	20,688	C ₁₆ H ₃₆ O ₄ Ti	14,941
C ₂₄ H ₃₈ O ₄	5.542.520,162	C ₂₄ H ₃₈ O ₄	4.002.931,228
C ₈ H ₆ O ₄	0	C ₈ H ₆ O ₄	0
Subtotal	21.826.390,065	Subtotal	15.763.503,936

ALIRAN MASUK		ALIRAN KELUAR	
Q air pendingin		Q uap	
Komponen	Energi (kJ/jam)	Komponen	Energi (kJ/jam)
Q (air pendingin)	6.568.126,640	Q (uap)	12.631.012,769
Subtotal	6.568.126,640	Subtotal	12.631.012,769
Total	28.394.516,705	Total	28.394.516,705

c. Neraca panas *Cooler-02 (CL-02)*

ALIRAN MASUK		ALIRAN KELUAR	
Komponen	Energi (kJ/jam)	Komponen	Energi (kJ/jam)
H ₂ O	876.649,446	H ₂ O	539.476,582
C ₈ H ₁₈ O	10.032.758,582	C ₈ H ₁₈ O	6.174.005,281
C ₈ H ₈ O ₂	16.421,809	C ₈ H ₈ O ₂	10.105,729
C ₁₆ H ₃₆ O ₄ Ti	14,894	C ₁₆ H ₃₆ O ₄ Ti	9,166
C ₂₄ H ₃₈ O ₄	3.726.570,656	C ₂₄ H ₃₈ O ₄	2.293.274,250
C ₈ H ₆ O ₄	0	C ₈ H ₆ O ₄	0
Subtotal	14.652.415,387	Subtotal	9.016.871,008
Q air pendingin		Q uap	
Komponen	Energi (kJ/jam)	Komponen	Energi (kJ/jam)
Q (air pendingin)	6.105.173,078	Q (uap)	11.740.717,457
Subtotal	6.105.173,078	Subtotal	11.740.717,457
Total	20.757.588,465	Total	20.757.588,465

d. Neraca panas *Cooler-03* (CL-03)

ALIRAN MASUK		ALIRAN KELUAR	
Komponen	Energi (kJ/jam)	Komponen	Energi (kJ/jam)
H ₂ O	533.608,348	H ₂ O	266.804,173
C ₈ H ₁₈ O	5.723.247,740	C ₈ H ₁₈ O	2.861.623,870
C ₈ H ₈ O ₂	9.633,770	C ₈ H ₈ O ₂	4.816,887
C ₁₆ H ₃₆ O ₄ Ti	9,140	C ₁₆ H ₃₆ O ₄ Ti	4,568
C ₂₄ H ₃₈ O ₄	2.140.213,010	C ₂₄ H ₃₈ O ₄	1.070.106,505
C ₈ H ₆ O ₄	0	C ₈ H ₆ O ₄	0
Subtotal	8.406.712,008	Subtotal	4.203.356,003
Q air pendingin		Q uap	
Komponen	Energi (kJ/jam)	Komponen	Energi (kJ/jam)
Q (air pendingin)	12.143.028,458	Q (uap)	16.346.384,463
Subtotal	12.143.028,458	Subtotal	16.346.384,463
Total	20.549.740,466	Total	20.549.740,466

e. Neraca panas *Cooler-04* (CL-04)

ALIRAN MASUK		ALIRAN KELUAR	
Komponen	Energi (kJ/jam)	Komponen	Energi (kJ/jam)
C ₈ H ₈ O ₂	18.098,585	C ₈ H ₈ O ₂	11.430,685
C ₂₄ H ₃₈ O ₄	5.850.437,948	C ₂₄ H ₃₈ O ₄	3.695.013,441
C ₈ H ₆ O ₄	0	C ₈ H ₆ O ₄	0
Subtotal	5.868.536,533	Subtotal	3.706.444,126
Q air pendingin		Q uap	
Komponen	Energi (kJ/jam)	Komponen	Energi (kJ/jam)

ALIRAN MASUK		ALIRAN KELUAR	
Q (air pendingin)	2.342.266,774	Q (uap)	4.504.359,181
Subtotal	2.342.266,774	Subtotal	4.504.359,181
Total	8.210.803,307	Total	8.210.803,307

f. Neraca panas *Cooler-05* (CL-05)

ALIRAN MASUK		ALIRAN KELUAR	
Komponen	Energi (kJ/jam)	Komponen	Energi (kJ/jam)
$C_8H_8O_2$	10.641,244	$C_8H_8O_2$	4.433,852
$C_{24}H_{38}O_4$	3.337.870,548	$C_{24}H_{38}O_4$	1.390.779,395
$C_8H_6O_4$	0	$C_8H_6O_4$	0
Subtotal	3.348.511,792	Subtotal	1.395.213,247
Q air pendingin		Q uap	
Komponen	Energi (kJ/jam)	Komponen	Energi (kJ/jam)
Q (air pendingin)	3.627.554,442	Q (uap)	5.580.852,987
Subtotal	3.627.554,442	Subtotal	5.580.852,987
Total	6.976.066,234	Total	6.976.066,234

g. Neraca panas *Condenser-01* (CD-01)

ALIRAN MASUK		ALIRAN KELUAR	
Komponen	Energi (kJ/jam)	Komponen	Energi (kJ/jam)
$C_8H_{18}O$ (gas)	6.655.443,792	$C_8H_{18}O$ (cair)	15.379.135,971
Subtotal	6.655.443,792	Subtotal	15.379.135,971
Q air pendingin			
Komponen	Energi (kJ/jam)		

ALIRAN MASUK		ALIRAN KELUAR	
Q (air pendingin)	8.723.692,179		
Subtotal	8.723.692,179		
Total	15.379.135,971	Total	15.379.135,971

h. Neraca panas *Reactor-01 (R-01)*

ALIRAN MASUK		ALIRAN KELUAR	
Komponen	Energi (kJ/jam)	Komponen	Energi (kJ/jam)
H ₂ O	135.534,062	H ₂ O	1.049.421,831
C ₈ H ₁₈ O	15.773.755,445	C ₈ H ₁₈ O	11.913.616,191
C ₈ H ₈ O ₂	19.529,049	C ₈ H ₈ O ₂	19.529,049
C ₁₆ H ₃₆ O ₄ Ti	17,756	C ₁₆ H ₃₆ O ₄ Ti	17,756
C ₈ H ₆ O ₄	0	C ₂₄ H ₃₈ O ₄	4.426.743,517
		C ₈ H ₆ O ₄	0
Subtotal	15.928.836,311	Subtotal	17.409.328,344
Q Reaksi		Q steam	
Komponen	Energi (kJ/jam)	Komponen	Energi (kJ/jam)
Q (reaksi)	7.018.681,187	Q (<i>Steam</i>)	5.538.189,154
Subtotal	7.018.681,187	Subtotal	5.538.189,154
Total	22.947.517,498	Total	22.947.517,498

i. Neraca panas *Evaporator-01* (EV-01)

ALIRAN MASUK		ALIRAN KELUAR	
Komponen	Energi (kJ/jam)	Komponen	Energi (kJ/jam)
$C_8H_{18}O$	2.661.287,185	$C_8H_{18}O$	0
$C_8H_8O_2$	3.302,730	$C_8H_8O_2$	17.027,200
$C_{24}H_{38}O_4$	1.002.079,287	$C_{24}H_{38}O_4$	5.365.744,023
$C_8H_6O_4$	0	$C_8H_6O_4$	0
Subtotal	3.666.669,203	Subtotal	2.382.771,223
Q steam		Q kondensat	
Komponen	Energi (kJ/jam)	Komponen	Energi (kJ/jam)
Q (<i>Steam</i>)	2.597.142,249	Q (kondensat)	793.222,279
Subtotal	2.597.142,249	Subtotal	793.222,279
Total	6.263.811,452	Total	6.263.811,452

BAB IV

PERANCANGAN PABRIK

4.1 Lokasi Pabrik

Penentuan lokasi pabrik merupakan aspek yang sangat penting dalam keberhasilan operasional suatu perusahaan karena memiliki dampak jangka panjang terhadap efisiensi, biaya, dan keuntungan perusahaan. Salah satu faktor utama dalam pemilihan lokasi pabrik adalah kedekatan dengan sumber bahan baku. Lokasi yang dekat dengan sumber bahan baku dapat mengurangi biaya transportasi dan waktu pengiriman, sehingga meningkatkan efisiensi produksi. lokasi strategis di dekat sumber bahan baku memungkinkan industri beradaptasi dengan cepat terhadap permintaan pasar dan mengurangi biaya yang terkait dengan penyimpanan dan penanganan, yang selanjutnya mengoptimalkan proses produksi (Gramly, 1980). Selain itu, pemilihan lokasi yang tepat juga mempengaruhi akses ke pasar.

Pabrik yang berada dekat dengan konsumen atau daerah distribusi utama memungkinkan perusahaan untuk mengurangi waktu pengiriman dan biaya logistik, serta memberikan layanan yang lebih cepat dan responsif kepada pelanggan. Selain itu, lingkungan regulasi dan perizinan di daerah tersebut juga berpengaruh. Selain faktor ekonomi, pemilihan lokasi juga harus mempertimbangkan aspek lingkungan dan sosial. Lokasi pabrik yang ramah lingkungan, misalnya, dapat membantu perusahaan memenuhi standar keberlanjutan yang semakin diperhatikan oleh konsumen dan regulator. Di sisi

sosial, perusahaan harus mempertimbangkan dampak terhadap komunitas lokal, termasuk potensi penyerapan tenaga kerja lokal dan dampak lingkungan yang mungkin ditimbulkan oleh aktivitas produksi. Dengan memperhitungkan semua faktor tersebut, penentuan lokasi pabrik yang strategis akan meningkatkan efisiensi operasional, menekan biaya produksi, serta mendukung keberlanjutan dan pertumbuhan jangka panjang perusahaan. Dengan demikian pabrik Dioktil Tereftalat dari Asam Tereftalat dan 2-Etil Heksanol dengan kapasitas 120.000 ton/tahun akan didirikan di wilayah Kota Cilegon yakni di Jalan Sunan Kalijaga, Desa Gunung Sugih, Kecamatan Ciwandan, Kota Cilegon, Provinsi Banten 42447.



Gambar 4.1 Lokasi Pendirian Pabrik DOTP

4.1.1 Faktor Primer Penentuan Lokasi Pabrik

4.1.1.1 Ketersediaan Sumber Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan dalam produksi DOTP yaitu asam tereftalat dan 2-etil heksanol dengan bantuan katalis tetrabutyl titanat untuk mempercepat reaksi. Bahan baku asam tereftalat diperoleh dari PT Mitsubishi Chemical Indonesia yang berlokasi di Jl. Raya Anyer-Sirih No.KM. 123, Gunung Sugih, Kec. Ciwandan, Kota Cilegon, Banten 42447, dengan kemurnian 99% dan kapasitas produksinya mencapai 640.000 ton/tahun. Lalu untuk bahan baku yang kedua yaitu 2-etil heksanol dengan kemurnian 99,5% akan diperoleh dari PT Indorama Synthetics dengan kapasitas 150.000 ton/tahun yang berlokasi di Graha Irama, Lt. 17, Jl. H. R. Rasuna Said No.1&2 Blok X-1, RT.6/RW.4, Kuningan Timur, Kecamatan Setiabudi, Kota Jakarta Selatan, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 12950 dan dengan tambahan dari PT Chandra Asri Pacific dengan kapasitas 150.000 ton yang berlokasi di Jl. Raya Anyer-Sirih No.KM. 123, Gunung Sugih, Kec. Ciwandan, Kota Cilegon, Banten 42447. Sementara itu, katalis tetrabutyl titanat akan diimpor dari Haihang Industri co.ltd. yang berlokasi di Jalan 100 South Gongye, Kota Jinan, China dengan kemurnian 99%. Bahan ini akan diimpor melalui jalur laut yang akan mendarat di Pelabuhan Merak yang merupakan pelabuhan internasional, pelabuhan ini terletak di Jl. Pelabuhan Merak, Merak, Tamansari, Kec. Pulomerak, Kota Cilegon, Banten 42438.

4.1.1.2 Letak dan Aksesibilitas Transportasi

Dalam menentukan lokasi pabrik, terdapat dua faktor utama yang perlu diperhatikan: kedekatan dengan sumber bahan baku dan ketersediaan jaringan

transportasi yang memadai. Akses transportasi darat harus memenuhi standar kelancaran distribusi. Selain itu, pemilihan lokasi di dekat Sungai Cibanten memberikan keunggulan strategis berupa akses transportasi multimodal melalui jalur air. Keberadaan sungai ini tidak hanya mempermudah proses logistik bahan baku tetapi juga berperan penting dalam pendistribusian produk akhir, baik untuk memenuhi permintaan pasar domestik maupun untuk kebutuhan ekspor internasional.

4.1.1.3 Penyediaan Utilitas

Pembangunan pabrik ini memerlukan penyediaan utilitas penunjang yang mencakup pasokan listrik, air, dan sistem ventilasi udara. Di antara ketiga komponen tersebut, air memegang peranan yang paling krusial dalam operasional industri. Pemanfaatan air dalam industri bersifat multifungsi, meliputi:

1. Proses produksi utama
2. Media transfer panas (pendingin/pemanas)
3. Fasilitas sanitasi
4. Berbagai kebutuhan penunjang operasional lainnya

Sumber air utama untuk pabrik ini berasal dari Sungai Cibanten yang terletak di sekitar lokasi. Sungai Cibanten merupakan salah satu sungai utama di Kota Cilegon yang terletak sekitar 5 kilometer dari lokasi pabrik di Jalan Sunan Kalijaga, Desa Gunung Sugih. Sungai ini mengalir melalui Kecamatan Ciwandan dan bermuara di Selat Sunda, dengan debit air rata-rata 15–25 m³/detik pada musim kemarau dan dapat mencapai 50–70 m³/detik saat musim hujan, menjadikannya sumber air yang stabil untuk kebutuhan industri. Sungai ini

memiliki lebar 20–30 meter dengan kedalaman 3–5 meter, sehingga mampu mendukung pasokan air untuk proses produksi, pendinginan, dan utilitas lainnya. Meskipun air Sungai Cibanten mengandung sedimen moderat, kualitasnya masih memenuhi standar untuk penggunaan industri setelah melalui proses filtrasi dasar. Sungai ini juga relatif aman dari banjir besar dibandingkan dengan Sungai Cigeblag yang lebih rentan terhadap luapan saat hujan lebat. Keberadaan infrastruktur pendukung, seperti akses jalan yang memadai dan pengalaman pemanfaatan oleh industri lain (seperti PLTU Cilegon), memperkuat kelayakannya sebagai sumber air utama.

Dari segi perizinan, pengambilan air dari Sungai Cibanten hanya memerlukan koordinasi dengan Dinas PUPR Kota Cilegon dan DLH setempat, tanpa perlu persetujuan lintas-wilayah seperti pada Sungai Cidanau. Dengan demikian, Sungai Cibanten menawarkan kombinasi optimal antara jarak, debit air, kemudahan akses, dan kelayakan administratif, menjadikannya pilihan paling efisien untuk utilitas pabrik di kawasan Gunung Sugih.

Dalam pemanfaatan sumber air ini, terdapat beberapa aspek kritis yang harus diperhatikan:

- a. Parameter kualitas air dan kesesuaiannya dengan kebutuhan industri
- b. Jarak tempuh dari sumber air ke lokasi pabrik
- c. Tingkat kontaminasi dan upaya pencegahan polusi
- d. Variasi ketersediaan air musiman dan dampaknya terhadap kapasitas produksi

Analisis mendalam terhadap faktor-faktor tersebut diperlukan untuk menjamin keberlangsungan pasokan air dan kelancaran operasional pabrik dalam jangka

panjang. Ketersediaan pasokan listrik dan bahan bakar merupakan komponen vital dalam operasional pabrik. Untuk memastikan kelancaran pasokan energi, lokasi pabrik DOTP ini secara strategis diposisikan berdekatan dengan dua sumber utama:

1. Gardu Induk PLN sebagai jaringan distribusi tenaga listrik
2. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) VII

Kedua infrastruktur energi ini terletak dalam wilayah administratif yang sama, yaitu Kecamatan Sungai Lilin, sehingga meminimalisir potensi gangguan distribusi. Sistem penyediaan energi pabrik didukung oleh beberapa sumber:

- Listrik : Diperoleh melalui generator pembangkit listrik internal
- Air : Memanfaatkan dua sumber alternatif (Sungai Cibanten dan air tanah)
- Bahan bakar : Solar untuk kebutuhan generator dan boiler yang dipasok oleh PT Pertamina (Persero) sebagai penyedia bahan bakar terpercaya

Pemilihan Pertamina sebagai pemasok bahan bakar didasarkan pada pertimbangan kualitas bahan bakar yang memenuhi standar industri serta keandalan dalam sistem distribusinya. Pendekatan multi-sumber ini diterapkan untuk menciptakan sistem pasokan energi yang redundan, sehingga dapat menjamin kontinuitas operasional pabrik dalam berbagai kondisi.

4.1.1.4 Daerah Pemasaran

Pendirian suatu pabrik sebaiknya mempertimbangkan kedekatan geografis dengan pasar sasaran sebagai faktor strategis. Beberapa aspek krusial yang perlu dianalisis meliputi:

1. Kedekatan lokasi pabrik dengan pusat distribusi dan konsumen akhir untuk meminimalkan biaya logistik dan waktu distribusi.
2. Evaluasi terhadap kemampuan pasar dalam menyerap produk, termasuk analisis permintaan aktual dan potensial di wilayah sasaran.
3. Kajian prospek pemasaran jangka panjang dengan mempertimbangkan tren industri, pertumbuhan populasi, dan perkembangan ekonomi regional.
4. Penilaian terhadap efisiensi jaringan distribusi dengan mempertimbangkan:
 - Radius distribusi optimal
 - Infrastruktur transportasi yang tersedia
 - Biaya dan waktu tempuh ke berbagai titik distribusi
5. Strategi Pemasaran : Penentuan sistem pemasaran yang akan diterapkan, meliputi:
 - Saluran distribusi (langsung/tidak langsung)
 - Model penjualan (grosir/eceran)
 - Mekanisme pengiriman dan distribusi

Pendekatan ini memastikan bahwa lokasi pabrik tidak hanya memenuhi kebutuhan produksi tetapi juga mengoptimalkan efisiensi distribusi dan daya saing pasar. Analisis mendalam terhadap faktor-faktor tersebut akan membentuk dasar perencanaan lokasi yang terintegrasi dengan strategi pemasaran.

4.1.1.5 Keadaan Geografis dan Iklim

Pemilihan lokasi industri memerlukan evaluasi komprehensif terhadap kondisi geofisik dan lingkungan. Berdasarkan kajian lokasi, kawasan Gunung Sari

memenuhi kriteria optimal untuk pendirian pabrik dengan pertimbangan sebagai berikut:

1. Stabilitas Geologis:

- Zona bebas risiko bencana hidrometeorologis (banjir dan tanah longsor)
- Wilayah dengan aktivitas seismik minimal (kategori gempa rendah)
- Kondisi topografi yang stabil dengan kemiringan lahan $<15\%$

2. Kapasitas Lingkungan:

- Ketersediaan lahan seluas ± 50 hektar untuk fasilitas produksi dan ekspansi
- Didukung oleh kawasan hutan seluas 120 hektar
- *Buffer zone* ekologis
- Sink karbon alami (kapasitas serapan 5 ton CO₂/ha/tahun)
- Modulator iklim mikro

3. Aspek Lingkungan Industri:

- Indeks kualitas udara (IKU) 85 (kategori baik)
- Tingkat kebisingan <45 dB (di bawah baku mutu industri)
- Sistem sirkulasi udara alami yang optimal

Pemilihan lokasi ini menerapkan prinsip industrial ecology dengan memanfaatkan jasa ekosistem alami untuk:

- Mitigasi emisi industri melalui proses fitoremediasi
- Optimalisasi thermal comfort alami
- Pengurangan beban pengolahan limbah
- Data geoteknik menunjukkan daya dukung tanah >2 kg/cm²
- Curah hujan tahunan 1800-2000 mm dengan distribusi merata

- Kecepatan angin dominan 5-15 knot (mendukung dispersi emisi)

Pendekatan ini menjamin keberlanjutan operasional industri sekaligus memenuhi standar AMDAL terkait pengendalian dampak lingkungan.

4.1.2 Faktor Sekunder Penentuan Lokasi Pabrik

Meskipun tidak terlibat secara langsung dalam proses produksi utama, faktor sekunder memainkan peran krusial dalam menunjang efisiensi dan keberlanjutan operasi pabrik. Berikut adalah faktor-faktor sekunder yang perlu diperhatikan:

4.1.2.1 Perizinan

Lokasi pabrik ditetapkan pada kawasan industri hijau (*green industrial estate*) dengan pertimbangan kemudahan dalam memperoleh perizinan konstruksi. Selain itu, perencanaan tata letak (*plant layout*) merupakan aspek krusial dalam pendirian pabrik, yang harus memenuhi beberapa prinsip dasar, antara lain:

1. Aksesibilitas dan Efisiensi Transportasi, mencakup kelancaran distribusi material dan produk.
2. Jaminan Keselamatan Kerja, sesuai standar regulasi industri untuk meminimalkan risiko kecelakaan.
3. Optimasi Operasional, meliputi kemudahan dalam:
 - Pengoperasian dan pemantauan (*monitoring*) peralatan,
 - Proses pengangkutan (*material handling*) dan pergerakan barang,
 - Pemeliharaan (*maintenance*) serta perbaikan fasilitas produksi.
4. Efisiensi Penggunaan Lahan, dengan memaksimalkan utilitas ruang sambil mempertimbangkan kelayakan infrastruktur pendukung dan fasilitas sosial.

4.1.2.2 Prasarana

Pembangunan pabrik harus didukung oleh prasarana yang memadai, termasuk jaringan jalan raya dan sarana transportasi, guna menjamin kelancaran distribusi logistik dan mobilitas tenaga kerja. Di samping itu, keberadaan fasilitas sosial—seperti institusi pendidikan, tempat ibadah, layanan perbankan, dan kawasan perumahan—merupakan faktor pendukung yang krusial. Fasilitas-fasilitas tersebut tidak hanya meningkatkan kualitas hidup pekerja dan masyarakat sekitar, tetapi juga berperan dalam peningkatan kesejahteraan sosial (*social welfare*) dan pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*).

4.1.2.3 Sosial Masyarakat

Berdasarkan analisis sosial, respons masyarakat terhadap proyek pendirian pabrik dioktil tereftalat diperkirakan bersifat positif (*favorable*). Dukungan ini terutama didorong oleh potensi penyerapan tenaga kerja lokal (*local employment opportunities*), yang dapat berkontribusi pada pengurangan pengangguran dan peningkatan kesejahteraan ekonomi wilayah.

Selain itu, melalui kajian dampak lingkungan dan sosial (*environmental and social impact assessment*), diperkirakan bahwa operasional pabrik tidak akan menimbulkan gangguan terhadap:

1. Aspek Keselamatan Masyarakat, karena desain fasilitas telah memenuhi standar mitigasi risiko industri.
2. Aspek Keamanan Lingkungan, dengan diterapkannya teknologi ramah lingkungan (*eco-friendly technology*) dan sistem pengelolaan limbah terpadu.

4.2 Tata Letak Pabrik (*Plant Layout*)

Tata letak pabrik merujuk pada pengaturan komponen-komponen dalam suatu fasilitas produksi, yang mencakup area penyimpanan bahan baku dan produk jadi, ruang kerja karyawan, serta penempatan peralatan industri. Dari perspektif keterkaitan antar-elemen tersebut, perancangan tata letak pabrik harus dilakukan secara optimal guna memastikan efisiensi pemanfaatan ruang, kelancaran alur produksi dan distribusi, sekaligus menjamin terpenuhinya aspek keamanan, keselamatan, dan kenyamanan bagi tenaga kerja. Selain peralatan produksi, berbagai fasilitas pendukung seperti laboratorium, klinik, kantin, unit pemadam kebakaran, kantor administrasi, pos keamanan, bengkel, dan area parkir perlu ditempatkan pada lokasi yang strategis agar tidak mengganggu mobilitas barang maupun operasional produksi.

Dalam merancang pendirian suatu pabrik, diperlukan pertimbangan menyeluruh terhadap aspek-aspek kritis seperti penataan lahan proses, area penyimpanan, dan lahan cadangan dalam konfigurasi yang efisien. Beberapa faktor utama yang harus diperhatikan meliputi:

- a. Penataan peralatan produksi harus dirancang secara sistematis guna mendukung kelancaran operasional dan menjamin keselamatan pekerja. Selain itu, posisi peralatan produksi harus disusun secara berurutan sesuai dengan alur proses kerja untuk meminimalkan hambatan dan meningkatkan produktivitas.
- b. Penataan Peralatan Produksi: Susunan peralatan harus mengikuti alur proses kerja (process layout) secara berurutan untuk meminimasi waste material handling dan memastikan keselamatan operator.

- c. Zona Risiko Tinggi: Peralatan dengan potensi bahaya tinggi (seperti reaktor bertekanan atau sistem kimia eksotermik) memerlukan isolasi spasial yang memadai untuk memfasilitasi evakuasi darurat dan mitigasi insiden seperti kebocoran atau kebakaran.
- d. Aksesibilitas Perawatan: Desain harus menyediakan clearance yang memadai untuk aktivitas preventive maintenance, repair, dan modifikasi peralatan, termasuk ruang untuk alat bantu seperti crane atau forklift.
- e. Sirkulasi Internal: Lebar jalan harus memenuhi standar keselamatan dengan mempertimbangkan dimensi kendaraan industri dan pejalan kaki, dilengkapi dengan jalur evakuasi tersendiri untuk kondisi krisis.
- f. Sistem Monitoring: Panel kontrol dan instrumen pengukuran harus diposisikan dalam jangkauan visual dan fisik operator untuk memungkinkan respons cepat terhadap abnormalitas proses.
- g. Distribusi Fasilitas Pendukung: Kantor administrasi dan gudang sebaiknya berdekatan dengan akses logistik utama untuk memperpendek lead time distribusi material.
- h. Infrastruktur Utilitas: Jaringan pendistribusian utilitas (gas kompresi, steam, listrik, dan sistem fluida proses) harus dirancang berdasarkan prinsip aksesibilitas dan modularitas untuk memudahkan pemeliharaan dan ekspansi di masa depan.
- i. Skalabilitas: Desain harus mengalokasikan reserved space untuk ekspansi kapasitas atau integrasi teknologi baru, mengantisipasi perkembangan kebutuhan produksi.

i. Prinsip Fleksibilitas Desain: Perencanaan tata letak pabrik harus mengintegrasikan konsep fleksibilitas operasional dengan mempertimbangkan dinamika perkembangan teknologi dan variasi proses produksi. Pendekatan modular dalam penataan mesin dan fasilitas produksi perlu diterapkan untuk memungkinkan rekonfigurasi layout dengan biaya modifikasi yang minimal. Hal ini mencakup penggunaan sistem utilitas yang dapat disesuaikan (adjustable utility systems) dan penyediaan ruang cadangan untuk akomodasi teknologi masa depan.

j. Optimalisasi Fasilitas Pendukung: Fasilitas servis karyawan seperti kantin, area parkir, dan ruang ibadah harus didistribusikan secara strategis dengan mempertimbangkan prinsip ergonomi dan efisiensi waktu. Penempatannya perlu memenuhi kriteria:

1. Jarak optimal dari area produksi utama untuk meminimalkan waktu perjalanan pekerja
2. Aksesibilitas yang setara untuk seluruh shift kerja
3. Tidak mengganggu alur material utama
4. Memenuhi standar kesehatan dan kenyamanan kerja

Pendekatan ini menekankan pada keseimbangan antara produktivitas operasional dan kesejahteraan pekerja, dengan tetap mempertahankan efisiensi spasial dalam desain fasilitas industri.

Tata letak fasilitas industri dapat dikategorikan secara sistematis ke dalam beberapa zona fungsional utama berdasarkan karakteristik operasionalnya, yaitu:

- a. Area administrasi atau kantor berperan sebagai pusat pengendalian manajerial dimana seluruh aktivitas perencanaan, pengawasan, dan evaluasi operasional pabrik dilakukan. Laboratorium sebagai bagian integral dari area ini tidak hanya berfungsi untuk pengawasan kualitas bahan baku dan produk akhir, tetapi juga berperan penting dalam pengembangan produk baru dan perbaikan proses produksi. Fasilitas penunjang seperti kantin, ruang ibadah, klinik, dan taman dirancang untuk mendukung kesejahteraan karyawan sekaligus meningkatkan produktivitas kerja.
- b. Area proses produksi dan ruang kontrol membentuk inti dari operasi manufaktur. Di dalam area inilah seluruh aktivitas transformasi bahan baku menjadi produk jadi berlangsung, melibatkan berbagai peralatan dan mesin produksi yang disusun sesuai alur proses. Ruang kontrol berfungsi sebagai pusat pemantauan yang terus-menerus mengawasi parameter operasional melalui sistem instrumentasi dan kontrol modern, memastikan proses produksi berjalan sesuai standar yang ditetapkan.
- c. Area penyimpanan, bengkel, dan garasi merupakan komponen pendukung yang vital. Area penyimpanan tidak hanya mencakup gudang bahan baku dan produk jadi, tetapi juga termasuk penyimpanan material pendukung dan peralatan produksi cadangan. Bengkel berfungsi sebagai pusat perawatan dan perbaikan peralatan, memastikan seluruh mesin produksi selalu dalam kondisi optimal. Sementara garasi berperan sebagai tempat penyimpanan dan perawatan kendaraan operasional yang mendukung mobilitas logistik internal pabrik.

d. Area Utilitas dan Pembangkit Energi

Zona ini merupakan jantung infrastruktur pendukung yang menyediakan berbagai kebutuhan vital operasional pabrik. Secara khusus, area utilitas bertanggung jawab untuk:

- Penyediaan dan distribusi energi listrik melalui power station atau gardu induk.
- Pengolahan dan sirkulasi air proses maupun air sanitasi.
- Pembangkitan dan distribusi steam untuk kebutuhan proses produksi.
- Penyimpanan dan penyaluran bahan bakar untuk berbagai keperluan operasional.
- Penyediaan peralatan darurat seperti sistem pemadam kebakaran, generator cadangan, dan peralatan keselamatan lainnya.

e. Area Pengolahan Limbah

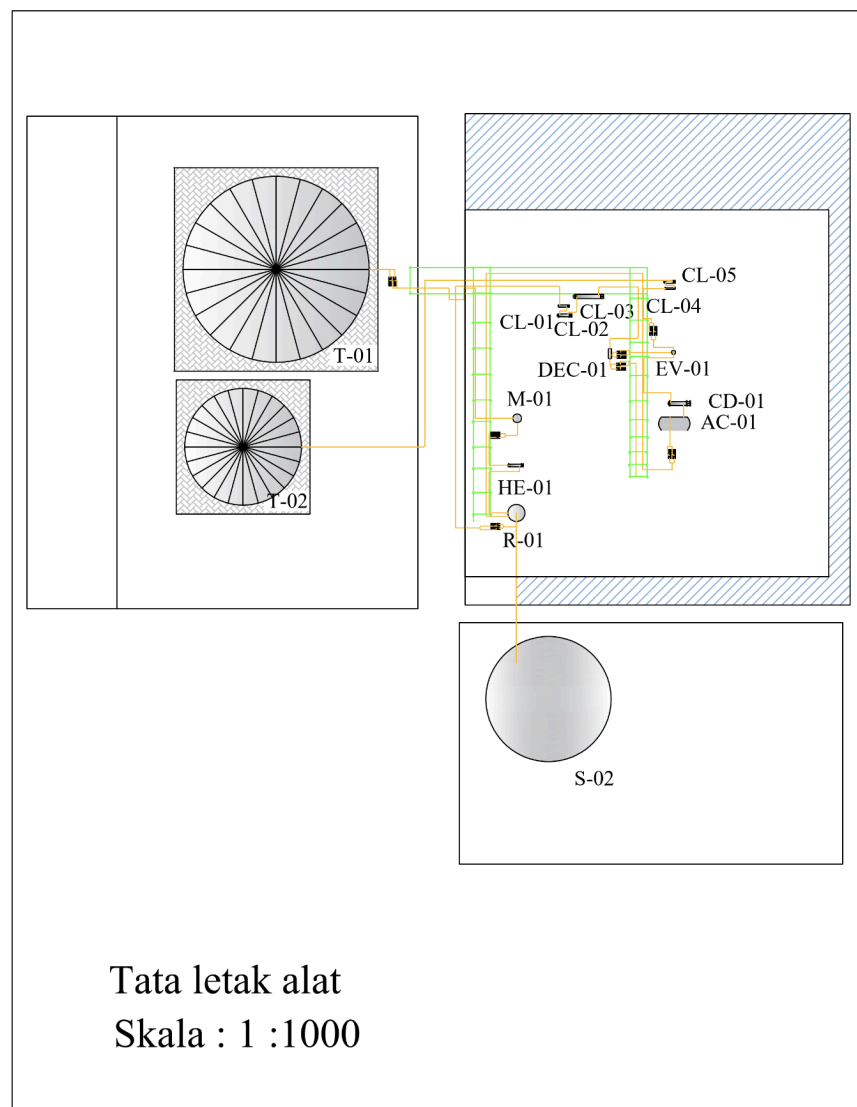
Sebagai bagian dari komitmen lingkungan, pabrik modern dilengkapi dengan fasilitas pengolahan limbah yang memiliki fungsi:

- Pengolahan primer dan sekunder limbah cair sebelum dibuang ke lingkungan.
- Pemrosesan limbah padat melalui berbagai metode seperti insinerasi atau daur ulang.
- Pengujian kualitas limbah secara rutin untuk memverifikasi kepatuhan terhadap baku mutu lingkungan.
- Penyimpanan sementara limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) sebelum dikirim ke pihak ketiga yang berwenang.

- Pemantauan terus-menerus terhadap emisi gas buang dan parameter lingkungan lainnya.

Tabel 4.1 Luas Tanah dan Bangunan Pabrik

No.	Lokasi	Panjang (m)	Lebar (m)	Luas (m ²)
1	Area proses	350	200	70.000
2	Area utilitas	450	380	171.000
3	Pengolahan Limbah	40	38	1.520
4	<i>Control room</i>	20	20	400
5	<i>Control utilitas</i>	20	20	400
6	Area parkir	40	38	1.500
7	Kantor utama	50	50	2.500
8	Pos Keamanan	9	5	45
9	Gedung Pertemuan	25	24	600
10	Kantin	20	10	200
11	Jalan dan Taman	50	40	2.000
12	Kantor Teknik Produksi	30	30	900
13	Pemadam Kebakaran	20	15	300
14	Poliklinik	25	24	600
15	Bengkel	20	20	400
16	Masjid	20	20	400
17	Laboratorium	20	20	400
18	Gudang Produk	30	30	900
19	Gudang Bahan Baku	40	25	1000
20	Perluasan Pabrik	50	40	2000
21	Mess Karyawan	32	25	800



Gambar 4.2 *Layout* Tata Letak Pabrik DOTP

4.3 Tata Letak Mesin/ Alat proses (*Machines Layout*)

Tata letak mesin proses merupakan pengaturan strategis peralatan produksi berdasarkan urutan kerja dan karakteristik teknisnya, yang berdampak signifikan pada keselamatan, efisiensi, dan ekonomi operasional. Penempatan yang tepat menjamin lingkungan kerja yang aman dengan meminimalkan risiko kecelakaan, memudahkan evakuasi, dan menyediakan ruang gerak optimal bagi operator.

Dari segi produksi, tata letak yang terencana memperlancar aliran material, mengurangi penanganan berlebihan, dan mempercepat proses, sehingga meningkatkan produktivitas dan konsistensi kualitas. Efisiensi ini juga berdampak ekonomis, seperti penghematan ruang, pengurangan biaya material handling, dan pemanfaatan mesin yang lebih optimal.

Pertimbangan utama dalam perancangan meliputi spesifikasi teknis mesin (dimensi, berat, kebutuhan utilitas), kemudahan perawatan, dan aspek ergonomi untuk kenyamanan operator. Selain itu, fleksibilitas untuk adaptasi di masa depan juga perlu diperhatikan guna mengantisipasi perkembangan teknologi dan perubahan kebutuhan produksi. Dengan demikian, investasi dalam perencanaan tata letak yang matang akan menghasilkan operasi yang lebih efisien, aman, dan berkelanjutan.

a. Aliran Bahan Baku dan Produk

Efisiensi dalam sistem distribusi material mentah dan produk akhir merupakan faktor kritis yang memberikan dampak signifikan terhadap aspek ekonomi sekaligus menjamin kelancaran dan keamanan operasional produksi. Implementasi yang optimal terhadap desain sistem aliran material ini memerlukan pertimbangan teknis yang komprehensif, khususnya terkait dengan aspek elevasi jaringan pipa. Untuk instalasi pipa di atas permukaan tanah, persyaratan teknis mengharuskan pemasangan pada ketinggian minimal 2 meter, sementara untuk jaringan pipa yang terletak pada level permukaan tanah, perlu dirancang dengan memperhatikan aspek ergonomi dan keselamatan kerja sehingga tidak

mengganggu mobilitas personel maupun aktivitas operasional lainnya dalam area produksi.

b. Aliran Udara

Sirkulasi udara yang optimal merupakan persyaratan fundamental dalam operasi industri, yang berfungsi untuk mencegah terjadinya stagnasi udara dalam ruang produksi. Fenomena stagnasi udara tersebut berpotensi menyebabkan akumulasi senyawa kimia berbahaya pada area tertentu, sehingga dapat menimbulkan risiko terhadap keselamatan kerja. Untuk memitigasi bahaya tersebut, diperlukan analisis komprehensif terhadap pola aliran udara, termasuk parameter arah dan kecepatan hembusan angin, guna memastikan distribusi udara yang merata dan efektif dalam seluruh area fasilitas produksi.

c. Keamanan

Penataan peralatan proses dalam fasilitas industri harus mengoptimalkan prinsip-prinsip keselamatan kebakaran, dengan memperhatikan aspek aksesibilitas dan evakuasi. Konfigurasi penempatan peralatan perlu dirancang sedemikian rupa untuk memenuhi dua kriteria utama: pertama, menjamin jalur evakuasi yang bebas hambatan bagi personel dalam keadaan darurat, dan kedua, menyediakan akses yang memadai bagi kendaraan pemadam kebakaran dan peralatan emergency response. Desain tata letak tersebut harus mempertimbangkan clearance yang cukup di sekitar peralatan, jarak aman antar unit proses, serta integrasi dengan sistem proteksi kebakaran pasif dan aktif yang terinstalasi. Pendekatan ini secara signifikan dapat mengurangi risiko personel terperangkap

selama insiden kebakaran sekaligus memfasilitasi operasi pemadaman yang efektif.

d. Pencahayaan

Sistem pencahayaan yang memadai di seluruh area fasilitas industri merupakan aspek kritis yang harus memenuhi standar teknis yang berlaku, dengan tujuan utama untuk mengurangi potensi terjadinya insiden kerja. Implementasi sistem pencahayaan yang optimal khususnya menjadi pertimbangan esensial pada zona-zona proses produksi yang memiliki tingkat bahaya tinggi, dimana intensitas dan kualitas pencahayaan yang tepat berperan penting dalam memitigasi berbagai risiko operasional. Desain pencahayaan industri yang komprehensif harus memperhatikan faktor-faktor seperti intensitas cahaya, distribusi pencahayaan, serta penempatan titik cahaya strategis untuk memastikan visibilitas optimal dalam seluruh aktivitas produksi, sekaligus memenuhi persyaratan keselamatan dan kesehatan kerja.

e. Lalu Lintas Manusia dan Kendaraan

Dalam perancangan tata letak fasilitas industri, penempatan peralatan proses harus mempertimbangkan tiga aspek fundamental: ergonomi operasional, aksesibilitas perawatan, dan proteksi keselamatan pekerja. Pertama, dari perspektif efisiensi operasi, konfigurasi peralatan harus memungkinkan aksesibilitas optimal bagi operator, meminimalkan jarak tempuh dan waktu yang diperlukan untuk menjangkau berbagai titik operasi. Kedua, secara teknis, tata letak harus menyediakan ruang kerja yang memadai untuk kegiatan pemeliharaan rutin maupun perbaikan darurat, termasuk clearance yang cukup untuk pergerakan

teknisi dan peralatan pendukung. Ketiga, aspek keselamatan harus diintegrasikan melalui pengaturan jarak aman antar peralatan, penyediaan zona kerja yang bebas dari bahaya, dan penempatan yang mempertimbangkan alur evakuasi darurat. Pendekatan holistik ini tidak hanya meningkatkan produktivitas operasional tetapi juga menciptakan lingkungan kerja yang sesuai dengan standar kesehatan dan keselamatan kerja industri.

f. Pertimbangan Ekonomi

Penataan peralatan proses dalam suatu fasilitas produksi memerlukan pendekatan strategis yang mengintegrasikan pertimbangan ekonomis dan teknis-operasional. Implementasi tata letak yang optimal mampu menghasilkan efisiensi biaya yang signifikan melalui minimalisasi pengeluaran operasional, sekaligus menciptakan nilai ekonomis yang berkelanjutan bagi perusahaan. Lebih lanjut, konfigurasi yang tepat akan mendukung kontinuitas proses produksi dengan memastikan alur material yang lancar dan mengurangi potensi gangguan operasional.

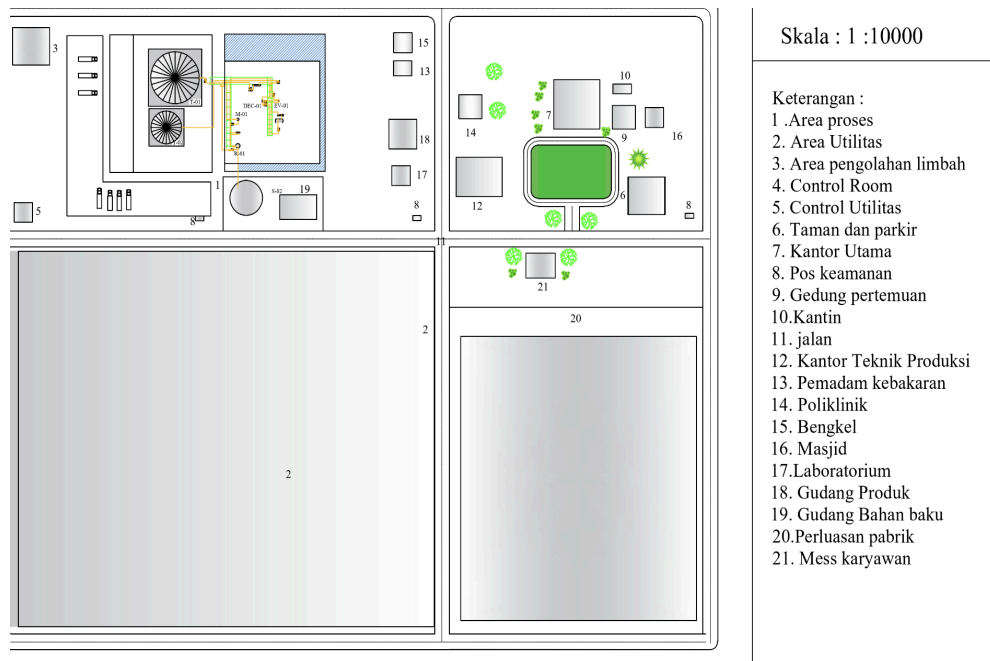
g. *Maintenance*

Penempatan peralatan proses harus mempertimbangkan kebutuhan ruang yang memadai untuk kegiatan pemeliharaan, termasuk aksesibilitas dan ruang kerja yang ergonomis. Sebagai contoh, heat exchanger memerlukan jarak tambahan sekitar 1-1,5 meter di sekitarnya untuk memungkinkan pembersihan tube, penggantian komponen, dan inspeksi rutin. Ruang ini harus dirancang sejak awal untuk memastikan teknisi dapat bekerja dengan aman dan efisien tanpa mengganggu operasi peralatan lain. Faktor-faktor seperti dimensi peralatan, alat

bantu pemeliharaan, dan jalur evakuasi darurat harus diperhitungkan guna memenuhi standar keselamatan sekaligus memaksimalkan ketersediaan peralatan. Dengan demikian, alokasi ruang yang tepat tidak hanya mendukung perawatan yang efektif tetapi juga memperpanjang umur aset dan mengurangi downtime produksi.

h. Jarak Antara Alat Proses

Dalam perancangan tata letak pabrik, penentuan jarak antar peralatan proses merupakan aspek kritis yang harus memenuhi prinsip keselamatan dan efisiensi operasional. Jarak optimal antar peralatan harus mempertimbangkan beberapa faktor utama, yaitu kebutuhan ruang untuk operasi normal, akses pemeliharaan, dan jalur evakuasi darurat. Pada peralatan yang menghasilkan panas tinggi atau berpotensi kebocoran bahan berbahaya, jarak minimal harus memenuhi standar keselamatan industri untuk mencegah efek domino saat terjadi insiden. Selain itu, pengaturan jarak harus memfasilitasi aliran material yang lancar dan memungkinkan pergerakan personel serta peralatan penanganan material secara ergonomis. Penempatan yang tepat dengan jarak aman yang memadai akan mengurangi risiko tabrakan antar peralatan, mempermudah proses inspeksi rutin, sekaligus memastikan efisiensi ruang produksi tanpa mengorbankan aspek keselamatan kerja.



Gambar 4.3 Tata Letak Pabrik DOTP

4.4 Organisasi Perusahaan

4.4.1 Bentuk Perusahaan

Struktur organisasi merupakan komponen krusial yang mendukung tercapainya efisiensi dan efektivitas dalam pelaksanaan fungsi-fungsi utama perusahaan. Sebagai bagian penting dari manajemen organisasi, struktur yang baik memungkinkan terjalinnya pemahaman yang mendalam antara atasan dan karyawan mengenai peran, tugas, serta tanggung jawab masing-masing individu dalam perusahaan. Dengan adanya struktur yang sistematis, perusahaan dapat menentukan dan memperjelas posisi, tugas, kedudukan, wewenang, serta tanggung jawab setiap karyawan secara terperinci. Beberapa prinsip yang harus dipedomani dalam membangun sistem organisasi yang optimal mencakup:

- a) Tujuan perusahaan yang dirumuskan dengan jelas untuk memandu arah organisasi;
- b) Pendistribusian wewenang secara sistematis agar proses pengambilan keputusan berjalan lancar;
- c) Pembagian tugas yang rinci dan akurat untuk meningkatkan efektivitas kerja;
- d) Penerapan asas kesatuan komando dan tanggung jawab guna menghindari kebingungan dalam perintah;
- e) Pengembangan sistem pengendalian yang terukur untuk mengevaluasi hasil kerja secara objektif; serta
- f) Fleksibilitas organisasi yang memungkinkan perusahaan beradaptasi terhadap perubahan lingkungan.

Dengan menerapkan asas-asas ini, perusahaan dapat membangun kerangka organisasi yang mendukung pencapaian tujuan jangka panjang dan mendorong terciptanya lingkungan kerja yang produktif dan responsif terhadap tantangan. Struktur organisasi yang baik mencakup elemen-elemen yang mendukung jalur komunikasi dan garis kekuasaan yang sederhana dan efisien, memungkinkan interaksi yang jelas antara sistem dan karyawan. Dalam struktur ini, setiap karyawan memiliki satu jalur komando, yang memastikan bahwa setiap individu hanya bertanggung jawab kepada seorang atasan. Hal ini menciptakan kejelasan dalam hierarki, mengurangi potensi konflik perintah, dan memfasilitasi alur komunikasi yang lebih efektif. Selain itu, dalam sistem organisasi yang fungsional, pembagian tanggung jawab lebih terfokus pada keahlian atau kompetensi tertentu, yang memungkinkan penanganan tugas secara lebih efisien.

Untuk menjaga keberlanjutan produksi serta kualitas hasil kerja, diperlukan pembentukan tim kerja yang terdiri dari tenaga ahli yang memiliki kompetensi khusus. Tenaga ahli ini, melalui pengetahuan dan keterampilan spesifik yang dimilikinya, dapat menjawab kebutuhan perusahaan terhadap tenaga kerja berkualitas yang tidak hanya mampu bekerja secara teknis, tetapi juga mampu beradaptasi dengan cepat terhadap tuntutan perubahan dalam proses produksi. Para ahli di bidangnya memiliki peran yang signifikan dalam memastikan efisiensi operasional dan pencapaian target perusahaan. Pada tingkat pengawasan, staf ahli memberikan masukan strategis melalui analisis dan pemikiran yang mendalam untuk membantu merumuskan kebijakan yang relevan dengan tujuan perusahaan.

Dalam struktur organisasi, terdapat dua kelompok individu yang berpengaruh terhadap operasional garis dan staf, yaitu:

- a) Pemimpin garis, yang memiliki tanggung jawab utama dalam melaksanakan fungsi-fungsi penting organisasi guna mencapai tujuan strategis, dan .
- b) Pemimpin staf, yang menggunakan keahlian khusus mereka untuk memberikan konsultasi dan dukungan teknis kepada unit-unit operasional, memastikan keputusan yang diambil berlandaskan pada pengetahuan dan praktik terbaik.

Untuk mencapai kelancaran proses produksi, diperlukan pembentukan tim staf ahli yang terdiri dari individu-individu dengan keahlian khusus di bidangnya. Staf ahli ini akan memberikan dukungan berupa pemikiran strategis dan saran yang diperlukan kepada tingkat pengawas, dengan tujuan akhir mendukung

pencapaian target perusahaan. Struktur organisasi yang terstruktur secara baik menawarkan berbagai manfaat, di antaranya:

- a) Memberikan kejelasan mengenai batasan tugas, tanggung jawab, dan wewenang setiap posisi;
- b) Berfungsi sebagai panduan orientasi bagi para pejabat;
- c) Memungkinkan penempatan pegawai secara lebih tepat dan sesuai kompetensi;
- d) Menyediakan kerangka untuk penyusunan program pengembangan manajemen; serta
- e) Mengatur ulang prosedur dan langkah kerja yang ada apabila ditemukan kendala dalam pelaksanaannya.

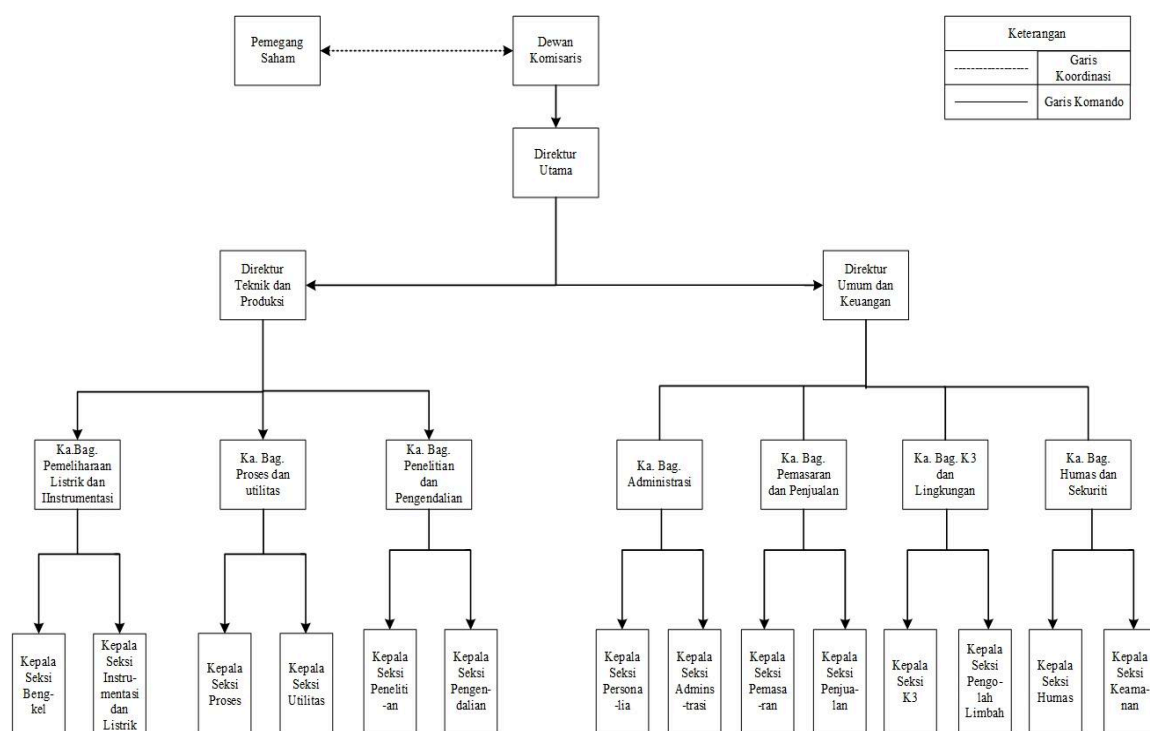
4.4.2 Struktur Organisasi

Suatu perusahaan dapat bertahan dan berkembang jika memiliki struktur organisasi yang teratur dan sistematis. Ini karena kolaborasi dan komunikasi yang efektif antara karyawan diperlukan untuk operasional yang lancar. Sesuai dengan kebutuhan masing-masing, setiap perusahaan mungkin memiliki struktur organisasi yang berbeda. Struktur ini sangat terkait dengan alur komunikasi dan tanggung jawab dan berfungsi untuk:

- a. Menjelaskan dan memperjelas batasan tugas, tanggung jawab, hak, wewenang, dan lainnya;
- b. Menjadi referensi bagi pejabat dan calon investor;
- c. Mengatur penempatan karyawan yang sesuai dengan kebutuhan;
- d. Memfasilitasi perencanaan dan pengembangan manajemen; dan

- e. Mempermudah penyesuaian kembali langkah dan prosedur kerja yang tidak efisien. Dewan Komisaris mewakili pemegang saham sebagai pemilik perusahaan, dan Direktur Utama.

Para pemegang saham, yang memiliki kepemilikan perusahaan, diwakili oleh Dewan Komisaris untuk melaksanakan fungsi pengawasan perusahaan. Di sisi lain, tugas operasional sehari-hari perusahaan dikelola oleh Direktur Utama, yang mendapat dukungan dari beberapa Direktur di bawahnya. Baik Dewan Komisaris maupun Direktur Utama diangkat melalui keputusan Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS).



Gambar 4.4 Struktur Organisasi Pabrik DOTP

4.4.3 Tugas dan Wewenang

4.4.3.1 Pemegang Saham

Para pemegang saham, yang bertindak sebagai pemilik perusahaan, adalah sekelompok individu yang menghimpun modal untuk mendirikan dan mengelola kegiatan perusahaan. Struktur otoritas tertinggi dalam perseroan terbatas berada pada Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS). Dalam pertemuan ini, pemegang saham memiliki wewenang untuk memutuskan hal-hal berikut:

- a) Pengangkatan dan pemberhentian anggota komite;
- b) Pemilihan serta pemberhentian jajaran direksi;
- c) Evaluasi tahunan terhadap laba rugi perusahaan melalui peninjauan kinerja keuangan serta neraca perusahaan.

4.4.3.2 Dewan Komisaris

Dewan Komisaris berperan sebagai perwakilan pemegang saham, dengan tujuan agar dewan tersebut mempertanggungjawabkan pelaksanaan fungsi perusahaan kepada para pemilik modal. Tanggung jawab Dewan Komisaris meliputi:

- a) Meninjau serta menyetujui rencana kebijakan dan tujuan strategis perusahaan, yang mencakup optimalisasi laba, alokasi dana, dan kebijakan pemasaran;
- b) Mengawasi pelaksanaan tugas Direktur Utama secara menyeluruh;
- c) Memberikan dukungan kepada Direktur Utama dalam pengambilan keputusan pada hal-hal penting yang berkaitan dengan operasi perusahaan.

4.4.3.3 Direktur Utama

Direktur Utama berfungsi sebagai pemimpin tertinggi dalam struktur organisasi perusahaan dan memegang tanggung jawab penuh terhadap keberlangsungan dan perkembangan perusahaan. Ia bertanggung jawab kepada Dewan Komisaris atas semua keputusan dan kebijakan yang diambil selama masa jabatannya sebagai kepala perusahaan. Dalam menjalankan perannya, Direktur Utama berkolaborasi dengan Direktur Produksi dan Teknik, serta Direktur Administrasi, Keuangan, dan Umum. Tugas-tugas yang diemban oleh Direktur Utama meliputi:

- a) Menetapkan kebijakan perusahaan dan mempertanggungjawabkan pelaksanaan tugasnya kepada pemegang saham pada akhir masa jabatannya;
- b) Memastikan stabilitas organisasi serta menjalin hubungan yang harmonis antara pemegang saham, manajemen, karyawan, dan pelanggan;
- c) Mengangkat dan memberhentikan kepala bagian dengan persetujuan dari Rapat Umum Pemegang Saham;
- d) Mengkoordinasikan kolaborasi dengan Direktur Teknik dan Produksi serta Direktur Administrasi, Keuangan, dan Umum untuk memastikan integrasi yang efektif di seluruh unit organisasi.

Lebih lanjut, Direktur Utama juga berperan penting dalam pengembangan strategi jangka panjang perusahaan, dengan memastikan bahwa semua inisiatif dan program yang dijalankan sejalan dengan visi dan misi perusahaan. Melalui kepemimpinan yang efektif, ia dapat mengoptimalkan sumber daya yang ada dan

meningkatkan kinerja organisasi dalam menghadapi tantangan dan peluang di pasar.

4.4.3.4 Kepala Bagian

Secara umum, tanggung jawab Kepala Bagian meliputi koordinasi, pengaturan, dan pengawasan terhadap pelaksanaan pekerjaan di dalam unit kerjanya, mengikuti pedoman yang ditetapkan oleh pimpinan perusahaan. Selain itu, Kepala Bagian juga berperan sebagai staf pendukung bagi Direktur yang bersangkutan dan bertanggung jawab langsung kepada Direktur tersebut. Struktur Kepala Bagian terdiri dari beberapa posisi, antara lain:

- a) Kepala Bagian Proses dan Utilitas, yang bertugas mengkoordinasikan aktivitas pabrik dalam aspek proses serta pengadaan bahan baku dan utilitas;
- b) Kepala Bagian Pemeliharaan, Listrik, dan Instrumentasi, yang bertanggung jawab atas pemeliharaan dan pengelolaan fasilitas penunjang untuk kegiatan produksi;
- c) Kepala Bagian Penelitian, Pengembangan, dan Pengendalian Mutu, yang mengkoordinasikan aktivitas terkait penelitian, pengembangan perusahaan, serta pengawasan mutu produk;
- d) Kepala Bagian Keuangan dan Pemasaran, yang bertugas mengelola kegiatan pemasaran, pengadaan barang, serta pencatatan keuangan;
- e) Kepala Bagian Administrasi, yang bertanggung jawab atas semua kegiatan yang berkaitan dengan tata usaha dan manajemen sumber daya manusia;

f) Kepala Bagian Hubungan Masyarakat dan Keamanan, yang mengelola interaksi antara perusahaan dan masyarakat, serta menjaga keamanan lingkungan perusahaan;

g) Kepala Bagian Kesehatan, Keselamatan Kerja, dan Lingkungan, yang bertanggung jawab atas keamanan pabrik serta kesehatan dan keselamatan kerja karyawan.

Melalui pengelolaan yang sistematis dan kolaboratif, setiap Kepala Bagian diharapkan dapat berkontribusi secara signifikan terhadap efisiensi operasional perusahaan dan pencapaian tujuan strategis yang telah ditetapkan.

4.4.3.5 Kepala Seksi

Kepala Seksi bertanggung jawab untuk melaksanakan tugas dan kegiatan di dalam unit kerjanya, mengikuti rencana yang telah ditetapkan oleh para Kepala Bagian. Setiap Kepala Seksi memiliki kewajiban untuk melaporkan hasil kerja dan progresnya kepada Kepala Bagian yang bersangkutan sesuai dengan area tanggung jawabnya.

a. Kepala Seksi Proses

Bertugas untuk memimpin dan memantau kelancaran proses produksi. Ia bertanggung jawab atas penyediaan bahan baku serta memastikan kemurnian bahan tersebut, dan melakukan pengawasan terhadap kualitas produk yang dihasilkan.

b. Kepala Seksi Utilitas

Bertanggung jawab untuk menyediakan air, uap, bahan bakar, dan udara tekan yang diperlukan untuk proses produksi dan pengoperasian alat-alat instrumentasi.

c. Kepala Seksi Pemeliharaan dan Bengkel

Bertanggung jawab atas perawatan dan penggantian peralatan serta fasilitas pendukung yang diperlukan untuk mendukung operasional.

d. Kepala Seksi Listrik dan Instrumentasi

Bertanggung jawab untuk penyediaan energi listrik serta menjaga kelancaran operasional alat-alat instrumentasi yang digunakan dalam proses.

e. Kepala Seksi Penelitian dan Pengembangan

Mengkoordinasikan aktivitas yang berkaitan dengan peningkatan produktivitas dan efisiensi keseluruhan proses produksi.

f. Kepala Seksi Laboratorium dan Pengendalian Mutu

Bertugas untuk melaksanakan pengendalian mutu terhadap bahan baku, bahan tambahan, produk akhir, serta limbah yang dihasilkan.

g. Kepala Seksi Keuangan

Bertanggung jawab atas pembukuan dan semua hal yang berkaitan dengan aspek keuangan perusahaan.

h. Kepala Seksi Pemasaran

Mengkoordinasikan kegiatan pemasaran produk serta pengadaan bahan baku yang diperlukan oleh pabrik.

i. Kepala Seksi Tata Usaha

Bertanggung jawab untuk kegiatan yang terkait dengan administrasi rumah tangga perusahaan serta pengelolaan tata usaha kantor.

j. Kepala Seksi Personalia

Mengkoordinasikan semua kegiatan yang berhubungan dengan manajemen kepegawaian di perusahaan.

k. Kepala Seksi Hubungan Masyarakat

Bertugas menyelenggarakan kegiatan yang terkait dengan interaksi perusahaan dengan pemerintah dan masyarakat luas.

l. Kepala Seksi Keamanan

Bertanggung jawab untuk mengawasi dan mengelola semua aspek yang berkaitan dengan keamanan perusahaan.

m. Kepala Seksi Kesehatan dan Keselamatan Kerja

Mengelola isu-isu kesehatan karyawan dan keluarganya, serta menangani semua masalah yang berkaitan dengan keselamatan kerja di lingkungan perusahaan.

n. Kepala Seksi Unit Pengolahan Limbah

Bertanggung jawab untuk memastikan bahwa limbah yang dihasilkan oleh pabrik memenuhi standar baku mutu yang telah ditetapkan.

4.4.4 Pembagian Jam Kerja Karyawan

Pabrik ini direncanakan untuk beroperasi selama 330 hari dalam setahun, dengan jam operasional 24 jam setiap harinya. Hari-hari yang bukan hari libur akan dialokasikan untuk kegiatan perbaikan, pemeliharaan, dan penutupan

(maintenance atau shutdown). Di samping itu, waktu kerja karyawan di pabrik ini terbagi menjadi dua kategori utama: karyawan shift dan karyawan non-shift.

a. Karyawan *non-shift*

Karyawan non-shift merupakan individu yang menjalankan tugas selama 5 hari dalam seminggu dengan total waktu kerja mencapai 40 jam. Hari Sabtu, Minggu, dan hari libur nasional ditetapkan sebagai hari tidak bekerja. Karyawan non-shift tidak terlibat langsung dalam proses produksi. Dalam kategori karyawan non-shift termasuk Direktur Utama, Sekretaris, Direktur Teknik dan Produksi, Direktur Keuangan dan Pemasaran, Direktur Sumber Daya Manusia dan Umum, Kepala Bagian, serta sejumlah staf yang beroperasi di kantor. Jadwal kerja yang ditetapkan bagi karyawan non-shift adalah sebagai berikut:

Tabel 4.2 Jadwal jam kerja karyawan *non-shift*

Hari	Jam kerja	Jam Istirahat
Senin- Kamis	07.00-16.00	12.00-13.00
Jumat	07.00-16.00	11.00-13.00

b. Karyawan *shift*

Karyawan shift terdiri dari individu yang terlibat secara langsung dalam proses produksi perusahaan serta mengelola bagian-bagian tertentu yang berpengaruh pada kelancaran operasi selama 24 jam dan menjaga keamanan sistem produksi. Kategori ini mencakup operator produksi, staf gudang, teknisi, dan berbagai divisi lainnya. Berikut ini adalah jam kerja *shift* diatur menjadi tiga *shift* berbeda selama satu hari :

Tabel 4.3 Jadwal jam kerja karyawan *shift*

Kelompok Kerja	Jam Kerja	Jam Istirahat
<i>Shift I</i>	07.00-15.00	11.00-12.00
<i>Shift II</i>	15.00-23.00	19.00-20.00
<i>Shift III</i>	23.00-07.00	03.00-04.00

Pengaturan kerja shift dilakukan dalam empat regu (A/B/C/D), di mana hanya tiga regu yang aktif bekerja setiap harinya, sementara satu regu mendapatkan hari libur. Pada hari-hari besar yang ditetapkan oleh pemerintah, regu yang dijadwalkan untuk bertugas diwajibkan untuk bekerja, yang akan dihitung sebagai lembur dan mendapatkan kompensasi tambahan. Setiap regu dipimpin oleh seorang kepala shift yang bertanggung jawab untuk mengoordinasi dan mengawasi aktivitas anggota regu tersebut.

Jadwal kerja untuk masing-masing regu shift diatur sedemikian rupa untuk memastikan kelancaran dan keselamatan dalam operasional pabrik, dengan jam kerja yang dibagi menjadi tiga shift berbeda dalam satu hari, yang dirinci sebagai berikut:

Tabel 4.4 Jadwal kerja regu *shift*

Regu	Hari ke-														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
A	I	I	I	L	III	III	III	L	II	II	II	L	I	I	I
B	II	II	L	I	I	I	L	III	III	III	L	II	II	II	L
C	III	L	II	II	II	L	I	I	I	L	III	III	III	L	II
D	L	III	III	III	L	II	II	II	L	I	I	I	L	III	III
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A	L	III	III	III	L	II	II	II	L	I	I	I	L	III	III
B	I	I	I	L	III	III	III	L	II	II	II	L	I	I	I
C	II	II	L	I	I	I	L	III	III	III	L	II	II	II	L
D	III	L	II	II	II	L	I	I	I	L	III	III	III	L	II

Keterangan :

1, 2, 3 dst. = Hari ke-

I, II, III = Shift ke-

A, B, C, D = Tim kerja

L = Libur

4.4.5 Jumlah Penggolong Pekerja dan Sistem Penggajian

4.4.5.1 Jumlah Pekerja dan Sistem Gaji

a. Gaji harian

Gaji harian diberikan kepada karyawan yang belum tetap atau sistem kontrak.

b. Gaji bulanan

Gaji bulanan adalah gaji yang diberikan kepada pekerja tetap berdasarkan hierarki dan keahlian sebagaimana peraturan perusahaan.

c. Gaji lembur

Gaji lembur adalah gaji yang diberikan kepada pekerja ketika mendapat jatah lembur atau melebihi batas jam kerja yang telah ditentukan oleh perusahaan

Tabel 4.5 Jumlah Tenaga Kerja dan Sistem Penggajian

No.	Jabatan	Jumlah	Gaji	Gaji
			(/orang/bulan)	(/tahun)
1	Dewan Komisaris	1	Rp48.000.000	Rp540.000.000
2	Direktur Utama	1	Rp28.000.000	Rp300.000.000
3	Direktur Teknik dan Produksi	1	Rp28.000.000	Rp300.000.000
4	Direktur Keuangan dan Umum	1	Rp28.000.000	Rp300.000.000
5	Ka. Bag. Proses dan Utilitas	1	Rp15.000.000	Rp144.000.000
6	Ka. Bag. Pemeliharaan, listrik dan instrumentasi	1	Rp15.000.000	Rp144.000.000
7	Ka. Bag. Penelitian, Pengembangan dan Pengendalian Mutu	1	Rp15.000.000	Rp144.000.000
8	Ka. Bag. Keuangan	1	Rp15.000.000	Rp144.000.000
9	Ka. Bag. Pemasaran	1	Rp15.000.000	Rp144.000.000
10	Ka. Bag. Kesehatan,	1	Rp15.000.000	Rp144.000.000

No.	Jabatan	Jumlah	Gaji	Gaji
			(/orang/bulan)	(/tahun)
	Keselamatan Kerja dan Lingkungan			
11	Ka. Bag. Administrasi dan Sumber Daya Manusia	1	Rp15.000.000	Rp144.000.000
12	Ka. Bag. Umum dan Keamanan	1	Rp15.000.000	Rp144.000.000
13	Ka. Sek. Proses	1	Rp12.000.000	Rp108.000.000
14	Ka. Sek. Utilitas	1	Rp12.000.000	Rp108.000.000
15	Ka. Sek. Pemeliharaan dan Bengkel	1	Rp12.000.000	Rp108.000.000
16	Ka. Sek. Listrik dan Instrumentasi	1	Rp12.000.000	Rp108.000.000
17	Ka. Sek. Penelitian dan Pengembangan	1	Rp12.000.000	Rp108.000.000
18	Ka. Sek. Laboratorium dan Pengendalian Mutu	1	Rp12.000.000	Rp108.000.000
19	Ka. Sek. Kesehatan dan Keselamatan Kerja	1	Rp12.000.000	Rp108.000.000
20	Ka. Sek. Unit Pengolahan Limbah	1	Rp12.000.000	Rp108.000.000
21	Ka. Sek. Tata Usaha	1	Rp12.000.000	Rp108.000.000
22	Ka. Sek. Personalia	1	Rp12.000.000	Rp108.000.000
23	Ka. Sek. Hubungan Masyarakat	1	Rp12.000.000	Rp108.000.000

No.	Jabatan	Jumlah	Gaji	Gaji
			(/orang/bulan)	(/tahun)
24	Ka. Sek. Keamanan	1	Rp10.000.000	Rp84.000.000
25	Karyawan Proses	4	Rp9.000.000	Rp288.000.000
26	Karyawan Utilitas	4	Rp9.000.000	Rp288.000.000
27	Karyawan Pemeliharaan dan Bengkel	4	Rp9.000.000	Rp288.000.000
28	Karyawan Listrik dan Instrumentasi	4	Rp9.000.000	Rp288.000.000
29	Karyawan Penelitian dan Pengembangan	8	Rp9.000.000	Rp576.000.000
30	Karyawan Laboratorium dan Pengendalian Mutu	6	Rp9.000.000	Rp432.000.000
31	Karyawan Kesehatan dan Keselamatan Kerja	6	Rp9.000.000	Rp432.000.000
32	Karyawan Unit Pengolahan Limbah	4	Rp9.000.000	Rp288.000.000
33	Karyawan Tata Usaha	4	Rp7.000.000	Rp192.000.000
34	Karyawan Personalia	4	Rp7.000.000	Rp192.000.000
35	Karyawan Hubungan Masyarakat	4	Rp7.000.000	Rp192.000.000
36	Karyawan Keamanan	6	Rp7.000.000	Rp288.000.000
37	Operator	55	Rp7.000.000	Rp2.640.000.000
38	Dokter	2	Rp10.000.000	Rp168.000.000

No.	Jabatan	Jumlah	Gaji	Gaji
			(/orang/bulan)	(/tahun)
39	Perawat	4	Rp6.000.000	Rp144.000.000
40	Sopir	8	Rp7.000.000	Rp384.000.000
41	<i>Cleaning service</i>	6	Rp6.000.000	Rp216.000.000
Total		157	Rp1.401.000.000	Rp16.812.000.000

4.4.5.2 Penggolongan Jabatan Pekerja

Dalam membangun sebuah pabrik, perlu dilakukan klasifikasi jabatan secara terstruktur, karena hal ini berkaitan erat dengan keberlanjutan pabrik dalam menghadapi persaingan di pasar. Berikut adalah rincian dari klasifikasi jabatan tersebut:

Tabel 4.6 Penggolongan Jabatan

Jabatan	Penggolongan
Dewan komisaris	S-2
Direktur utama	S-2
Kepala bagian	S-1
Kepala seksi	S-1
Perawat	D-3/D-4/S-1
Operator	D-3/D-4/S-1
Satpam	SMA
Supir	SMA
<i>Cleaning service</i>	SMP/SMA

4.4.6 Fasilitas dan Hak Karyawan

Sebagai upaya untuk meningkatkan kesejahteraan, seluruh karyawan pabrik menerima tidak hanya gaji bulanan tetapi juga jaminan sosial melalui berbagai fasilitas dan tunjangan yang mendukung kesejahteraan mereka. Tunjangan tersebut meliputi:

a. Hak Karyawan

- Tunjangan berupa gaji pokok yang disesuaikan dengan golongan karyawan yang bersangkutan.
- Tunjangan jabatan berdasarkan posisi atau jabatan yang diemban.
- Tunjangan lembur bagi karyawan yang bekerja di luar jam kerja reguler, dihitung sesuai jumlah jam kerja tambahan.
- Tunjangan hari raya keagamaan.
- Tunjangan jabatan.
- Tunjangan untuk istri dan anak.
- Tunjangan kesehatan di rumah sakit serta tunjangan kematian.

b. Fasilitas Karyawan

1) Poliklinik

Demi meningkatkan produktivitas, kesehatan karyawan merupakan elemen yang sangat berpengaruh. Oleh karena itu, perusahaan menyediakan fasilitas poliklinik yang dikelola oleh tenaga medis profesional, seperti dokter dan perawat, untuk mendukung kesehatan karyawan.

2) Pakaian Kerja

Untuk mencegah perbedaan antar karyawan, perusahaan menyediakan dua set pakaian kerja per tahun serta masker sebagai alat pelindung yang diperlukan untuk keselamatan dalam bekerja.

3) Konsumsi Makanan dan Minuman

Perusahaan menyediakan makanan dan minuman sekali sehari, yang dikelola oleh perusahaan katering pilihan.

4) Koperasi

Koperasi karyawan tersedia sebagai sarana untuk memudahkan layanan simpan pinjam dan memenuhi berbagai kebutuhan, baik kebutuhan pokok maupun perlengkapan rumah tangga.

5) Tunjangan Hari Raya (THR)

Setiap tahun, menjelang Idul Fitri, karyawan mendapatkan THR sebesar satu bulan gaji sebagai dukungan kesejahteraan tambahan.

6) Jamsostek

Jamsostek memberikan perlindungan asuransi jiwa dan kecelakaan bagi karyawan, menjamin keamanan mereka dalam menjalankan tugas.

7) Fasilitas Tempat Ibadah

Untuk memenuhi kebutuhan spiritual, perusahaan menyediakan tempat ibadah agar karyawan dapat menjalankan kewajiban agama dan kegiatan keagamaan lainnya.

8) Transportasi

Perusahaan memberikan tunjangan transportasi harian guna mengurangi beban finansial karyawan, yang dibayarkan bersamaan dengan gaji bulanan.

9) Hak Cuti

- Cuti Tahunan: Setiap karyawan berhak mendapatkan cuti tahunan selama 12 hari. Cuti yang tidak digunakan dalam satu tahun tidak dapat diakumulasikan ke tahun berikutnya.

- Cuti Bersama: Cuti bersama diberikan setiap tahun untuk karyawan non-shift pada perayaan Idul Fitri selama 4 hari kerja.

- Cuti Melahirkan: Karyawan wanita yang akan melahirkan berhak atas cuti selama 6 bulan dengan gaji penuh, dengan ketentuan jarak kelahiran minimal dua tahun.

- Libur Nasional: Karyawan non-shift tidak bekerja pada hari libur nasional, sementara karyawan shift yang bertugas pada hari tersebut dihitung sebagai lembur.

- Lembur: Karyawan dapat bekerja lembur atas persetujuan kepala bagian jika ada kebutuhan mendesak.

10) Pengobatan

- Kecelakaan Kerja: Perusahaan menanggung biaya pengobatan untuk karyawan yang mengalami kecelakaan kerja sesuai peraturan perundang-undangan.

- Non-Kecelakaan Kerja: Pengobatan untuk penyakit yang tidak terkait kecelakaan kerja disesuaikan dengan kebijakan internal perusahaan.

BAB V

UTILITAS

Unit utilitas dalam sebuah pabrik kimia adalah bagian penting yang bertanggung jawab menyediakan berbagai sumber daya penunjang bagi proses produksi utama. Fasilitas ini mencakup penyediaan energi, air, udara bertekanan, uap, serta pengolahan dan distribusi bahan-bahan penting lainnya yang tidak termasuk langsung dalam reaksi kimia utama, namun sangat diperlukan untuk menjaga kelancaran dan keselamatan operasi. Air pendingin, misalnya, digunakan untuk menjaga suhu optimal dalam reaktor, sedangkan uap (*steam*) menyediakan panas yang dibutuhkan dalam proses pemanasan. Udara bertekanan digunakan untuk pengoperasian berbagai instrumen dan sistem kontrol otomatis. Selain itu, unit ini juga bertugas mengolah limbah agar tidak mencemari lingkungan, seperti pengolahan air limbah sebelum dibuang ke lingkungan eksternal. Dengan mengintegrasikan berbagai komponen ini, unit utilitas memastikan seluruh proses produksi dapat berlangsung secara aman, efisien, dan sesuai dengan standar lingkungan yang berlaku. Berikut ini adalah penyedia utilitas di pabrik DOTP :

1. Unit penyediaan dan pengolahan air
2. Unit pembangkit *steam*
3. Unit pembangkit listrik
4. Unit penyedia udara tekan
5. Unit penyedia bahan bakar
6. Unit pengolahan limbah

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

5.1.1 Unit Penyediaan Air

Kebutuhan air untuk keperluan industri dapat dipenuhi dengan memanfaatkan sumber air dari sungai atau laut, yang kemudian diolah menjadi air bersih. Proses pengolahan ini dirancang sesuai dengan kondisi awal dan kandungan bahan dari air baku tersebut. Pengolahan air baku sangat penting untuk mencegah terjadinya fouling pada peralatan pemanas serta menjamin standar kebersihan pada air yang dikonsumsi. Di pabrik ini, air baku diperoleh dari Sungai Cibanten, yang umumnya mengandung zat pengotor baik yang terlarut maupun tidak terlarut. Proses pengolahan air dilakukan melalui metode fisika dan kimia. Untuk pabrik DOTP ini, air baku yang diambil dari Sungai Cibanten dengan mempertimbangkan beberapa hal berikut ini yaitu :

1. Sungai Cibanten terletak cukup dekat dengan lokasi pabrik, memungkinkan akses yang lebih efisien terhadap sumber air. Kedekatan geografis ini memberikan keuntungan dalam hal pengangkutan dan distribusi, serta mengurangi biaya operasional terkait pemanfaatan air.
2. Kandungan air dari sungai ini memerlukan proses pengolahan yang lebih sederhana dibandingkan air laut, yang biasanya mengandung garam dan mineral dalam jumlah tinggi. Oleh karena itu, biaya pengolahan menjadi lebih rendah, mengurangi anggaran produksi dan meningkatkan efisiensi ekonomi pabrik.
3. Kontinuitas aliran sungai yang konsisten memberikan jaminan ketersediaan air yang stabil sepanjang tahun. Hal ini sangat penting untuk mendukung proses

produksi yang berkesinambungan, karena pasokan air yang teratur menjamin kelancaran operasi pabrik tanpa risiko gangguan pasokan.

Proses pengolahan air baku di pabrik ini dirancang untuk menyediakan pasokan air yang memadai guna memenuhi kebutuhan berbagai proses produksi dan unit operasional diantaranya :

1. Air domestik

Air domestik dalam konteks industri didefinisikan sebagai sumber air yang diperuntukkan bagi kebutuhan personal karyawan, meliputi konsumsi air minum, sanitasi toilet, serta fasilitas perumahan. Persyaratan kualitas air domestik harus memenuhi standar ketat yang mencakup parameter fisika dan kimia:

a. Parameter Kualitas Fisika:

- Temperatur harus berada di bawah suhu ambient
- Memiliki karakteristik visual jernih tanpa warna
- Bebas dari rasa dan bau yang mengganggu

b. Parameter Kualitas Kimia:

- Tidak mengandung senyawa organik maupun anorganik terlarut
- Bebas dari kontaminan beracun
- Memenuhi standar mikrobiologis dengan ketiadaan bakteri patogen

Berdasarkan (Sularso, 2000), alokasi air untuk perumahan yaitu 100-150 liter/orang/hari. Sedangkan, untuk air kantor kebutuhannya berada di angka 50-70 liter/orang/hari. Dengan komposisi tenaga kerja sebanyak 157 karyawan lalu pabrik mendirikan 15 rumah dengan masing-masing dihuni 6 orang, sehingga total kebutuhan air domestik sebesar :

Tabel 5.1 Kebutuhan Air Domestik

No.	Keperluan	Jumlah (kg/jam)
1	Kebutuhan air Perumahan	562,500
2	Kebutuhan air kantor	458,917
Total		1.020,417

2. Air pendingin

Sistem produksi air pendingin industri mengandalkan menara pendingin (*cooling tower*) sebagai komponen utama. Unit ini berperan dalam mendinginkan air melalui mekanisme pertukaran panas dengan udara atmosfer, sehingga air tersebut dapat digunakan kembali sebagai media pendingin dalam alat penukar kalor (*heat exchanger*). Secara operasional, air yang telah menyerap panas dari proses industri akan bersirkulasi kembali ke *cooling tower* untuk mengalami proses pendinginan secara komprehensif.

Dalam siklus ini, terjadi dua fenomena utama yang menyebabkan berkurangnya volume air:

1. Penguapan (*evaporative loss*) sebagai bagian integral dari mekanisme pendinginan
2. Kebocoran (*drift loss*) yang terjadi selama proses sirkulasi

Untuk mempertahankan kestabilan volume air dalam sistem, diperlukan penambahan air pengganti (*make-up water*) yang dihitung secara proporsional berdasarkan jumlah air yang hilang. Penyesuaian ini memastikan sistem dapat beroperasi secara kontinu dengan efisiensi yang optimal.

Air dipilih sebagai media pendingin karena faktor-faktor berikut ini yaitu :

a. **Ketersediaan Melimpah**

Air merupakan sumber daya alam yang mudah diperoleh dalam volume besar dengan biaya relatif rendah dibandingkan media pendingin lainnya.

b. **Kemudahan Pengolahan**

Memiliki sifat kimia yang stabil sehingga mudah diolah dan dikondisikan sesuai kebutuhan proses industri melalui berbagai metode treatment.

c. **Kapasitas Panas Tinggi**

Mampu menyerap dan melepas panas dalam jumlah besar per satuan volume (kapasitas panas spesifik $4,187 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$), menjadikannya sangat efisien.

d. **Stabilitas Volume**

Mempertahankan densitas relatif konstan dalam rentang suhu operasi industri (biasanya $20\text{-}50^\circ\text{C}$), mengurangi risiko fluktuasi sistem.

e. **Kompatibilitas Material**

Tidak bersifat korosif berlebihan terhadap kebanyakan material konstruksi peralatan industri ketika dikondisikan dengan tepat.

f. **Keamanan Lingkungan**

Bersifat ramah lingkungan dan mudah didaur ulang dalam sistem sirkulasi tertutup.

Dalam konteks spesifik pabrik DOTP, implementasi air sebagai media pendingin terutama diaplikasikan pada peralatan proses yang memerlukan kontrol temperatur presisi. Kebutuhan air pendingin pada pabrik DOTP adalah sebagai berikut :

Tabel 5.2 Kebutuhan Air Pendingin

No.	Nama Alat	Kode Alat	Jumlah (kg/jam)
1	<i>Condenser 1</i>	CD-01	86.946,409
2	<i>Cooler 1</i>	CL-01	60.426,956
3	<i>Cooler 2</i>	CL-02	56.167,771
4	<i>Cooler 3</i>	CL-03	111.629,086
5	<i>Cooler 4</i>	CL-04	21.548,923
6	<i>Cooler 5</i>	CL-05	33.358,593
7	Reaktor	R-01	3.680,220
Total			373.757,960

Berdasarkan Evans, *Process Equipment Handbook vol II* , air pendingin

yang dibutuhkan untuk kebutuhan pabrik kimia sesungguhnya yaitu 12,5% dari kebutuhan massa air yang diperlukan, sehingga kebutuhan air pendingin menjadi 420.477,705 kg/jam.

3. Air untuk *steam*

Air umpan (*feedwater*) atau steam dalam suatu pabrik berfungsi sebagai media perpindahan panas.

Adapun persyaratan kualitas air umpan boiler meliputi:

1. Minimisasi potensi pembuihan (*foaming*)
2. Tidak membentuk endapan kerak (*scaling*) pada reboiler
3. Tidak bersifat korosif terhadap material pipa

Air yang digunakan sebagai media steam pada boiler harus memenuhi kriteria di atas. Ketidaksesuaian terhadap persyaratan tersebut dapat mengakibatkan kerusakan peralatan, sehingga diperlukan langkah pencegahan

untuk menghindari masalah seperti *scaling*, *fouling*, dan *foaming*. Kebutuhan *steam* untuk peralatan di pabrik DOTP disajikan secara rinci pada Tabel 5.3 berikut:

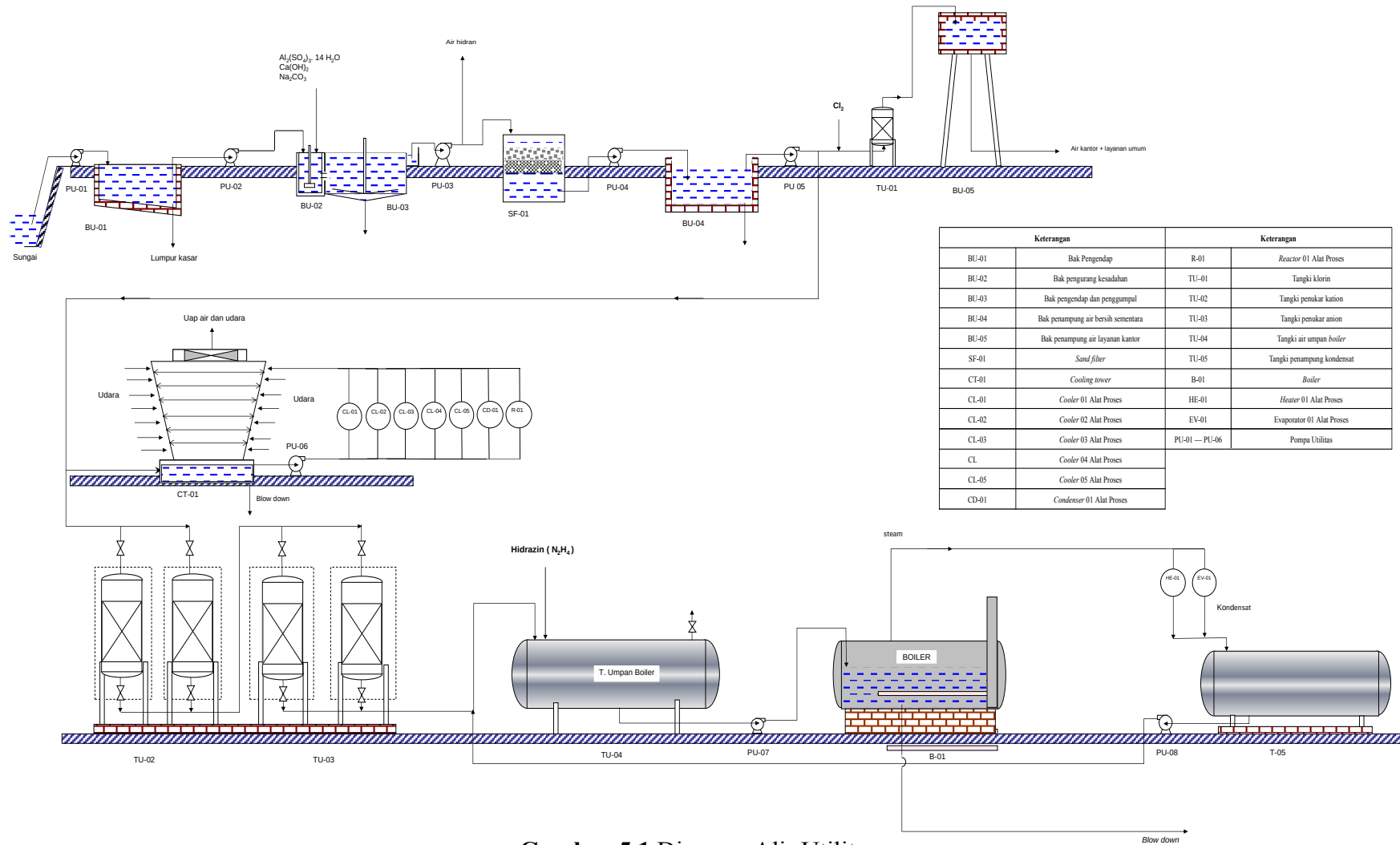
Tabel 5.3 Kebutuhan *Steam*

No.	Nama Alat	Kode Alat	Jumlah(kg/jam)
1	Evaporator	EV-01	930,575
2	<i>Heat Exchanger</i>	HE-01	7.983,842
Total			8.914,417

Kebutuhan *steam* diprediksi mencapai 10% dari *steam* yang diperlukan sehingga kebutuhan *steam* sesungguhnya yaitu 9.805,859 kg/jam.

4. Air layanan umum (*Service water*)

Estimasi kebutuhan air untuk keperluan fasilitas pendukung seperti bengkel, laboratorium, sistem pemadam kebakaran, dan fasilitas penunjang lainnya diperkirakan mencapai 5.700 kg/jam



Gambar 5.1 Diagram Alir Utilitas

5.1.2 Unit Pengolahan Air

Secara konvensional, kebutuhan air suatu pabrik dipenuhi melalui berbagai sumber akuatik seperti danau, sungai, akuifer (air sumur), atau bahkan sumber air laut. Dalam konteks perancangan pabrik DOTP ini, sumber air utama berasal dari aliran sungai yang berlokasi dalam jarak yang proporsional terhadap kompleks pabrik. Pemanfaatan air ini mencakup berbagai kebutuhan operasional termasuk tetapi tidak terbatas pada: pembangkitan steam, kebutuhan air domestik, sistem pendingin (*cooling water*), dan utilitas pendukung (*service water*). Pemilihan sungai sebagai sumber air didasarkan pada pertimbangan strategis, terutama kedekatan lokasi dan ketersediaan dua aliran sungai yang meminimalisir risiko defisit pasokan air.

Air sungai sebagai sumber air mentah (*raw water*) memerlukan serangkaian proses treatment sebelum dapat dimanfaatkan secara optimal. Tahapan pengolahan air tersebut meliputi:

1. Penghisapan

Air yang dipompa dari Sungai Cibanten akan dipompa dan dialirkan menuju bak pengendap awal untuk mengendapkan lumpur yang terikut.

2. Bak Pengendap awal

Bak pengendap awal (*primary settling tank*) pada proses pengolahan air sungai untuk berfungsi untuk memisahkan partikel padatan tersuspensi (seperti lumpur, pasir, dan kotoran kasar) dari air baku melalui proses sedimentasi secara gravitasi. Dengan memperlambat aliran air, partikel-partikel berat akan mengendap di dasar bak, sehingga air yang keluar menjadi lebih jernih dan

mengurangi beban pada unit pengolahan berikutnya, seperti filtrasi atau koagulasi-flokulasi. Selain itu, bak pengendap awal juga membantu mengurangi kandungan bahan organik dan partikel yang dapat menyumbat atau merusak peralatan pabrik, sehingga meningkatkan efisiensi dan umur pakai sistem pengolahan air secara keseluruhan. Bak ini memiliki waktu tinggal selama 24 jam.

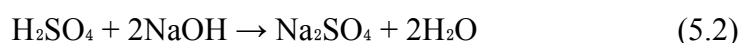
3. Bak Pencampur Cepat

Setelah air masuk bak pengendap selanjutnya akan menuju bak pencampur cepat. Bak pencampur cepat (*rapid mixing tank*) pada pengolahan air sungai untuk utilitas pabrik berfungsi untuk mencampurkan bahan kimia koagulan dan netralisasi—seperti NaOH (natrium hidroksida), $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ (tawas/alumunium sulfat), dan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (kalsium hidroksida/kapur sirih)—secara merata dan cepat dengan air baku. Proses pencampuran yang intensif ini bertujuan menetralkan muatan negatif partikel koloid (seperti lumpur dan zat organik), memfasilitasi pembentukan *flok* (gumpalan partikel) melalui destabilisasi partikel halus, serta mengoptimalkan proses pengendapan di bak berikutnya. NaOH berperan dalam menyesuaikan pH air, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ sebagai koagulan utama untuk menggumpalkan kotoran, sementara $\text{Ca}(\text{OH})_2$ membantu pengendapan dan mengurangi kesadahan air. Efisiensi bak ini sangat krusial untuk mengurangi turbiditas dan mempermudah proses filtrasi atau sedimentasi selanjutnya. Reaksi yang terjadi pada bak pencampur cepat yaitu :



Gumpalan koloid $\text{Al}(\text{OH})_3$ akan mengalami sedimentasi bersama dengan partikel pengotor lainnya yang tersuspensi dalam air, sementara keberadaan H_2SO_4 menyebabkan penurunan pH air. Formasi flok optimal terjadi pada rentang pH 6,5-7,5.

Penambahan aluminium sulfat menurunkan pH sistem, sehingga diperlukan netralisasi menggunakan natrium hidroksida (NaOH). Reaksi netralisasi antara NaOH dan H_2SO_4 dapat dituliskan sebagai berikut:



Bak pencampur cepat / RMT memiliki waktu tinggal 1 menit, jika terlalu lama dibiarkan maka dapat menyebabkan reaksi lanjutan yang selanjutnya dapat menimbulkan masalah baru yaitu penggumpalan.

4. *Clarifier*

Clarifier berfungsi sebagai bak sedimentasi lanjutan yang dirancang untuk memisahkan *flok* (gumpalan partikel halus hasil koagulasi-flokulasi) dari air secara efisien melalui pengendapan gravitasi. Dengan aliran lambat dan zona pengendapan yang terkontrol, *clarifier* memungkinkan partikel padatan mengendap di dasar bak, sementara air jernih mengalir ke atas untuk diproses lebih lanjut (seperti filtrasi atau desinfeksi). Selain itu, beberapa *clarifier* dilengkapi dengan *scraper* (pengikis) untuk mengumpulkan lumpur yang terendap ke bagian bawah, sehingga memudahkan pembuangan *sludge*. Fungsi utamanya adalah mengurangi turbiditas, padatan tersuspensi (TSS), dan beban polutan sebelum air masuk ke tahap akhir pengolahan, sehingga memastikan kualitas air

yang memenuhi standar kebutuhan pabrik. *Clarifier* pada unit utilitas ini memiliki waktu tinggal 5 jam (Powell,1954).

5. *Sand Filter*

Saringan pasir disini berfungsi untuk menyaring kotoran yang masih terbawa air dari *clarifier*. Proses ini bertujuan untuk mengeliminasi kandungan mineral terlarut (seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , dan kation lainnya) melalui mekanisme pertukaran ion menggunakan media resin. Unit filtrasi ini terdiri dari bak balok vertikal berlapis-lapis yang mengandung:

1. Antrasit sebagai lapisan atas
2. *Coarse sand* (pasir kasar) sebagai lapisan *intermediate*
3. *Fine sand* (pasir halus) sebagai lapisan penyaring utama
4. *Activated carbon* sebagai adsorben untuk CO_2 terlarut dan senyawa organik sebelum proses demineralisasi

Proses regenerasi sistem dilakukan ketika kapasitas adsorpsi *sand filter* mencapai titik jenuh. Tahapan utama regenerasi meliputi mekanisme *backwashing* yang melibatkan tiga proses kritis yaitu : penerapan aliran balik dengan debit yang secara signifikan lebih tinggi daripada kondisi operasi normal, pelepasan *suspended matters* yang terakumulasi pada permukaan media filter, serta untuk mengembalikan karakteristik filtrasi optimal. Setelah proses *backwashing* selesai, air hasil filtrasi awal secara khusus dialirkan menuju unit pembuangan selama periode tertentu dengan dua tujuan utama: membersihkan sistem dari *residual solid* dan membuang media filtrasi yang telah mengalami kontaminasi berat.

Pada tahap pengolahan lanjutan air filtrat, dilakukan dua intervensi kimia penting diantaranya, injeksi larutan kaustik melalui sistem distribusi pipa untuk menstabilkan pH air produk sebelum proses penyimpanan interim, dan aplikasi kaporit ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) sebagai agen disinfeksi yang berfungsi untuk menginaktivasi mikroorganisme patogen yang berpotensi terdapat dalam sistem.

6. Bak Air Bersih

Setelah melalui seluruh tahap filtrasi, air yang telah memenuhi standar kualitas ditampung dalam bak penampungan air bersih (*clean water storage tank*). Air hasil olahan ini kemudian didistribusikan melalui jaringan pipa terpisah untuk memenuhi berbagai kebutuhan operasional pabrik, termasuk sebagai *service water* untuk utilitas umum, air domestik untuk fasilitas sanitasi, *make-up cooling tower* untuk mengkompensasi kehilangan air akibat evaporasi pada sistem pendingin, serta sebagai bahan baku *demineralization plant* (*demin plan*) dalam produksi air ultra murni. Sistem distribusi ini dilengkapi dengan *flow meter* dan *control valve* untuk memastikan alokasi air yang optimal, sekaligus menjaga kualitas air sesuai spesifikasi teknis masing-masing penggunaan melalui sistem kontrol yang ketat.

7. Deklorinasi

Tangki deklorinasi merupakan komponen kritis dalam sistem pengolahan air yang berfungsi untuk menghilangkan senyawa klorin (Cl_2) residu melalui proses adsorpsi menggunakan media filter khusus. Keberadaan unit ini sangat penting mengingat sifat klorin yang bersifat toksik dan berpotensi menimbulkan risiko kesehatan bagi pekerja serta berdampak negatif terhadap lingkungan.

Proses deklorinasi dilakukan dengan melewatkan air yang mengandung residu klorin melalui lapisan media filter yang secara selektif mampu mengikat molekul klorin.

8. *Cooling tower*

Cooling tower merupakan suatu unit operasi yang berfungsi untuk menghasilkan air dingin melalui proses pertukaran panas, dimana air tersebut selanjutnya digunakan sebagai media pendingin bagi berbagai peralatan proses. Prinsip kerja *cooling tower* didasarkan pada konversi air panas menjadi air dingin dengan memanfaatkan udara ambien sebagai medium pendingin utama. Air umpan yang masuk ke dalam *cooling tower* bersumber dari tangki penyimpanan air bersih dengan kondisi awal bersuhu sekitar 30°C, kemudian didistribusikan ke bagian atas menara melalui sistem distribusi khusus. Dalam perjalanannya menuju bagian bawah menara, air mengalami proses penguapan (evaporasi) melalui saluran-saluran yang tersedia. Fenomena ini disertai dengan pelepasan panas laten yang menyebabkan sebagian massa air berubah fase menjadi uap dan terlepas ke atmosfer. Untuk menjaga keseimbangan sistem, diperlukan penambahan *make-up water* yang diambil dari sumber yang sama yaitu tangki penampung air bersih guna mengkompensasi kehilangan air akibat penguapan. Besarnya laju alir *make-up water* dibuat setara dengan jumlah air yang menguap, sehingga tercapai kondisi kesetimbangan termodinamika yang stabil antara udara dan air dalam sistem. Pada akhir proses, air yang telah mengalami pendinginan mencapai suhu keluaran sebesar 26°C.

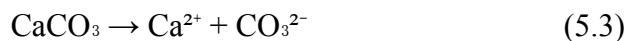
9. Demineralisasi

Air yang digunakan sebagai media proses dan umpan boiler dalam produksi steam water tidak hanya memerlukan kriteria kebersihan konvensional, melainkan harus mencapai tingkat kemurnian tinggi dengan ketiadaan kandungan mineral terlarut. Kondisi ini mengharuskan dilakukannya proses demineralisasi sebagai tahap pemurnian akhir. Secara teknis, demineralisasi merupakan teknologi pengolahan air khusus yang dirancang untuk eliminasi total komponen mineral melalui mekanisme pertukaran ion, dengan target reduksi kontaminan mineral ionik hingga mencapai konsentrasi mendekati nol. Proses ini diimplementasikan melalui sistem resin penukar ion yang terdiri dari unit penukar kation dan penukar anion yang bekerja secara sinergis.

a. *Kation Exchanger*

Kation Exchanger merupakan unit pemroses air yang berisi media resin khusus yang berfungsi untuk melakukan pertukaran ion positif (*kation*) yang terlarut dalam air dengan ion hidrogen (H^+). Proses ini menghasilkan efluen yang mengandung *anion* sisa proses dan ion H^+ bebas. Mekanisme pertukaran ion tersebut dapat dijelaskan melalui reaksi-reaksi kimia berikut:

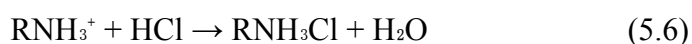
1. Reaksi dekomposisi senyawa terlarut:



2. Reaksi pertukaran kation dengan resin:



Setelah periode operasi tertentu, kapasitas resin akan mencapai titik jenuh sehingga diperlukan proses regenerasi menggunakan asam klorida (HCl). Reaksi regenerasi resin berlangsung sebagai berikut:

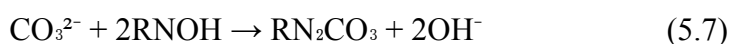


Proses ini mengembalikan kapasitas pertukaran ion resin dengan melepaskan kation-kation yang terikat dan menggantinya kembali dengan ion H^+ .

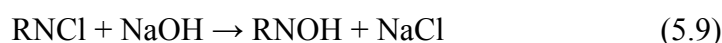
b. *Anion Exchanger*

Setelah melalui tahap kation *exchanger*, air yang mengandung anion dan ion H^+ dialirkan menuju *anion exchanger*. Unit ini berfungsi untuk mengeliminasi ion negatif (*anion*) yang terlarut dalam air melalui mekanisme pertukaran ion dengan resin basa. Proses ini melibatkan reaksi kimia berikut:

1. Reaksi pertukaran *anion*:



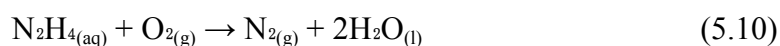
2. Reaksi regenerasi resin:



Dalam operasionalnya, kapasitas resin *anion exchanger* akan mengalami kejenuhan setelah periode tertentu. Untuk memulihkan kemampuannya, dilakukan regenerasi menggunakan larutan natrium hidroksida (NaOH) dengan konsentrasi tertentu. Proses regenerasi ini mengkonversi kembali resin ke bentuk hidroksil (RNOH) yang aktif, sekaligus melepaskan garam-garam terlarut hasil pertukaran ion.

10. Deaerasi

Air hasil demineralisasi yang akan digunakan sebagai umpan *boiler* harus melalui tahap deaerasi untuk menghilangkan gas-gas terlarut, terutama oksigen (O_2) yang berpotensi menyebabkan korosi pada sistem *boiler*. Korosi tidak hanya memperpendek umur peralatan, tetapi juga menimbulkan risiko keselamatan yang signifikan akibat penipisan material yang dapat berujung pada kegagalan struktural dan potensi ledakan ketika tekanan operasi melampaui spesifikasi desain. Untuk mengatasi hal ini, dilakukan injeksi senyawa hidrazin (N_2H_4) sebagai oksigen *scavenger* melalui reaksi kimia :



Proses ini dirancang untuk memenuhi standar ketat dengan konsentrasi oksigen keluaran deaerator tidak melebihi 0,007 ppm. Mekanisme deaerasi mencakup tiga tahap utama: pembebasan gas terlarut melalui pemanasan dan pengadukan, netralisasi sisa oksigen secara kimiawi, serta pencegahan pembentukan deposit melalui eliminasi senyawa pengotor. Aspek keselamatan yang kritis meliputi pemantauan berkelanjutan terhadap konsentrasi oksigen, pengendalian ketat dosis hidrazin untuk menghindari *overtreatment*, dan verifikasi rutin efektivitas deaerasi melalui analisis kimia. Sistem ini tidak hanya menjamin kualitas air umpan *boiler* yang optimal, tetapi juga memitigasi risiko korosi dan kegagalan peralatan akibat degradasi material, sekaligus memastikan efisiensi dan keandalan operasional *boiler* dalam jangka panjang. Setelah melalui proses penghilangan gas terlarut, air hasil deaerasi siap dialirkan sebagai umpan *boiler* (*boiler feed water*) menuju sistem *boiler*, dimana terjadi konversi air menjadi

steam melalui proses pemanasan. Untuk mempertahankan kualitas air dalam sistem, dilakukan prosedur *blowdown* secara periodik guna mengontrol akumulasi suspended solid dengan cara membuang sebagian volume air. Kompensasi terhadap kehilangan air akibat *blowdown* ini dilakukan melalui penambahan *make up water* untuk menjaga keseimbangan volume dan memastikan kontinuitas proses produksi steam.

5.2 Unit Pembangkit Steam

Unit ketel uap (*boiler*) dirancang khusus untuk memenuhi kebutuhan steam pada proses produksi DOTP dengan spesifikasi berikut ini :

Kapasitas : 10.786,445 kg/jam

Jenis : *Water tube boiler*

Jumlah : 1 buah

Sistem ini menerapkan *water tube boiler* tunggal yang dilengkapi dengan berbagai fitur pengaman otomatis dan *economizer* sebagai komponen integral. Sebelum masuk ke *boiler*, air dari *water treatment utility* menjalani pretreatment kimia di tangki umpan *boiler* untuk mengontrol parameter kritis seperti kandungan silika, O₂, Ca, dan Mg, serta mempertahankan pH dalam rentang 10,5-11,5 guna mengoptimalkan performa sekaligus meminimalkan korosivitas.

Proses pemanasan awal langsung terjadi di tangki umpan boiler dengan bahan bakar solar untuk menaikkan suhu air hingga 180°C. Dalam ruang bakar, energi termal dari burner dipindahkan melalui sistem lorong dan pipa api, dimana air menyerap panas hingga mencapai titik didih dan membentuk uap bertekanan

29,992 bar. Uap ini kemudian dialirkan ke steam header untuk distribusi ke HE-01 dan EV-01.

Dengan pertimbangan faktor keamanan, sistem dirancang dengan *over design* 20%, menghasilkan kebutuhan air teoritis 10.786,445 kg/jam. Dalam operasi nyata, 85% air kondensat dapat direklamasi, sementara 15% berupa *make-up water* untuk mengkompensasi:

- *Blowdown boiler* (10%) untuk kontrol kualitas air
- Kehilangan melalui *steam trap* (5%)

Berdasarkan kalkulasi teknis, kebutuhan aktual *make-up water* mencapai 980.586 kg/jam setelah memperhitungkan faktor *over design*.

5.3 Unit Pembangkit Listrik

Pasokan listrik utama pabrik DOTP disediakan oleh PLN, sedangkan pasokan listrik cadangan dihasilkan oleh generator internal pabrik ketika terjadi gangguan pada distribusi listrik dari PLN lokal. Pengaturan ini bertujuan untuk menjamin kontinuitas pasokan daya listrik walaupun terjadi interupsi dari jaringan PLN. Generator yang diaplikasikan merupakan tipe arus bolak-balik (AC) dengan alasan sebagai berikut:

- a. Kapasitas daya listrik yang dibangkitkan tergolong tinggi.
- b. Memiliki fleksibilitas dalam penyesuaian tegangan sesuai kebutuhan operasional.

Energi listrik yang dibangkitkan oleh generator bersumber dari rotasi poros engkol yang digerakkan oleh energi termal hasil pembakaran bahan bakar

solar. Spesifikasi teknis generator yang diimplementasikan dalam fasilitas pabrik ini meliputi :

Kapasitas : 1.258,688 kW

Jenis : *AC Generator*

Jumlah : 1

Berikut adalah uraian detail mengenai kebutuhan listrik pabrik DOTP yang mencakup komponen-komponen berikut:

a. Kebutuhan Listrik untuk Alat Proses

Tabel 5.4 Kebutuhan Listrik Alat Proses

Alat	Kode Alat	Daya	
		Hp	kWatt
<i>Belt Conveyor</i>	BC-01	3	2,237
<i>Bucket Elevator</i>	BE-01	7,5	5,593
Pompa 01	P-01	2	1,491
Pompa 02	P-02	100	74,571
Pompa 03	P-03	5	3,729
Pompa 04	P-04	0,5	0,373
Pompa 05	P-05	0,5	0,373
Pompa 06	P-06	100	74,571
<i>Mixer</i>	M-01	10	7,457
Reaktor	R-01	25	18,643
<i>Decanter</i>	DC-01	125	93,214
Total		378,500	282,252

b. Kebutuhan Listrik untuk Alat Utilitas

Tabel 5.5 Kebutuhan Listrik Alat Utilitas

Alat	Kode Alat	Daya	
		Hp	kWatt
Pompa 01	PU-01	5	3,729
Pompa 02	PU-02	1,5	1,119
Pompa 03	PU-03	3	2,237
Pompa 05	PU-05	10	7,457
Pompa 06	PU-06	40	29,828
Pompa 07	PU-07	0,5	0,373
Kompresor	CP-01	0,5	0,373
<i>Cooling tower</i>	CT-01	40	29,828
<i>Rapid mixing tank</i>	RMT-01	0,5	0,373
<i>Clarifier</i>	CR-01	1,5	1,119
Total		102,500	76,435

Jadi, total kebutuhan motor penggerak = 358,688 kW

c. Kebutuhan listrik alat kontrol

Diperkirakan kebutuhan listrik untuk alat kontrol yaitu 25 % dari total kebutuhan motor penggerak sebesar 89,672 kW.

d. Kebutuhan listrik untuk penerangan, laboratorium, kantor, dan bengkel

Diperkirakan kebutuhan listrik untuk penerangan, laboratorium, kantor dan bengkel mencapai 700 kW.

Total kebutuhan listrik pada pabrik DOTP sebagai berikut :

Tabel 5.6 Kebutuhan Listrik Total Pabrik DOTP

No	Keperluan	Kebutuhan (kW)
1	<i>Power plant</i>	282,252
2	Utilitas	76,435
3	Alat Kontrol	89,672
4	Penerangan, laboratorium, kantor, dan bengkel	700
Total		1.148,359

5.4 Unit Penyedia Udara Tekan

Di fasilitas utilitas ini, udara bertekanan diperlukan untuk mengoperasikan instrumen kontrol yang berfungsi sebagai aktuator peralatan kendali berbasis sistem pneumatik. Tekanan operasional udara instrumen yang diterapkan sebesar 20 psig (Kern, 1965). Proses pembangkitan udara bertekanan diawali dengan pengambilan udara atmosfer menggunakan blower kemudian dialirkan melalui filter udara untuk eliminasi partikel padatan tersuspensi. Udara yang telah melalui proses filtrasi dengan laju alir 1 m³/jam kemudian dikompresi untuk meningkatkan tekanannya dari kondisi atmosferik menjadi 40 psig. Udara bertekanan yang masih mengandung kandungan lembab residual selanjutnya dialirkan melalui tangki silika gel untuk proses dehumidifikasi menggunakan media penyerap silika sehingga diperoleh udara kering. Udara kering tersebut kemudian ditampung dalam vessel bertekanan. Total kebutuhan udara instrumen terhitung sebesar 0,562 m³.

5.5 Unit Penyedia Bahan Bakar

Unit ini dirancang untuk menyuplai bahan bakar yang dimanfaatkan pada boiler serta generator. Bahan bakar yang dipakai berupa solar dengan konsumsi sebesar 674,709 L/jam untuk boiler sedangkan untuk generator diperkirakan 50% dari kebutuhan boiler yaitu 337,355 L/jam.

5.6 Unit Pengolahan Limbah

Terdapat limbah cair dari pabrik DOTP ini dari hasil buangan dekanter yaitu air sebanyak 1594,204 kg/jam lalu ada zat yang larut yaitu *para toluic acid* sebanyak 18,493 kg/jam dan *tetrabutyl titanate* (TBT) sebanyak 0,267 kg/jam. Jadi, kadar *paratoluic acid* yaitu sebesar 11.600 mg/L sedangkan untuk TBT yaitu 167 mg/L.

Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan (Permen LHK) No. P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Industri, beberapa parameter yang perlu diperhatikan adalah:

- pH (6–9)
- *Total Suspended Solids* (TSS)
- *Biological Oxygen Demand* (BOD) maksimal 50 mg/L
- *Chemical Oxygen Demand* (COD) maksimal 100 mg/L
- Total fenol maksimal 1 mg/L
- Zat berbahaya tertentu (logam berat, senyawa organik persistens).

Berdasarkan analisis diatas maka limbah perlu diolah lebih lanjut karena melebihi ambang batas baku mutu lingkungan. Metode yang akan digunakan untuk mengolah limbah tersebut sebelum dibuang ke lingkungan yaitu :

a. Proses Biodegradasi

Proses biodegradasi bertujuan mengurai senyawa organik (asam p-toluat dan butanol) menjadi CO_2 dan H_2O menggunakan mikroba. Filtrat hasil hidrolisis TBT dan limbah asam p-toluat diolah melalui pengolahan aerobik (lumpur aktif/biofilter) dengan kondisi operasi: MLSS 2000–4000 mg/L, waktu tinggal 12–24 jam, dan oksigen terlarut (DO) 2–4 mg/L yang dipertahankan menggunakan aerator/diffuser. Mikroba seperti *Pseudomonas putida* (pengurai asam p-toluat) dan *Rhodococcus* sp. (pengurai butanol) digunakan untuk meningkatkan efisiensi degradasi. Pemantauan parameter COD, BOD, dan pH dilakukan secara berkala dengan target akhir COD < 100 mg/L dan BOD < 50 mg/L sesuai Permen LHK No. P.68/2016.

b. Adsorpsi Karbon Aktif

Proses adsorpsi menggunakan karbon aktif bertujuan untuk menyisihkan senyawa organik residual yang tidak terdegradasi melalui proses biologis. Tahapan pertama melibatkan pengaturan pH limbah hingga mencapai kisaran 6–8 untuk menciptakan kondisi optimal adsorpsi. Selanjutnya, karbon aktif diaplikasikan melalui kolom adsorpsi dengan dosis berkisar antara 5–20 gram per liter limbah, disertai waktu kontak selama 30–60 menit. Setelah mencapai titik jenuh, karbon aktif dipisahkan dari limbah menggunakan *sand filter* atau membran. Karbon bekas pakai dapat diregenerasi melalui proses pemanasan pada suhu 300–400°C.

5.7 Spesifikasi Alat Utilitas

Tabel 5.7 Spesifikasi pompa pada unit utilitas

Kode	PU-01	PU-02	PU-03	PU-04	PU-05	PU-06
Fungsi	Memompa air sungai ke bak pengendap awal	Memompa air dari bak pengendapan awal menuju bak pencampur cepat	Memompa air dari <i>clarifier</i> menuju saringan pasir	Memompa air dari bak air bersih menuju bak air minum	Memompa air dari menara pendingin menuju alat proses yaitu CL-01, CL-02, CL-03, CL-04, CL-05, CD-01, R-01	Memompa air dari dari tangki umpan <i>boiler</i> menuju <i>boiler</i>
Tipe	Pompa sentrifugal	Pompa sentrifugal	Pompa sentrifugal	Pompa sentrifugal	Pompa sentrifugal	Pompa sentrifugal
<i>Impeller</i>	<i>Mixed flow impeller</i>	<i>Radial flow impeller</i>	<i>Mixed flow impeller</i>	<i>Mixed flow impeller</i>	<i>Mixed flow impeller</i>	<i>Mixed flow impeller</i>
Jumlah	1	1	1	1	1	1
<i>Suction</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Stage</i>	2	1	1	2	1	1
Bahan konstruksi	Baja Komersial	Baja komersial	Baja Komersial	Baja Komersial	Baja Komersial	Baja komersial

Kode	PU-01	PU-02	PU-03	PU-04	PU-05	PU-06
Suhu (°C)	26°C	26°C	26°C	26°C	26°C	26°C
Tekanan (atm)	1	1	1	1	1	1
Viskositas (kg/m.s)	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Instalasi	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal
Spesifikasi						
Kapasitas (m ³ /s)	0,0179	0,01708	0,0163	0,0154	0,117	0,00301
Kecepatan linear (m/s)	1,066	1,114	1,145	1,127	1,411	0,975
Kecepatan spesifik (rad)	0,122	0,167	0,104	0,839	0,135	0,742
Jenis aliran	<i>Turbulent flow</i>	<i>Turbulent flow</i>	<i>Turbulent flow</i>	<i>Turbulent flow</i>	<i>Turbulent flow</i>	<i>Turbulent flow</i>
Ukuran pipa						
Dioptr (in)	5,741	5,616	5,494	5,354	13,370	2,572

Kode	PU-01	PU-02	PU-03	PU-04	PU-05	PU-06
ID (in)	5,761	5,761	5,501	5,501	13,376	2,635
OD (in)	6,625	6,625	6,625	6,625	14	2,875
NPS (in)	6	6	6	6	14	2,5
<i>Schedule number</i>	80 XS , 80S	80 XS , 80S	120	120	20	10S
Kekasaran relatif	0,000312	0,000312	0,000312	0,00033	0,00013	0,0007
Faktor friksi	0,0176	0,0176	0,0178	0,0179	0,0145	0,0216
Luas aliran (m ²)	0,0168	0,0168	0,0153	0,0153	0,0907	0,00352
Kecepatan putar (rpm)	178,6	28500	178,6	178,6	178,6	2850
Efisiensi motor (%)	83	80	81	85,3	87	80
<i>Power motor (Hp)</i>	4,309	1,266	2,396	8,289	36,799	0,485

Kode	PU-01	PU-02	PU-03	PU-04	PU-05	PU-06
<i>Power motor standar (Hp)</i>	5	1,5	3	10	40	0,5
Rencana pemipaan						
<i>Pipa lurus (m)</i>	100	100	200	300	500	30
<i>Kontraksi (ft)</i>	7,5	7,5	7,5	7,5	16	3
<i>Elbow (ft)</i>	35	35	35	35	18	15
<i>Valve(ft)</i>	185	185	185	185	400	75
<i>Check valve(ft)</i>	40	40	40	40	99	16
<i>Ekspansi (ft)</i>	18	18	18	18	39	6
<i>Le HE (ft)</i>	0	0	0	0	23	0
<i>T joint (ft)</i>	0	0	0	0	39	0

Kode	PU-01	PU-02	PU-03	PU-04	PU-05	PU-06
<i>Head</i> karena friksi (m)	1,379	1,257	2,330	2,886	3,600	1,280
<i>Head</i> beda tekanan(m)	0	0	0	0	0	38,424
<i>Head</i> potensial (m)	10	2	4	21	13	4,5
<i>Head</i> kinetik (m)	0,058	0,0526	0,0574	0,0512	0,0855	0,0374
<i>Head</i> pompa (m)	11,437	3,310	6,388	23,937	16,687	44,241
NPSH (<i>net positive suction head</i>) (m)	0,545	10,499	8,435	8,488	9,438	9,494
Harga (\$)	200,317.900	30,202.780	26,774.358	200,317.900	52,895.680	17,142.119

Tabel 5.8 Spesifikasi tangki pada unit utilitas

Tangki	TU-01	TU-02	TU-03	TU-04	TU-05	TU-06	TU-07	TU-08
Fungsi	Menghilangkan mineral yang masih terkandung dalam air dan sebagai pertukaran kation	Menghilangkan mineral yang masih terkandung dalam air dan sebagai pertukaran anion	Melarutkan NaCl untuk regenerasi penukar kation	Melarutkan NaOH untuk regenerasi penukar kation	Menyimpan air umpan <i>boiler</i>	Menampung kondensat dari alat proses HE-01 dan EV-01	Menghilangkan uap air yang masih terkandung dalam udara	Menampung Udara tekan
Waktu operasi (hari)	7	7	7	7	0,333	0,0417	7	0,0833
Fase	Cair	Cair	Cair	Cair	Cair	Cair	Padat	Gas
Jumlah tangki	2	2	1	1	1	1	2	1
Suhu(°C)	30	30	30	30	30	30	30	30
Tekanan (atm)	1	1	1	1	1	1	1	3,948
Bahan	<i>Carbon</i>	<i>Carbon steel</i>	<i>Carbon steel</i>	<i>Carbon</i>	<i>Carbon</i>	<i>Carbon</i>	<i>Carbon</i>	<i>Carbon</i>

Tangki	TU-01	TU-02	TU-03	TU-04	TU-05	TU-06	TU-07	TU-08
konstruksi	<i>steel</i>			<i>steel</i>	<i>steel</i>	<i>steel</i>	<i>steel</i>	<i>steel</i>
Jenis tangki	Tangki silinder tegak	Tangki silinder tegak	Tangki silinder tegak	Tangki silinder tegak	Tangki silinder horizontal dilengkapi dengan deaerator	Tangki silinder horizontal dilengkapi deaerator	Tangki silinder tegak	Tangki silinder horizontal
Diameter (m)	0,567	0,388	0,489	0,335	1,589	1,712	0,628	1
Tinggi/Lebar (m)	0,680	0,465	0,489	0,335	4,768	5,136	0,628	3
Volume tangki (m ³)	0,143	0,0457	0,110	0,0294	9,461	11,826	0,194	0,562
Harga (\$)	1,795.841	979.550	1,469.324	816.291	17,305.377	21,876.609	2,285.616	4,081.457

Tabel 5.9 Spesifikasi bak pada unit utilitas

Bak	BU-01	BU-02	BU-03	BU-04	BU-05
Fungsi	Mengendapkan kotoran kasar yang terbawa oleh air sungai	Mencampur bahan kimia penggumpal dan pengurang kesadahan	Menggumpalkan dan mengendapkan kotoran koloid yang terbawa oleh air	Mengendapkan dan menampung air bersih dari saringan pasir	Menampung air untuk kantor pelayanan dan rumah tangga
Jenis	Bak persegi panjang	Bak silinder tegak dilengkapi dengan pengaduk	Bak silinder tegak dengan bentuk kerucut	Bak persegi panjang	Bak persegi panjang
Bahan	Beton bertulang	Baja Karbon	Beton bertulang dan dilapisi porselin	Beton bertulang	Beton bertulang
Spesifikasi					
Panjang (m)	37,344	-	-	20,446	5,665
Lebar (m)	12,448	-	-	6,815	1,888
Tinggi (m)	4	1	4,448	4	4
Diameter (m)	-	1	8,895	-	-
Jumlah	1	1	1	1	1
Harga (Rp)	6.850.000	4.590.000	7.260.000	6.850.000	6.850.000

5.7.1 Spesifikasi Alat

a. Spesifikasi *sand filter* (SF-01)

Nama alat dan Kode	: <i>Sand filter</i> (SF-01)
Fungsi	: Menyaring kotoran-kotoran yang masih terbawa oleh air dari <i>clarifier</i> .
Jenis	: Bak berbentuk kubus
Material	: <i>Spheres</i>
Ukuran pasir (<i>mesh</i>)	: 28

Spesifikasi

Volume (m ³)	: 11,583
Panjang (m)	: 3,082
Lebar (m)	: 3,082
Tinggi (m)	: 1,219
Harga	: Rp6.850.000

b. Spesifikasi *Cooling tower* (CT-01)

Nama Alat dan Kode	: <i>Cooling Tower</i> (CT-01)
Fungsi	: Memulihkan suhu air setelah digunakan dalam proses.
Jenis	: <i>Cooling Tower Induced Draft</i>

Spesifikasi

Laju alir volumetrik (m ³ /jam)	: 422,591
Panjang (m)	: 9,939

Tinggi (m)	: 10,668
Daya (Hp)	: 50
Jumlah	: 1
Harga	: \$ 2,107,827.559

c. Spesifikasi *Compressor* (CP-01)

Nama alat dan Kode	: <i>Compressor</i> (CP-01)
Fungsi	: Menekan udara sebanyak 1 Nm ³ /jam dari 1,01325 bar sampai 4 bar.
Jenis alat	: Kompresor sentrifugal

Spesifikasi

Rasio kompresi	: 4
Jumlah <i>stage</i>	: 1
<i>Suction and discharge pressure (bar)</i>	: 1 - 4
<i>Suction temperature (°C)</i>	: 30
<i>Discharge temperature (°C)</i>	: 177,329
Kapasitas (kmol/jam)	: 0,176
Tekanan operasi (bar)	: 4
Komposisi	: Udara
Kelembaban udara	: 70-80%
<i>Duty cycle</i>	: 100%
Power motor (Hp)	: 0,5
Harga	: \$ 489.775

d. Spesifikasi boiler (B-01)

Nama alat dan kode	: Boiler (B-01)
Fungsi	: Membuat <i>steam</i> untuk alat proses
Jenis	: <i>Fire tube boiler</i>

Spesifikasi

Suhu air (°C)	: 30
Tekanan (bar)	: 15,549
Suhu <i>steam</i> (°C)	: 199,85
Kapasitas (kg/jam)	: 9.805,859
Diameter luar (in)	: 2,875
Diameter dalam (in)	: 2,469
Panjang pipa (ft)	: 12
Luas perpindahan panas (m ²)	: 327,874
Jumlah pipa	: 4688

BAB VI

EVALUASI EKONOMI

Dalam perancangan suatu pabrik, evaluasi ekonomi perlu dilakukan guna menilai kelayakan pendirian pabrik tersebut, apakah bersifat menguntungkan atau justru berpotensi menimbulkan kerugian. Evaluasi ekonomi memegang peranan krusial dalam menganalisis kebutuhan modal investasi, besaran keuntungan yang dapat dicapai, periode pengembalian modal, serta titik impas antara total produksi dan laba yang diperoleh dalam pra-rancangan pabrik DOTP. Adapun beberapa faktor yang turut mempengaruhi hasil evaluasi ekonomi tersebut meliputi hal-hal berikut:

1. *Return On Investment* (ROI)
2. *Pay Out Time* (POT)
3. *Break Event Point* (BEP)
4. *Shut Down Point* (SDP)
5. *Discount Cash Flow Rate Of Return* (DCFR)

Sebelum dilakukan analisis terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi diatas, maka perlu adanya perkiraan terhadap beberapa hal:

1. Penentuan Modal Industri (*Total Capital Investment*), meliputi:
 - a. Modal Tetap (*Fixed Capital Investment*)
 - b. Modal Kerja (*Working Capital Investment*)
2. Penentuan Biaya Produksi Total (*Total Production Cost*), meliputi:
 - a. Biaya Pembuatan (*Manufacturing Cost*)
 - b. Biaya Pengeluaran Umum (*General Expenses*)

Untuk mengetahui titik balik, maka diperlukan beberapa perkiraan meliputi:

- a. Biaya Tetap (*Fixed Cost*)
- b. Biaya Tidak Tetap (*Regulated Cost*)
- c. Biaya Variabel (*Variable Cost*)

6.1 Perkiraan Harga Alat

Harga setiap peralatan dapat mengalami fluktuasi tergantung pada dinamika kondisi ekonomi. Oleh karena itu, diperlukan estimasi harga alat-alat proses produksi pada tahun pendirian pabrik, yakni 2029, dengan memanfaatkan indeks harga peralatan. Indeks harga pada tahun perencanaan, yaitu 2024, ditentukan melalui analisis regresi linier terhadap data indeks harga tahun-tahun sebelumnya, yang mana data tersebut diperoleh dari sumber *Chemical Engineering Plant Cost Index* (CEPCI). Hal ini dapat dilihat pada Tabel 6.1 berikut:

Tabel 6.1 Indeks Harga Alat

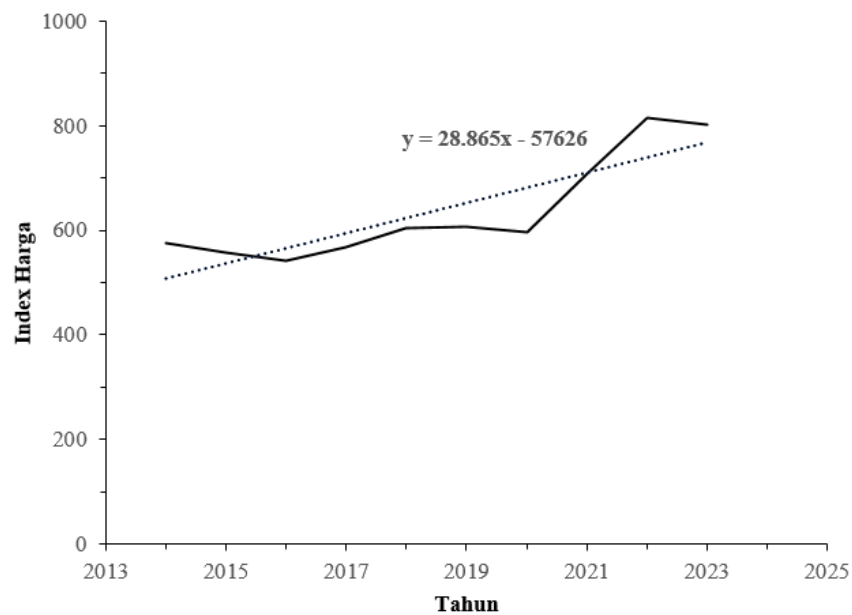
No	Tahun	Index
1.	2014	576,100
2.	2015	556,800
3.	2016	541,700
4.	2017	567,500
5.	2018	603,100
6.	2019	607,500
7.	2020	596,200
8.	2021	708,800

No	Tahun	Index
9.	2022	816,000
10.	2023	800,800
11.	2024	796,207
12.	2025	825,072
13.	2026	853,936
14.	2027	882,801
15.	2028	911,666
16.	2029	940,531

Berdasarkan Tabel 6.1 diatas, maka diperoleh persamaan regresi linear sebagai berikut:

$$Y = 28,865x - 57626 \quad (6.1)$$

Rencana pendirian pabrik DOTP dengan kapasitas pabrik 120.000 ton/tahun yaitu pada tahun 2029. Persamaan diatas disubstitusikan nilai x menjadi 2029 maka akan diperoleh maka harga indeks alat sebesar 940,531. Berikut ini merupakan grafik hubungan antara tahun dan indeks harga yang ditunjukkan pada Gambar 6.1.



Gambar 6.1 Grafik Indeks Harga vs Tahun

Untuk memperkirakan harga alat, ada dua persamaan pendekatan yang digunakan, Harga alat pada tahun pabrik didirikan dapat ditentukan berdasarkan harga pada tahun referensi dikalikan dengan rasio indeks harga (Newton & Aries, 1955).

$$Ex = Ey \frac{Nx}{Ny} \quad (6.2)$$

Dimana:

Ex : Harga pembelian pada tahun 2029

Ey : Harga pembelian pada tahun referensi 2014

Nx : Indeks harga pada tahun 2029

Ny : Indeks harga pada tahun referensi 2014

6.2 Dasar Perhitungan

Kapasitas pabrik	= 120.000 ton/tahun
Satu tahun operasi	= 330 hari
Umur Pabrik	= 10 Tahun
Tahun Pendirian pabrik	= 2029
Kurs mata uang	= 1 US \$ = Rp16.472 (Mei 2025)
Harga Bahan Baku	:
a. Asam Tereftalat	= Rp940.038.786.000 /tahun
b. 2-Etil Heksanol	= Rp2.964.299.943.000 /tahun
Harga Katalis	= Rp34.934.000 /tahun
Harga Produk	= Rp6.600.000.000.000 /tahun

6.3 Komponen Biaya

6.3.1 Modal (*Capital Investment*)

1. *Fixed capital investment*

Fixed capital investment adalah biaya yang diperlukan untuk mendirikan fasilitas-fasilitas yang ada di pabrik.

2. *Working capital investment*

Working capital investment adalah biaya yang diperlukan untuk pengoperasian suatu pabrik selama waktu tertentu.

6.3.2 Biaya Produksi (*Manufacturing cost*)

1. *Direct manufacturing cost* (DMC)

Direct manufacturing cost (DMC) adalah biaya pengeluaran yang berhubungan langsung dengan pembuatan produk seperti *raw material*, *labor*

cost, supervisory expend, maintenance cost, plant supplies cost, royalties and patents, dan cost of utilities.

2. *Indirect Manufacturing Cost (IMC)*

Indirect Manufacturing Cost (IMC) adalah biaya pengeluaran sebagai akibat dan bukan langsung karena operasi suatu pabrik.

3. *Fixed manufacturing cost (FMC)*

Fixed manufacturing cost (FMC) adalah biaya pengeluaran yang bersifat tetap, yang tidak dipengaruhi oleh tingkat produksi dan waktu atau pengeluaran ketika pabrik beroperasi maupun tidak beroperasi.

6.3.3 **Pengeluaran Umum (*General Expenses*)**

General Expense adalah biaya pengeluaran umum yang berkaitan dengan fungsi perusahaan dan tidak termasuk *manufacturing cost*.

6.4 **Analisis Kelayakan**

Analisa kelayakan perancangan pabrik dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui keuntungan yang diperoleh. Studi kelayakan ekonomi pabrik DOTP dapat ditinjau dari parameter-parameter ekonomi berikut:

6.4.1 ***Return on Investment (ROI)***

Return on investment adalah perkiraan keuntungan yang diperoleh setiap tahunnya, berdasarkan kecepatan pengembalian modal tetap yang diinvestasikan. Persamaan yang digunakan untuk menghitung percent *return of investment* yaitu sebagai berikut:

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

Keuntungan atau profit yang dihitung berdasarkan *annual sales* (S_a) dan *total manufacturing cost*. *Finance* akan dihitung sebagai komponen yang berisikan pengembalian hutang selama pembangunan pabrik. Pabrik dengan risiko rendah mempunyai minimum ROI *before tax* sebesar 11% sedangkan pada pabrik dengan risiko tinggi mempunyai minimum ROI *before tax* sebesar 44% (Aries Newton, 1955).

6.4.2 *Pay out Time (POT)*

Pay out time adalah waktu pengembalian modal yang dihasilkan berdasarkan keuntungan yang diperoleh. Perhitungan ini dilakukan dengan tujuan mengetahui pada tahun berapa modal investasi akan kembali. Persamaan yang digunakan untuk menghitung POT adalah:

$$POT = Fixed\ Capital \frac{Investment}{Keuntungan\ Tahunan + Depresiasi} \quad (6.4)$$

Pada pabrik dengan risiko rendah mempunyai nilai POT maksimal 5 tahun, sedangkan pabrik yang risiko tinggi mempunyai nilai POT maksimal 2 tahun.

6.4.3 *Break Even Point (BEP)*

Break even point adalah titik balik dimana pabrik tidak mengalami keuntungan maupun kerugian. Pada kondisi ini kapasitas produksi pada saat penjualan sama dengan total *cost*. Pabrik akan mengalami kerugian jika beroperasi dibawah nilai BEP, dan akan mengalami keuntungan apabila beroperasi diatas nilai BEP. Nilai BEP pada umumnya memiliki nilai berkisar antara 40-60% (Aries Newton, 1955). Persamaan yang digunakan untuk menghitung BEP adalah sebagai berikut:

$$BEP = \frac{(Fa+0,3Ra)}{(Sa-Va-0,7Ra)} \times 100\% \quad (6.5)$$

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

6.4.4 ***Shut Down Point (SDP)***

Shut down point (SDP) merupakan kondisi ketika suatu aktivitas produksi harus dihentikan secara sementara atau permanen. Penghentian ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk pertimbangan manajemen akibat ketidakekonomisan operasi atau tingginya *variable cost* yang tidak sebanding dengan pendapatan. Secara teoritis, dalam kurun waktu satu tahun, persentase kapasitas minimum pabrik harus mampu memenuhi target produksi yang telah ditetapkan. Apabila pabrik gagal mencapai kapasitas minimum tersebut, maka operasional pabrik perlu dihentikan. Hal ini disebabkan oleh besarnya biaya produksi yang harus dikeluarkan melebihi biaya tetap (*fixed cost*) serta biaya penutupan pabrik. Adapun persamaan yang digunakan untuk menentukan *shut down point* adalah sebagai berikut:

$$SDP = \frac{0,3Ra}{(Sa-Va-0,7Ra)} \times 100\% \quad (6.6)$$

6.4.5 ***Discounted Cash Flow Rate (DCFR)***

Discounted cash flow rate of return adalah perkiraan keuntungan yang diperoleh setiap tahunnya. Didasarkan atas investasi yang tidak kembali setiap

akhir tahun selama umur pabrik. Persamaan yang digunakan untuk menghitung DCFR adalah sebagai berikut:

$$(FC + WC)(1 + i)^n = C \sum_{n=0}^{n=n-1} (1 + i)^n + WC + SV \quad (6.7)$$

Keterangan:

$FC = \text{Fixed Capital}$

$WC = \text{Working Capital}$

$SV = \text{Salvage Value}$

$C = \text{Cash Flow}$ (keuntungan setelah pajak + depresi + *finance*)

$n = \text{Umur Pabrik}$

$i = \text{Nilai DCFR}$

6.5 Hasil Perhitungan

Pendirian Pabrik DOTP membutuhkan perencanaan keuangan dan analisis yang komprehensif untuk mengevaluasi kelayakan pendirian pabrik tersebut.

Tabel 6.2 *Physical plant cost*

No.	Jenis	Biaya (\$)	Biaya (Rp)
1	<i>Purchased Equipment cost</i>	3,717,481	21.217.855.000
2	<i>Delivered Equipment Cost</i>	8,098,482	2.290.206.000
3	Instalasi cost	786,909	4.404.510.000
4	Pemipaan	25,721	61.202.716.000
5	Instrumentasi	836,263	412.830.000
6	Insulasi	212,019	688.149.000
7	Listrik	10,427	171.765.000

No.	Jenis	Biaya (\$)	Biaya (Rp)
8	Bangunan	111,777,827	1.841.291.550.000
9	<i>Land & Yard Improvement</i>	6,070,621	100.000.000.000
Total		131,535,750	2.031.679.581.000

Tabel 6.3 *Direct plant cost (DPC)*

No.	<i>Type of Capital Investment</i>	Biaya (\$)	Biaya (Rp)
1	<i>Engineering and constructions</i>	26,307,150	406,335,916,000
2	<i>Physical plant cost (PPC)</i>	131,535,750	2.031.679.581.000
Total		157,842,900	2.438.015.497.000

Tabel 6.4 *Fixed capital investment*

No.	<i>Fixed capital</i>	Biaya (\$)	Biaya (Rp)
1	<i>Direct plant cost</i>	157,842,900	2.438.015.497.000
2	<i>Contractor's fee</i>	15,784,290	243.801.550.000
3	<i>Contingency</i>	23,676,435	365.702.325.000
Total		197,303,625	3.047.519.372.000

Tabel 6.5 *Direct manufacturing cost*

No.	<i>Type of Expenses</i>	Biaya (\$)	Biaya (Rp)
1	<i>Raw material</i>	237,040,965	3.904.723.663.000
2	<i>Labor</i>	1,020,593	16.812.000.000.
3	<i>Supervision</i>	153,089	2.521.800.000
4	<i>Maintenance</i>	13,811,254	213.326.356.000

No.	<i>Type of Expenses</i>	Biaya (\$)	Biaya (Rp)
5	<i>Plant Supplies</i>	2,071,688	31.998.953.000
6	<i>Royalty and patents</i>	4,006,610	66.000.000.000
7	<i>Utilities</i>	3,717,481	37.327.410.000
Total		247,590,220	4.272.710.182.000

Tabel 6.6 *Indirect manufacturing cost*

No.	<i>Type of Expenses</i>	Biaya (\$)	Biaya (Rp)
1	<i>Payroll overhead</i>	204,119	3.362.400.000
2	<i>Laboratory</i>	204,119	3.362.400.000
3	<i>Plant Overhead</i>	1,020,593	16.812.000.000
4	<i>Packing and shipping</i>	8,106,883	133.542.905.000
Total		9,535,713	157.079.705.000

Tabel 6.7 *Fixed manufacturing cost*

No.	<i>Type of Expenses</i>	Biaya (\$)	Biaya (Rp)
1	<i>Depreciation</i>	2,051,531	304.751.937.000
2	<i>Property taxes</i>	2,055,187	33.854.636.000
3	<i>Insurance</i>	205,153	30.475.194.000
Total		4,311,871	369.081.767.000

Tabel 6.8 *Manufacturing cost*

No.	<i>Type of Expenses</i>	Biaya (\$)	Biaya (Rp)
1	<i>Direct manufacturing cost (DMC)</i>	5,368,964	4.272.710.182.000

No.	<i>Type of Expenses</i>	Biaya (\$)	Biaya (Rp)
2	<i>Indirect manufacturing cost (IMC)</i>	9,535,713	157.079.705.000
3	<i>Fixed manufacturing cost (FMC)</i>	2,256,684	369.081.767.000
Total		7,625,648	4.798.871.654.000

Tabel 6.9 *Working capital*

No.	<i>Type of Expenses</i>	Biaya (\$)	Biaya (Rp)
1	<i>Raw material inventory</i>	19,753,414	325.393.639.000
2	<i>Inproses inventory</i>	11,554	7.271.018.000
3	<i>Product inventory</i>	635,471	399.905.971.000
4	<i>Extended credit</i>	1,270,941	799.811.942.000
5	<i>Available cash</i>	635,471	399.905.971.000
Total		22,306,851	1.932.288.541.000

Tabel 6.10 *General Expenses*

No.	<i>Type of Expenses</i>	Biaya (\$)	Biaya (Rp)
1	<i>Administration</i>	12,019,829	198.000.000.000
2	<i>Sales Expenses</i>	8,013,219	132.000.000.000
3	<i>Research</i>	10,016,524	165.000.000.000
4	<i>Finance</i>	692,063	286.338.955.000
Total		30,741,636	781.338.955.000

Tabel 6.11 *Total production cost*

No.	<i>Type of Expenses</i>	Biaya (\$)	Biaya (Rp)
1	<i>Manufacturing cost (MC)</i>	7,625,648	4.798.871.654.000
2	<i>General Expenses (GE)</i>	692,063	781.338.955.000
Total		8,317,711	5.580.210.609.000

Tabel 6.12 *Fixed cost*

No.	<i>Type of Expenses</i>	Biaya (\$)	Biaya (Rp)
1	<i>Depreciation</i>	2,051,531	304.751.937.000
2	<i>Property taxes</i>	2,055,186	33.854.636.000
3	<i>Insurance</i>	205,153	30.475.194.000
Total		4,311,870	369.081.767.000

Tabel 6.13 *Variable cost*

No.	<i>Type of Expenses</i>	Biaya (\$)	Biaya (Rp)
1	<i>Raw material</i>	237,040,964	3.904.723.663.000
2	<i>Packaging & shipping</i>	8,106,883	133.542.905.000
3	<i>Utility</i>	977,949	16.109.555.000
4	<i>Royalty and patents</i>	4,006,609	66.000.000.000
Total		250,132,407	4.120.376.123.000

Tabel 6.14 *Regulated cost*

No.	<i>Type of Expenses</i>	Biaya (\$)	Biaya (Rp)
1	Gaji karyawan	1,020,593	16.812.000.000
2	<i>Payroll overhead</i>	204,119	3.362.400.000
3	<i>Plant overhead</i>	1,020,593	16.812.000.000

No.	Type of Expenses	Biaya (\$)	Biaya (Rp)
4	<i>Supervision</i>	153,089	2.521.800.000
5	<i>Laboratorium</i>	204,119	3.362.400.000
6	<i>General Expenses</i>	692,063	781.338.955.000
7	<i>Maintenance</i>	1,436,072	213.326.356.000
8	<i>Plant supplies</i>	215,411	31.998.953.000
Total		4,946,058	1.069.534.864.000

6.6 Analisis Hasil Keuntungan

Total penjualan = Rp6.600.000.000.000

Total produksi = Rp5.717.545.907.000

Keuntungan sebelum pajak = Rp882.454.093.000

Pajak pendapatan = Rp441.227.000

Keuntungan setelah pajak = Rp882.012.866.000

6.7 Hasil Kelayakan Ekonomi

6.7.1 Return on Investment (ROI)

$$ROI = \frac{\text{Keuntungan}}{\text{Fixed Capital}} \times 100\%$$

ROI sebelum pajak = 26,066%

ROI setelah pajak = 26,053%

6.7.2 Pay Out Time (POT)

$$POT = \text{Fixed Capital} \frac{\text{Investment}}{\text{Keuntungan Tahunan} + \text{Depresiasi}}$$

POT sebelum pajak = 1,941 tahun

POT setelah pajak = 1,942 tahun

6.7.3 Break Even Point (BEP)

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

BEP = 43,361%

6.7.4 Shut Down Point (SDP)

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

SDP = 19,514%

6.7.5 Discounted Cash Flow Rate of Return (DCFR)

$$(FC + WC)(1 + 1)^n = C \sum_{n=0}^{n=n-1} (1 + 1)^n + WC + SV$$

Umur pabrik = 10 tahun

Fixed Capital Investment = Rp3.385.463.617.000

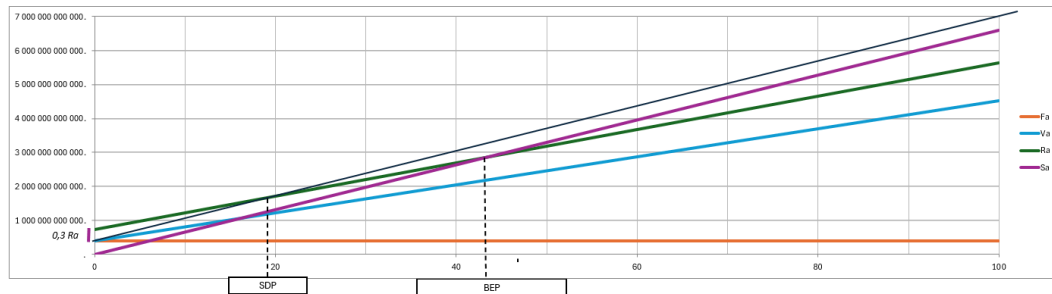
Working Capital = Rp1.974.455.702.000

Salvage Value = Rp1.941.291.550.000

Cash Flow = Rp2.418.724.226.000

DCFR = 45,628%

6.7.6 Analisis Kelayakan Pabrik



Gambar 6.2 Grafik evaluasi ekonomi

Tabel 6.15 Analisis evaluasi ekonomi

Kriteria	Terhitung	Persyaratan	Keterangan
ROI	Sebelum pajak: 26,066% Setelah pajak: 26,053%	<i>Minimum ROI before taxes :</i> <i>low risk industry = 11 %</i> <i>high risk industry = 44%</i>	Memenuhi
POT	Sebelum pajak: 1,941 tahun Setelah pajak: 1,942 tahun	<i>Maximum POT before taxes</i> <i>low risk industry = 5 th</i> <i>high risk industry = 2 th</i>	Memenuhi
BEP	43,361%	Berkisar antara 40-60%	Memenuhi
SDP	19,514%		
DCFR	45,628%	minimum lebih besar dari 1,5 bunga bank	Memenuhi

6.7.7 Analisis Resiko Pabrik

Analisis risiko pabrik bertujuan untuk menilai tingkat risiko suatu pabrik, apakah termasuk kategori rendah atau tinggi. Beberapa parameter yang digunakan dalam analisis tersebut antara lain:

Tabel 6.16 Analisis resiko pabrik

Kriteria	<i>Low</i>	<i>High</i>
Kondisi Operasi Suhu = 26 - 190°C Tekanan = 1 - 29,6 atm	✓	
Kebahayaaaan bahan baku	✓	
Kebahayaaaan bahan produk	✓	
Ketersediaan bahan baku	✓	

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan Pabrik DOTP dari Asam Tereftalat dan 2-Etil Heksanol dengan kapasitas 120.000 ton/tahun, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pendirian Pabrik DOTP dengan kapasitas 120.000 ton/tahun bertujuan untuk memenuhi kebutuhan DOTP dalam negeri serta membuka lapangan pekerjaan dan meningkatkan pertumbuhan ekonomi.
2. Pabrik DOTP didirikan di wilayah Kota Cilegon yakni di Jalan Sunan Kalijaga, Desa Gunung Sugih, Kecamatan Ciwandan, Kota Cilegon, Provinsi Banten dengan luas tanah keseluruhan 257.865 m² dan jumlah karyawan 157 orang.
3. Berdasarkan kondisi operasi dan spesifikasi bahan baku maupun produk, pabrik termasuk dalam golongan risiko rendah.
4. Dari segi evaluasi ekonomi serta analisis kelayakan, pabrik ini layak untuk didirikan dengan beberapa parameter kelayakan sebagai berikut:
 - a. *Return On Investment* (ROI) sebelum pajak = 26,066%
Return On Investment (ROI) setelah pajak = 26,053%
 - b. *Pay Out Time* (POT) sebelum pajak = 1,941 tahun
Pay Out Time (POT) setelah pajak = 1,942 tahunSyarat POT maksimum sebelum pajak untuk pabrik dengan resiko rendah adalah 5 tahun.

c. *Break Even Point* (BEP) = 43,361%

Nilai BEP untuk pabrik pada umumnya berada pada rentang 40%-60%.

d. *Shut Down Point* (SDP) = 19,514 %

e. *Discounted Cash Flow Rate* (DFCR) = 45,628%

Syarat minimum DCFR adalah diatas suku bunga pinjaman bank yaitu sekitar 1,5 kali suku bunga pinjaman bank.

Dengan pertimbangan hasil diatas, maka pabrik Pabrik DOTP dari Asam Tereftalat dan 2-Etil Heksanol menggunakan proses esterifikasi dengan kapasitas 120.000 ton/tahun layak dari aspek teknis dan menarik untuk dikaji lebih lanjut.

7.2 Saran

Perancangan suatu pabrik kimia diperlukan pemahaman konsep dasar yang dapat meningkatkan kelayakan pabrik untuk didirikan diantaranya sebagai berikut:

1. Optimasi dalam pemilihan alat proses, alat penunjang atau pendukung, serta bahan baku perlu diperhatikan sehingga keuntungan yang diperoleh dapat lebih dimaksimalkan.
2. Perancangan pabrik kimia tidak lepas dari produksi limbah, sehingga diharapkan dengan berkembangnya pabrik-pabrik kimia dapat lebih ramah lingkungan.
3. Produk DOTP dapat direalisasikan sebagai sarana untuk memenuhi kebutuhan di masa yang akan datang dengan jumlah yang semakin meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

- Altun, A., & Fellah, M. F. (2022). A mini-review on different synthesis reactions of dioctyl terephthalate (DOTP) and properties of DOTP plasticized PVC. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 28(7), 1001-1013.
- Anuar, N. F. S. K., Huyop, F., Ur-Rehman, G., Abdullah, F., Normi, Y. M., Sabullah, M. K., & Wahab, R. A. (2022). An Overview into Polyethylene Terephthalate (PET) Hydrolases and Efforts in Tailoring Enzymes for Improved Plastic Degradation. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(20), 12644. <https://doi.org/10.3390/ijms232012644>
- BPS. (2024). Data Impor dan Ekspor Dioktil Ortofatat. <https://www.bps.go.id/id/exim>, diakses pada 20 Mei 2024.
- Ceran, Ö. B., Şimşek, B., & Şara, O. N. (2020). Preparation and characterization novel dioctyl terephthalate blended polyvinyl alcohol-composite films incorporated with the graphene oxide and silver nanoparticles. *Polymer Testing*, 82, 106315. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2019.106315>
- CN Patent No. 102701984A. Pan Xuesong. (2012). Production method of dioctyl terephthalate.

CN Patent No. 104072365A. Chi Yinping. (2013). Preparation method of dioctyl terephthalate (DOTP).

Cook, S.,L., Tomlin CF, Turner PW. (2007). Production of di-(2- ethylhexyl) terephthalate. Patent and Trademark Office, Washington DC, U.S. Patent, 7276621.

David F. Cadogan and Christopher J. Howick. (2000). *Plasticizers*. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry 2000, Wiley-VCH, Weinheim.

Ding, J., Chen, J., Ji, Y., Ni, P., Li, Z., & Xing, L. (2014). Kinetics of alcoholysis of poly(ethylene terephthalate) in sub- and super-critical isooctyl alcohol to produce dioctyl terephthalate. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 106, 99–103. doi:10.1016/j.jaap.2014.01.005

Du, K., Lian, M. L., Fan, Z. F., & Li, Y. (2014). *Preparation of Terephthalic Acid (TPA) and Dioctyl Terephthalate (DOTP) by Anthracite's Alkali Oxygen Oxidation. Applied Mechanics and Materials*, 541-542, 95–99.

Dupont, L. A., & Gupta, V. P. (1993). Degradative transesterification of terephthalate polyesters to obtain DOTP plasticizer for flexible PVC. *Journal of Vinyl and Additive Technology*, 15(2), 100–104. doi:10.1002/vnl.730150210.

Firdovsi, S., T., Yagoub, M., & Parvin, A. E. (2007). Transesterification Reaction of Dimethyl Terephthalate by 2-Ethylhexanol in the Presence of

Heterogeneous Catalysts under Solvent-free Condition. Chinese Journal of Chemistry, 25(2), 246–249. doi:10.1002/cjoc.200790049

Google Patents. (2024). Paten Produksi DOTP. <https://patents.google.com/> , diakses pada 18 Juni 2024.

Gramly, R., M. (1980). Raw Materials Source Areas and “Curated” Tool Assemblages. American Antiquity, 45(4):823-833. doi: 10.2307/280152

Grymel, A., Latos, P., Matuszek, K., Erfurt, K., Barteczko, N., Pankalla, E., & Chrobok, A. (2020). Sustainable Method for the Synthesis of Alternative Bis(2-Ethylhexyl) Terephthalate Plasticizer in the Presence of Protic Ionic Liquids. Catalysts, 10(4), 457. doi:10.3390/catal10040457.

G.Z. Cao, D.Q. Xiao and X.Y. Zhu. (2010). Food Science. Vol. 31 p. 325.

Hammerl, A., & Klapötke, T. M. (2005). Nitrogen: Inorganic Chemistry Based in part on the article Nitrogen: Inorganic Chemistry by Harry H. Sisler which appeared in the Encyclopedia of Inorganic Chemistry, First Edition . *Encyclopedia of Inorganic and Bioinorganic Chemistry*. <https://doi.org/10.1002/9781119951438.eibc0147>

Han, X., Guo, Y., Cai, H., Li, X., Ding, J., Zhao, X., Zhou, H., Guo, W., Huang, W., & Zhao, T. (2022). Synergistic effects of a half-cage and cage structure phosphorus and nitrogen-containing POSS with tetrabutyl

titanate on flame retardancy of vinyl epoxy resins. *Journal of Applied Polymer Science*, 139(24). <https://doi.org/10.1002/app.52342>

KR Patent No. 101663586B1. Kim J., Jae-hoon., Moon J. (2016). Dioctyl Terephthalate manufacturing method increased reaction conversion rate through unique reaction temperature control.

Küçük, V. A., Uğur, M., Korucu, H., Şimşek, B., Uygunoğlu, T., & Kocakerim, M. M. (2020). Chemical resistance of dioctyl terephthalate pozzolanic-cement mortar: Comparative study with other waste polymers. *Construction and Building Materials*, 263, 120905. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120905>

Liao, TC, Jen JC, Lin HM. (2019). Dioctyl Terephthalate Plasticizer and Method of Enhancing Reaction Efficiency in Process for Producing the Same. Patent and Trademark Office, Washington DC, U.S. Patent, 20180362440.

Li, K, Jiang, J, Nie X, Xu Y. (2013). Pressure effect on the esterification of DOTP. *Guangdong Chemical Industry*, 14, 39-46.

Li, M., & Subramaniam, B. (2017). LCA for Green Chemical Synthesis—Terephthalic Acid. In *Elsevier eBooks* (pp. 387–396). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409548-9.10086-7>

Liu, F., Chen, J., Li, Z., Ni, P., Ji, Y., Meng, Q. (2013). Alcoholysis of poly(ethylene terephthalate) to produce dioctyl terephthalate with sub-

and super-critical isooctyl alcohol. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 99, 16-22.

Matuszek, K., Pankalla, E., Grymel, A., Latos, P., & Chrobok, A. (2019). Studies on the Solubility of Terephthalic Acid in Ionic Liquids. *Molecules*, 25(1), 80. <https://doi.org/10.3390/molecules25010080>

MSDS *Water*. (2000). *Material Safety Data Sheet of Water*. s.l.:Honeywell Research Chemicals.

Molot, L. A., & Dillon, P. J. (2023). Water as a Chemical Environment. In *Elsevier eBooks* (pp. 229–235). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-822701-5.00010-0>.

Newton, R. D., & Aries, R. S. (1955). *Chemical Engineering Cost Estimation*. McGraw-Hill Book Company.

Osborne, V.,H., Turner PW, Cook SL. (2010). Production of terephthalic acid di-esters. Patent and Trademark Office, Washington DC, U.S, Patent. 7799942.

Othmer, D., F., Kirk, R. E. (2005). *Encyclopedia of Chemical Technology*, Vol 22. 5th Edition, John Willey and Sons Ibc, New York.

Pauzi, N. N. P. N., Ramli, N. a. S., Chung-Hung, C., Hazmi, A. S. A., Ikram, R., & Jan, B. M. (2022). Non-catalytic esterification of palm fatty acid distillate with 2-ethyl hexanol for high purity production of

biolubricant ester. *Biofuels Bioproducts and Biorefining*, 16(6), 1583–1598. <https://doi.org/10.1002/bbb.2390>

Rajani, C., Raju, R. R., & Gowrisankar, M. (2023). Study of molecular interactions in binary mixtures of 2-ethyl-1-hexanol with primary alcohols (propan-1-ol, 2- propen-1-ol and 2- propyn-1-ol) at various temperatures. *Physics and Chemistry of Liquids*, 61(5), 291–311. <https://doi.org/10.1080/00319104.2023.2212395>.

Richardson, A. E., McPherson, S. D., Fasciano, J. M., Pauls, R. E., & Danielson, N. D. (2017). Micellar liquid chromatography of terephthalic acid impurities. *Journal of Chromatography A*, 1491, 67–74. doi:10.1016/j.chroma.2017.02.039.

SDS *2-Ethyl Hexanol*. (2023). *Safety Data Sheet of 2-Ethyl Hexanol*. s.1.:Loba Chemie.

SDS *Dioctyl Terephthalate*. (2024). *Safety Data Sheet of Dioctyl Terephthalate*. s.1.:Chemicalbook.

SDS *Nitrogen*. (2021). *Safety Data Sheet of Tetrabutyl Nitrogen*. s.1.:Airgas Company.

SDS *Terephthalic Acid*. (2024). *Safety Data Sheet of Terephthalic Acid*. s.1.:Thermo Fisher Scientific.

SDS *Tetrabutyl Titanate*. (2020). *Safety Data Sheet of Tetrabutyl Titanate*. s.1.:Actyllis.

Şimşek, B., Uygunoğlu, T., Korucu, H., & Kocakerim, M. M. (2018). Analysis of the effects of dioctyl terephthalate obtained from polyethylene terephthalate wastes on concrete mortar: A response surface methodology based desirability function approach application. *Journal of Cleaner Production*, 170, 437–445.

US Patent No. US10472317B2. Te-Chao Liao J., Chuang H., Lin. (2017). Dioctyl terephthalate plasticizer and method of enhancing reaction efficiency in process for producing the same.

US Patent No. 20150307435A1. Nicholaas A. D-M. (2013). Esterification Process.

US Patent No. 20200010399A1. Nandy, R., Patrick, B., dan Nesakumar, J. (2020). Method of Making Dialkyl Terephthalate from Terephthalic Acid.

Von Moody, Howard L. Needles, 10. (2004). - Polyvinyl Chloride Plastisol Coating, Editor(s): Von Moody, Howard L. Needles, In *Plastics Design Library, Tufted Carpet*, William Andrew Publishing, Pages 115-123.

Xu, L., Chen, Z., Huang, F., Zuo, Y., Shi, X., & Zhou, X. (2020). Corrosion Resistance of Waterborne Epoxy Resin Coating Cross-Linked by Modified Tetrabutyl Titanate. *Scanning*, 2020, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2020/1392385>

Yaws, C. L. (1999). *Chemical Properties Handbook*. New York: McGraw-Hill.

- Waly, E. S., Shehata, M., Reheem, A. A., Hanafy, H., & Ismaiel, Z. (2024). Nitrogen ion beam radiation induced modification on physico-chemical properties of poly (vinyl chloride)/ethylene vinyl acetate blends. *Arab Journal of Nuclear Sciences and Applications*, 57(2), 39–48. <https://doi.org/10.21608/ajnsa.2024.253603.1797>
- Wang, R., Zhang, Y., He, P., Yin, J., Yang, J., Liu, H., Cai, J., Shi, Z., Feng, X., Dijkstra, F. A., Han, X., & Jiang, Y. (2018). Intensity and frequency of nitrogen addition alter soil chemical properties depending on mowing management in a temperate steppe. *Journal of Environmental Management*, 224, 77–86. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.07.036>.
- Zeece, M. (2020). Chemical properties of water and pH. In *Elsevier eBooks* (pp. 1–36). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-809434-1.00001-3>.
- Zhang, H., & Zhang, X. T. (2014). Modification and Dyeing of Silk Fabric Treated with Tetrabutyl Titanate by Hydrothermal Method. *Journal of Natural Fibers*, 11(1), 25–38. <https://doi.org/10.1080/15440478.2013.824852>.
- Zhou, F., Cai, J., Mao, X., Wu, Z., & Nie, Y. (2022). Pseudo-homogeneous kinetic modeling of dioctyl terephthalate (DOTP) production by esterification of terephthalic acid and 2-ethylhexanol over tetrabutyl titanate catalyst. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 39(9), 2324–2333. <https://doi.org/10.1007/s11814-022-1161-9>.

Zhou, L., Xingmei, Lu., Zhaoyang, Ju., Liu, Bo., Haoyu, Yao., Junli, Xu., Qing, Zhou., Hu, Yufeng., Suojiang, Zhang. (2019). Alcoholysis of polyethylene terephthalate to produce dioctyl terephthalate using choline chloride-based deep eutectic solvents as efficient catalysts. *Green Chemistry*, 21(4):897-906. doi: 10.1039/C8GC03791D.

LAMPIRAN A

PERANCANGAN REAKTOR

PERANCANGAN REAKTOR

Jenis : Reaktor alir tangki berpengaduk

Fungsi : Mereaksikan asam tereftalat dan 2-etil heksanol menggunakan katalis tetrabutyl titanat untuk menghasilkan dioktil tereftalat.

Kondisi Operasi :

Suhu : 180°C

Tekanan : 29,6 atm

Reaksi : Eksotermis & *irreversible*

Konversi : 99%

Tujuan :

1. Menghitung neraca massa
2. Menghitung neraca panas
3. Perancangan reaktor

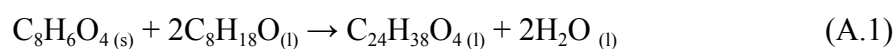
Alasan Penggunaan :

1. Reaksi berjalan pada fase cair-cair
2. Konstruksi sederhana
3. Sudah diterapkan diberbagai paten dan jurnal
4. Harga alat relatif lebih murah

5. Perawatan dan pembersihan alat lebih mudah

A. Mencari Harga Faktor Tumbukan dan Energi Aktivasi

Reaksi pembentukan DOTP ($C_{24}H_{38}O_4$) merupakan reaksi esterifikasi dengan bahan baku berupa asam tereftalat dan 2-etil heksanol sesuai dengan reaksi berikut ini :



Proses ini dilakukan dengan bantuan katalis TBT(Tetrabutyl Titanat) dengan tujuan untuk mempercepat proses reaksi. Reaksi esterifikasi dalam pembentukan DOTP ($C_{24}H_{38}O_4$) adalah reaksi orde dua (*non-elementer*). Produk yang dihasilkan terdiri dari DOTP dan air yang tidak bereaksi. Berdasarkan hasil eksperimen diperoleh nilai k :

Tabel A.1 Data kinetika reaksi pembentukan DOTP

Suhu (K)	Nilai k ($m^3/kmol.jam$)
453,15	47,1
463,15	94,2

(Zhou, F. et 2022)

Berdasarkan persamaan Arrhenius :

$$k = Ae^{-\frac{E}{RT}} \quad (A.2)$$

maka :

$$\ln(k) = \ln(A) - \left(\frac{E}{RT}\right) \quad (\text{A.3})$$

$$3,85 = \left(-\frac{E}{RT}\right) \times 0,00221 + \ln(A) \quad (\text{A.4})$$

$$4,55 = \left(-\frac{E}{RT}\right) \times 0,00216 + \ln(A) \quad (\text{A.5})$$

dengan mengeliminasi didapatkan :

$$\frac{E}{R} = 14547,5252 \quad (\text{A.6})$$

dengan nilai $R = 8,314 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol.K}}$

$$E = 120948,1233 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol.K}}$$

$$A = 35,9554$$

Menentukan Nilai Laju Reaksi

Persamaan reaksi pembentukan DOTP merupakan persamaan elementer yang mengikuti persamaan berikut :

$$-r_a = k C_a C_b \quad (\text{A.7})$$

keterangan :

1. $-r_a$ = laju reaksi pengurangan reaktan A, dalam hal ini adalah laju reaksi dari asam tereftalat.
2. k = nilai laju konstanta reaksi

3. C_A = konsentrasi asam tereftalat (kmol/jam)

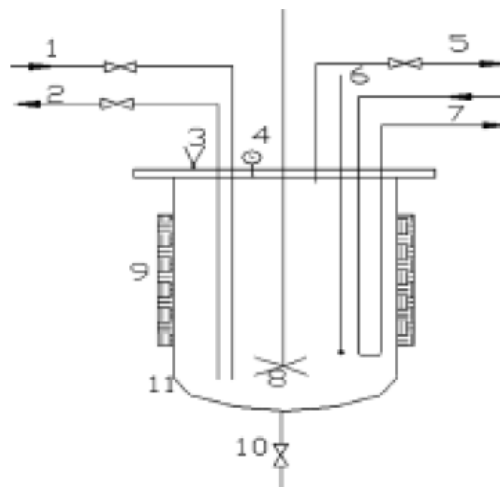
4. C_B = konsentrasi 2-etil heksanol (kmol/jam)

Tabel A.2 Data spesifikasi reaksi

Parameter	Range
Temperatur	453,15 K
Tekanan	29,6 atm
Kecepatan Pengadukan	64 rpm
Waktu reaksi	0,56 jam

(Zhou et al, 2022)

A. Mechanical Design



Gambar A.1 Design Reaktor

1. Model Matematis Perancangan Reaktor

1. Reaksi Orde 2
2. Reaksi *irreversible*

3. Isotermal
4. Pengadukan sempurna sehingga konsentrasi keluar reaktor sama dengan konsentrasi di dalam reaktor.
5. Kecepatan alir volumetrik (F_v) masuk reaktor sama dengan kecepatan alir volumetrik keluar reaktor
6. *Steady state*

2. Neraca Massa Reaktor

Massa masuk-Massa keluar $\pm$ Massa generasi = Massa akumulasi

$$F_{A0} - F_A - r_a x V_l = 0 \quad (\text{A.8})$$

$$F_A = F_{A0}(1 - X_a) \quad (\text{A.9})$$

maka :

$$F_{A0} - F_{A0}(1 - X_a) - r_a x V_l = 0 \quad (\text{A.10})$$

sehingga :

$$V_l = \frac{F_{A0} X_a}{-r_a} \quad (\text{A.11})$$

Diketahui :

$$F_{A0} = 38,954 \text{ kmol/jam}$$

$$x_A = 0,99$$

$$-r_a = 1,086 \text{ kmol/m}^3 \cdot \text{jam}$$

Sehingga diperoleh :

$$Vl = \frac{38,954 \frac{\text{kmol}}{\text{jam}} \times 0,99}{1,086 \frac{\text{kmol}}{\text{m}^3 \cdot \text{jam}}} \quad (\text{A.12})$$

$$Vl = 35,52 \text{ m}^3$$

3. Perancangan Reaktor

1. Menghitung densitas dan laju alir volumetrik

$$\text{Suhu} = 180^\circ\text{C}$$

$$= 453,15 \text{ K}$$

$$\rho = \frac{A}{B(1+1-\frac{T}{C})^D} \quad (\text{A.12})$$

Tabel A.3 Data densitas fase cair

Komponen	A	B	C	D	ρ reaktor (kg/m ³)
H ₂ O	5,459	0,30542	647,13	0,081	943,404
C ₈ H ₁₈ O	0,53870	0,26127	640,25	0,2773	696,028
C ₈ H ₈ O ₂	0,60059	0,23800	773	0,28571	1047,213
C ₁₆ H ₃₆ O ₄ Ti	0,77290	0,26324	638	0,2726	2586,894
C ₂₄ H ₃₈ O ₄	0,16318	0,23418	855	0,28571	875,591
C ₈ H ₆ O ₄	0,42685	0,181	1113	0,28571	1706,199

Density of liquid (Chemcad 2025)

Tabel A.4 Data densitas campuran fase cair

Komponen	Laju alir massa (kg/jam)	ρ (kg/m ³)	Laju alir volume (m ³ /jam)
H ₂ O	205,893	943,404	0,218
C ₈ H ₁₈ O	40972,230	696,028	58,866
C ₈ H ₈ O ₂	65,316	1047,213	0,062
C ₁₆ H ₃₆ O ₄ Ti	0,267	2586,894	0,000103
C ₂₄ H ₃₈ O ₄	0	875,591	0
C ₈ H ₆ O ₄	6466,317	1706,199	3,79
Total	47710,024	-	62,936

Jadi, rapat massa di dalam reaktor yaitu :

Laju alir massa total / Laju alir volume total =

$$\frac{47710,024 \text{ kg/jam}}{62,936 \text{ m}^3/\text{jam}} = 758,068 \text{ kg/m}^3$$

2. Menentukan Dimensi Reaktor

Perancangan reaktor ini menggunakan *overdesign* 10% sehingga volume reaktor menjadi :

$$V_I = 35,52 \text{ m}^3$$

$$\text{Overdesign} = 10 \% \text{ (Nahara A.,R., dkk., 2021)}$$

$$V_t = \text{Overdesign} \times V_I$$

$$= 110\% \times 35,42 \text{ m}^3$$

$$= 39,076 \text{ m}^3$$

Untuk volume 10,000 gal keatas, maka diameter tangki mengikuti standar dari buku Silla *Chemical industry* dengan diameter (D) yaitu 144 in = 3,66 m dan tinggi (Ht) yaitu 135 in = 3,43 m.

$$\begin{aligned} V_{\text{Bottom}} &= V_{\text{Head}} &= \frac{\pi}{24} D^3 \\ & &= \frac{3,14(3,66)^3}{24} \end{aligned}$$

$$= 6,41 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} V_{\text{Reaktor}} &= V_l + 2V_{\text{Head}} \\ &= 39,076 + 2 \times 6,41 \\ &= 48,333 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_t &= \frac{\pi}{4} D^2 \\ &= \frac{3,14(3,66)^2}{4} \\ &= 10,51 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Tinggi cairan dalam tangki tanpa head} = \frac{V_l}{A_t} = \frac{35,52 \text{ m}^3}{10,51 \text{ m}^2} = 3,38 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi cairan dalam tangki dengan head} = \frac{V_l - V_H}{A_t} = \frac{(35,52 - 6,41) \text{ m}^3}{10,51 \text{ m}^2} = 2,77 \text{ m}$$

3. Tebal dinding reaktor

$$ts = \frac{P_{gauge} \cdot Ro}{f_{all} \cdot \epsilon + 0,4 \cdot P_{gauge}} \quad (A.13)$$

(Megyesy, E.F,1997)

Dengan hubungan :

C'' : faktor korosi (m)

f_{all} : *allowable stress* (kPa)

P_{gauge} : Tekanan terukur (kPa)

Ro : jari-jari luar *vessel* (m)

ts : tebal dinding (m)

ϵ : efisiensi sambungan

a. Bahan konstruksi : *iron and steel SA-285 Grade C* (Megyesy ,1997)

b. *Allowable stress* :

f_{all} = 13800 Psi (Megyesy ,1997)

= 95151 kPa

c. Faktor korosi

Faktor korosi berkisar antara 0,13 mm sampai 0,5 mm/tahun (Peter et al, 2003. Dirancang faktor korosi sebesar 0,5 mm/tahun.

Umur reaktor = 10 tahun

$$C'' = \frac{0,5mm}{tahun} \times 10 \text{ tahun} \frac{0,001m}{mm} = 0,005 m$$

d. Efisiensi sambungan (e)

$$e = 0,85 \text{ (Megyesy ,1997)}$$

e. Tekanan perancangan

Tekanan perancangan = 1,5 x tekanan operasi (Megyesy ,1997)

$$P_{\text{design}} = 1,5 \times 29,6 \text{ atm} \times \frac{101,325 \text{ kPa}}{\text{atm}}$$

$$= 4498,83 \text{ kPa}$$

Tekanan lingkungan = 101,325 kPa

$$P_{\text{gauge}} = P_{\text{design}} - P_{\text{lingkungan}} \quad (\text{A.14})$$

$$P_{\text{gauge}} = (4498,83 - 101,325) \text{ kPa}$$

$$= 4397,505 \text{ kPa}$$

f. jari-jari luar,

$$R_o = \frac{D_o}{2} \quad (\text{A.15})$$

$$R_o = \frac{3,66 m}{2} = 1,83 m$$

$$\text{Jadi, tebal dinding (ts)} = \frac{4397,505 \text{ kPa} \times 1,83 m}{95151 \text{ kPa} \times 0,85 + 0,4 \times 4397,505} + 0,005 m$$

$$= 0,1023 \text{ m}$$

$$= 4 \text{ in}$$

Dipilih tebal standar yaitu 3 in (Brownel and Young, 1959)

4. *Head*

Pemilihan jenis *head* berdasarkan tekanan operasi. Untuk tekanan operasi diatas 15 bar maka *head* yang digunakan yaitu berjenis *ellipsoidal head* (Towler at al, 2008).

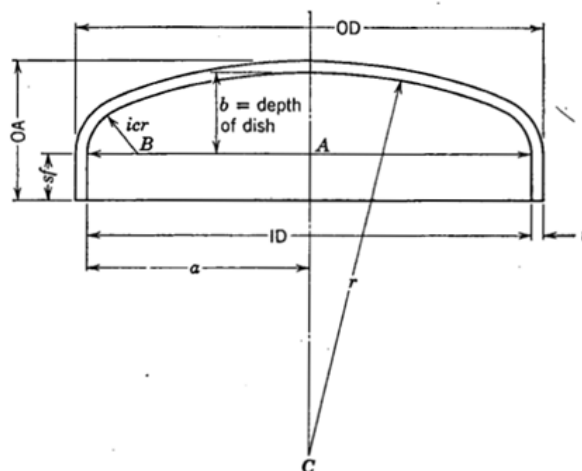
Diketahui :

- a. Diameter luar (Do) = 144 in = 3,658 m
- b. Tebal standar = 3 in = 0,0762 m
- c. Jari-jari kelengkungan (r) = 132 in = 3,353 m (Brownell and Young, 1959)
- d. Jari-jari kelengkungan internal (icr) = 9 in = 0,229 m (Brownell and Young, 1959)

5. *Straight flange (sf)*

Untuk *thickness* 3 in maka *straight flange* berkisar antara 1,5 sampai 4,5 in (Brownell and Young, 1959). Dipilih *straight flange* 4,5 in atau 0,1143 m.

sketsa :



Gambar A.2 Sketsa *straight flange*

Keterangan :

- a. OA = Tinggi head (m)
- b. icr = Jari-jari kelengkungan pojok
- c. b = Kedalaman (m)
- d. sf = *straight flange* (m)
- e. AB = $\frac{ID}{2} - icr$
- f. BC = $r - icr$
- g. b = $r - \sqrt{BC^2 - AB^2}$
- h. OA = $t + b + sf$

Perhitungan :

a) ID = Do-2t

ID = 3,658 m - 2 x 0,0762 m

$$= 3,505 \text{ m}$$

$$\text{b) AB} = \frac{3,505 \text{ m}}{2} - 0,2286 \text{ m}$$

$$= 1,524 \text{ m}$$

$$\text{c) BC} = 3,353 \text{ m} - 0,229 \text{ m}$$

$$= 3,124 \text{ m}$$

$$\text{d) b} = 3,353 \text{ m} - \sqrt{(1,524 \text{ m})^2 - (3,124 \text{ m})^2}$$

$$= 0,63 \text{ m}$$

$$\text{e) OA} = 0,0762 \text{ m} + 0,63 \text{ m} + 0,1143 \text{ m}$$

$$= 0,82 \text{ m}$$

6. Tinggi Reaktor (Htot)

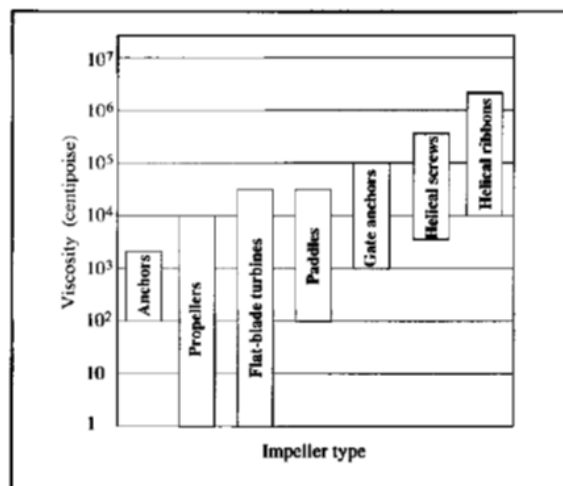
$$H_{\text{total}} = H_t + 2 \times \text{tinggi head}$$

$$= 3,43 \text{ m} + 2 \times 0,82$$

$$= 5,06 \text{ m}$$

7. Pengaduk

a. Jenis pengaduk



Gambar A.3 Jenis pengaduk

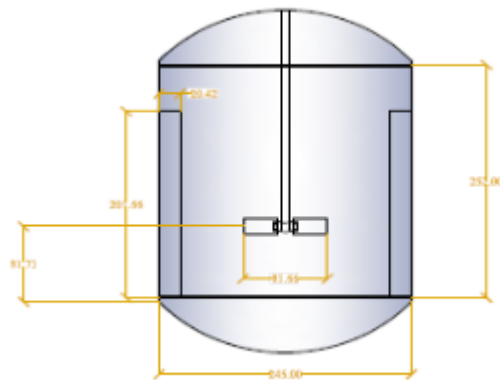
Dipilih berdasarkan viskositas fluida yang diaduk (Holland et al, 1966)

Tabel A.5 Fraksi massa masing-masing komponen

Komponen	kg/jam	Fraksi Massa	μ (cP)	Fraksi massa x cP
Air	1594,2	0,03	0,15	0,0049
2-etil heksanol	30945,54	0,65	0,2	0,1308
PTAc	65,32	0,0014	0,66	0,0009
TBT	0,27	0,000006	0,3	0,000002
DOTP	15040,03	0,32	1,54	0,4867
TPA	64,66	0,0014	1000	1,3553
Total	47710,2	1	-	1,98

$\mu = 1,98$ cP ,maka dipilih jenis pengaduk flat-blade turbin

b. Ukuran pengaduk



Gambar A.4 *Design* pengaduk

Keterangan :

B : lebar baffle (m)

Di : Diameter pengaduk (m)

Dt : Diameter reaktor (m)

Ht : Tinggi lurus reaktor (m)

W : lebar sudu (m)

z : elevasi pengaduk (m)

r : panjang *blade impeller* (m)

s : panjang *blade* dari pusat bantalan (m)

Dengan hubungan,

$$D_i = \frac{1}{3} D_t$$

$$z = \frac{1}{3} H_t$$

$$B = \frac{1}{12} D_t$$

$$W = \frac{1}{5} D_i$$

$$r = \frac{1}{4} D_i$$

$$s = \frac{1}{8} D_i$$

Perhitungan

$$a) D_i = \frac{1}{3} \times 3,658 \text{ m} = 1,219 \text{ m}$$

$$b) z = \frac{1}{3} \times 5,061 \text{ m} = 1,687 \text{ m}$$

$$c) B = \frac{1}{12} \times 3,658 \text{ m} = 0,305 \text{ m}$$

$$d) W = \frac{1}{5} \times 1,219 \text{ m} = 0,244 \text{ m}$$

$$e) r = \frac{1}{4} \times 1,219 \text{ m} = 0,305 \text{ m}$$

$$f) s = \frac{1}{8} \times 1,219 \text{ m} = 0,152 \text{ m}$$

c. Kecepatan putar pengaduk

Dipilih *medium agitation* pada kecepatan berkisar antara 650-800 ft/min untuk ukuran reaktor 10.000 gal (Holland, 1966)

Dipilih $v = 800 \text{ ft/min} = 243,84 \text{ m/min}$

Maka :

$$\begin{aligned} \text{rpm} &= 243,84 \frac{m}{\text{menit}} \times \frac{1 \text{ rotasi}}{\pi \times Di} \\ &= 243,84 \frac{m}{\text{menit}} \times \frac{1 \text{ rotasi}}{\pi \times 1,219 m} = 63,66 \text{ rotasi/menit} \end{aligned}$$

d. Bilangan Reynolds

$$Re = \frac{\rho l N D_t^2}{\mu l} \quad (\text{A.16})$$

Diketahui :

$$\mu l = 1,979 \text{ cp} = 0,00198 \text{ kg/m.s}$$

$$\rho l = 758,068 \text{ kg/m}^3$$

$$N = 63,66 \text{ rpm} = 1,061 / \text{s}$$

$$Di = 1,219 \text{ m}$$

maka :

$$Re = \frac{758,068 \text{ kg/m}^3 \times 1,061 \text{ s}^{-1} \times (1,219 \text{ m})^2}{0,00198 \text{ kg/m.s}} = 604.224$$

Jika $Re > 100.000$, maka dipilih $N_p = 6$ (Towler, 2008)

e. Daya penggerak pengaduk (Po)

$$Po = N_p \times \rho l \times N^3 \times D_t^5 \quad (\text{A.17})$$

$$\begin{aligned}
 P_o &= 6 \times (758,068 \text{ kg/m}^3) \times (1,061/\text{s})^3 \times (1,219 \text{ m})^5 \\
 &= 14635,94 \text{ W} \\
 &= 14,634 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Untuk P_o 14,634 kW memiliki efisiensi sebesar 85% (Towler,2008)

$$\text{Daya motor yang diperlukan} = \frac{14635 \text{ watt}}{85\%} = 17219 \text{ watt} = 23 \text{ hp}$$

Maka daya motor standar yang dipakai yaitu 25 hp (Ludwig et al, 2001)

8. Perpindahan Panas

a. Neraca Panas pada reaktor

$$Q_{\text{reaktan}} + Q_{\text{reaksi}} - Q_{\text{produk}} - Q_{\text{pp}} = 0 \quad (\text{A.18})$$

Dengan hubungan :

$$Q_{\text{reaktan}} = \sum m_i c_{pi} (T_1 - T_{\text{reff}})$$

$$Q_{\text{reaksi}} = -F_{a_0} \cdot X_a \cdot \Delta H_{r^0}$$

$$Q_{\text{produk}} = \sum m_{\text{produk}} c_p (T_2 - T_{\text{reff}})$$

$$T_1 = 453,15 \text{ K (suhu reaktor)}$$

$$T_{\text{reff}} = 298,15 \text{ K}$$

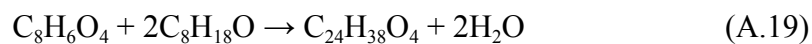
Tabel A.6 Kalor reaktan

Komponen Masuk	m kg/jam	kmol/jam	$\int c_p dt$ kJ/kmol	Qin m x $\int c_p dt$
Air	205,893	11,439	11.848,919	135.534,062
2-Etil Heksanol	40.972,23	315,171	50.048,245	15.773.755,445
PTAc	65,316	0,480	40.662,883	19.529,049
TBT	0,267	0,000785	22.617,995	17,756
DOTP	0	0	114.788,989	0
TPA	6.466,317	38,954	0	0
Total	47.710,024	366,044	-	15.928.836,311

Qreaktan = 15.928.836,311 kJ/jam

Panas reaksi pada suhu = 453,15 K

Adapun reaksi esterifikasi dari DOTP adalah sebagai berikut :



$$\Delta H_f^\circ = \Delta H_f^\circ \text{ produk} - \Delta H_f^\circ \text{ reaktan} \quad (A.20)$$

$$\begin{aligned}
 &= (\Delta H_f^\circ_{C_{24}H_{38}O_4} + 2.\Delta H_f^\circ_{2H_2O}) - (\Delta H_f^\circ_{C_8H_6O_4} + 2.\Delta H_f^\circ_{C_8H_{18}O}) \\
 &= (-966,72 - 2 \times -241,8) \text{ kJ/mol} - (-717,9 + 2 \times -365,3) \text{ kJ/mol} \\
 &= -1,82 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

$$\Delta H_{r0} = -1820 \text{ kJ/kmol}$$

$$Q_r = -F_{A0} X_A \Delta H_{r0}$$

$$= -38,954 \text{ kmol/jam} \times 99\% \times -1820 \text{ kJ/kmol}$$

$$= 7.018.681,187 \text{ kJ/jam}$$

Panas yang dibawa oleh produk keluar

$$\text{Suhu (T}_2\text{)} = 453,15 \text{ K}$$

$$\text{Treff} = 298,15 \text{ K}$$

Tabel A.7 Kalor *output reactor*

Komponen Keluar	m kg/jam	kmol/jam	$\int c_p dt$ kJ/kmol	Qout m x $\int c_p dt$
Air	1.594,204	88,567	11.848,919	1.049.421,831
2-Etil Heksanol	30.945,543	238,043	50.048,245	11.913.616,191
PTAc	65,316	0,480	40.662,883	19.529,049
TBT	0,267	0,001	22.617,995	17,756
DOTP	15.040,031	38,564	114.788,989	4.426.743,517
TPA	64,663	0,390	0	0
Total	47710,024	366,044	-	17.409.328,343

$$Q_{\text{produk}} = 17.409.328,343 \text{ kJ/jam}$$

$$Q_{\text{pp}} = Q_{\text{reaktan}} + Q_r - Q_{\text{produk}}$$

$$= (15.928.836,311 + 7.018.681,187 - 17.409.328,343) \text{ kJ/jam}$$

$$= 5.538.189,154 \text{ kJ/jam}$$

Tabel A.6 Keseimbangan kalor *input-output reactor*

Keterangan	Masuk (kJ/jam)	Keluar (kJ/jam)
Q _{in}	15.928.836,311	0
Q _{out}	0	17.409.328,344
Q _{reaksi}	7.018.681,187	0
Q _{pp}	0	5.538.189,154
Total	22.947.517,498	22.947.517,498

b. Media Pendingin

Sebagai media pendingin dipakai air

Diketahui :

Suhu air masuk, T_1 = 303,15 K

Suhu air keluar, T_2 = 323,15 K

Suhu rerata, T_{AV} = 313,15 K

maka,

$c_{p_{air}}$ = 75,243 kJ/kg.K

μ_{air} = 0,00677811 cP

$$\rho_{\text{air}} = 991,056 \text{ kg/m}^3$$

Massa air pendingin yang diperlukan dihitung dengan persamaan :

$$m_{\text{air}} = \frac{Q_t}{c_{p\text{air}} (t_2 - t_1)} \quad (\text{A.21})$$

Keterangan :

$c_{p\text{air}}$ = kapasitas panas air (kJ/kg.K)

m_{air} = laju alir massa air (kg/jam)

Q_t = beban panas total (kJ/jam)

t_1 = suhu air pendingin masuk (K)

t_2 = suhu air pendingin keluar (K)

Maka,

$$m_{\text{air}} = \frac{5538189.154 \text{ kJ/jam}}{75,2426 \text{ kJ/kg.K} (323,15 - 303,15) \text{ K}} = 3680.220 \text{ kg/jam}$$

c. Beda suhu rerata

$$LMTD = \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{\ln\left(\frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}\right)} \quad (\text{A.22})$$

Fluida Panas		Fluida dingin		
453,15	Suhu atas	323,15	130	Δt_1
453,15	Suhu bawah	303,15	150	Δt_2

$$LMTD = \frac{(150-140)K}{\ln \frac{150K}{130K}} = 139,762 K$$

d. Koefisien perpindahan kalor

Nilai UD berkisar antara 200 - 500 J/m².s.K (Towler,2008)

Dipilih UD = 500 J/m.s.K

$$= 0,5 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{s.K}$$

e. Luas perpindahan kalor yang diperlukan

$$A = \frac{Q_{pp}}{UD \cdot \Delta LMTD} \quad (A.23)$$

$$A = \frac{5538189.154 \text{ kJ/jam}}{0,5 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{s.K} \times 139,762 K \times 3600 \text{ s}} = 22,014 \text{ m}^2$$

f. Luas Selimut (As)

$$A_s = \pi \times D_t \times H_t \quad (A.24)$$

$$= 3,14 \times 3,658 \text{ m} \times 3,429 \text{ m}$$

$$= 31,521 \text{ m}^2$$

Luas selimut yang tersedia > luas perpindahan kalor yang diperlukan, maka sistem pendingin pada reaktor yang digunakan yaitu sistem jaket.

g. Perancangan *Nozzle*

1) Nozzle untuk umpan TPA

Diameter pipa optimum, dihitung dengan persamaan :

$$D_{opt} = 3,9 q_f^{0,45} \rho_f^{0,13} \quad (\text{A.25})$$

(Peters et al, 1991)

Dengan hubungan :

D_{opt} = Diameter pipa optimum (in)

q_f = Kecepatan volume fluida (ft^3/s)

ρ_f = rapat massa fluida (lb/ft^3)

Pada suhu = 453,15 K

Tabel A.7 Komposisi senyawa saat keluar reaktor

Komponen	kg/jam	ρ (kg/m^3)	m^3/jam
Air	205,893	943,404	0,218
2-Etil Heksanol	40972,230	696,028	58,866
PTAc	65,316	1047,213	0,062
TBT	0,267	2586,894	0,000103
DOTP	0	875,591	0
TPA	6466,317	1706,199	3,79
Total	47710,024		62,936

$$\rho_l = \frac{47710,24 \text{ kg/jam}}{62,936 \text{ m}^3/\text{jam}} = 758,068 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$\rho_f = 758,068 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$= 47,324 \text{ lb/ft}^3$$

$$q_f = 62,936 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$= 0,617 \text{ ft}^3/\text{s}$$

$$\text{Maka Diapt} = 3,9 \times 0,617^{0,45} \times 47,324^{0,13}$$

$$= 5,183 \text{ in}$$

$$= 13,165 \text{ cm}$$

Pemilihan pipa standar berdasarkan Peters et al (1991) maka dipilih :

$$\text{Diapt} = 5,761 \text{ in}$$

$$\text{Nominal pipe size} = 6 \text{ in}$$

$$\text{SCH} = 80 \text{ (extra-strong pipe)}$$

$$\text{OD} = 6,625 \text{ in}$$

$$= 0,168 \text{ m}$$

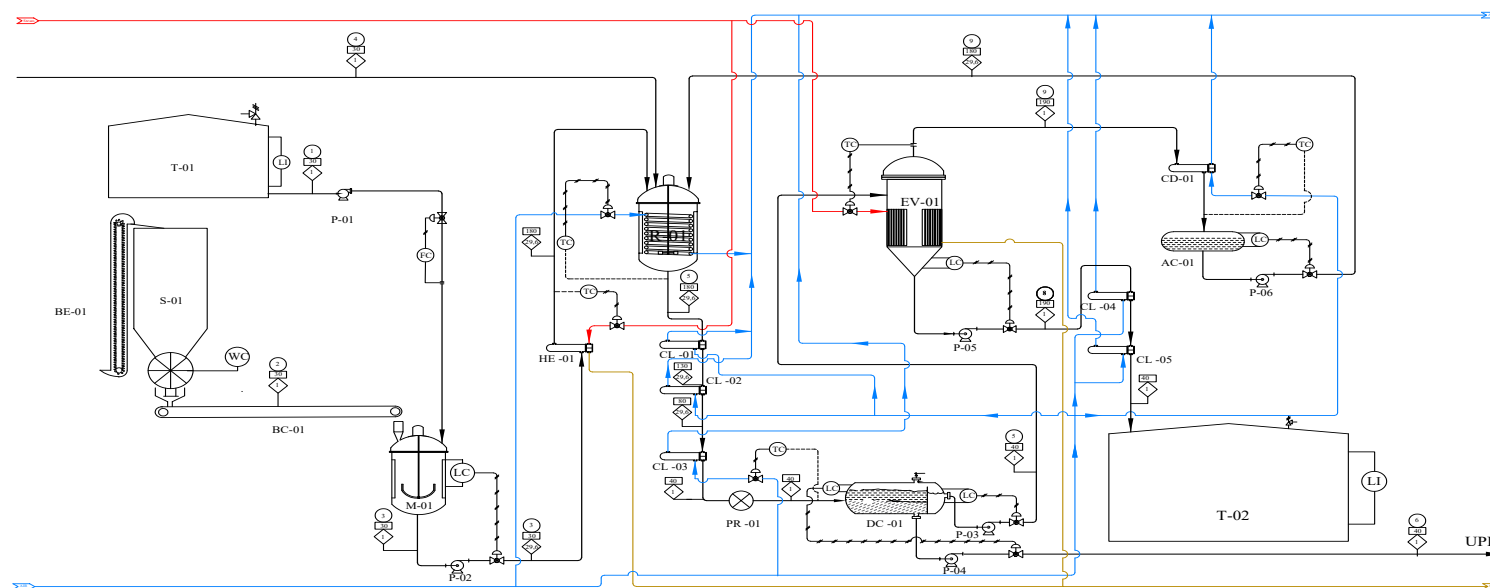
$$\text{ID} = 5,761 \text{ in}$$

$$= 0,146 \text{ m}$$

LAMPIRAN B

PROCESS FLOW DIAGRAM

PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM
PRARANCANGAN PABRIK DIOKTIK TEREFTALAT DARI
ASAM TEREFTALAT DAN 2-ETIL HEKSANOL
KAPASITAS : 120.000 TON/ TAHUN



NERACA MASSA (kg/jam)									
KOMPONEN	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$C_8H_6O_4$		6.466,3	6.466,3		64,7		64,7	64,7	
$C_8H_{18}O_2$		65,3	65,3		65,3	18,5	46,8	46,8	
$C_8H_{18}O$	10.026,7		10.026,7		30.945,5		30.945,5		30.945,5
H_2O	205,9		205,9	0,003	1.594,2	1.594,2			
$C_{24}H_{38}O_4$					15.040,0		15.040,0	15.040,0	
$C_{16}H_{30}O_4Ti$				0,3	0,3	0,3			
TOTAL	10.232,6	6.531,6	16.764,2	0,3	47.710,0	1.613,0	46.097,0	15.151,5	30.945,5

Keterangan	
AC	Akumulator
CD	Kondensor
CL	Pendingin
BC	Belt Conveyor
BE	Bucket Elevator
DC	Distillation Column
EV	Evaporator
HE	Heat Exchanger
M	Motor
P	Pumps
PR	Pressure Reducer
R	Reaktor
S	Silo
T	Tangki
U	Udara
W	Water
WC	Weight Control

SIMBOL	
	Nomor arus
	Suhu, C
	Tekanan, atm
	Pipa
	Udara tekan
	Listrik
Alat Kontrol	
FC	Flow Control
LC	Level Control
LI	Level Indicator
TC	Temperature Control
WC	Weight Control

PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK INDUSTRI UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA YOGYAKARTA	
PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM PRA RANCANGAN PABRIK DIOKTIK TEREFTALAT DARI ASAM TEREFTALAT DAN 2-ETIL HEKSANOL KAPASITAS 120.000 TON/TAHUN	
Disusun Oleh :	21521024
Ali Hasm	
Dosen Pembimbing: Ajeng Yulianti Dwi Lestari, S.T., M.T.	

B.1 PEFD Prarancangan Pabrik Dioktil Tereftalat dari Asam Tereftalat dan 2-Etil Heksanol dengan Kapasitas 120.000 ton/tahun

LAMPIRAN C

KARTU KONSULTASI BIMBINGAN

PRARANCANGAN PABRIK

KARTU KONSULTASI BIMBINGAN PRA RANCANGAN PABRIK

Nama Mahasiswa I : Ali Hasan
 No. Mahasiswa I : 21521024
 Judul Pra rancangan Pabrik : Prarancangan Pabrik Dioktil Tereftalat dari Asam
 Tereftalat dan 2-Etil Heksanol
 Mulai Masa Bimbingan : 19 September 2024
 Selesai Masa Bimbingan : 19 Agustus 2025

No.	Tanggal	Materi Bimbingan	Paraf Dosen
1	26/09/2024	Pengantar luaran 1 dan data kinetika serta penentuan spesifikasi bahan baku, pendukung, dan produk	
2	05/10/2024	Progress luaran 1 (kapasitas dan latar belakang) dan pengecekan luaran 2 serta 3	
3	23/10/2024	Capaian luaran 2 dan koreksi luaran 3 mengenai alat pemisahan dan neraca massa reaktor	
4	22/11/2024	Neraca massa dan perancangan alat besar	
5	4/12/2024	Neraca massa kapasitas dan fiksasi alat besar	
6	18/12/2024	Perancangan reaktor	
7	20/01/2025	Perancangan alat pemisah	
8	31/01/2025	Perancangan alat penyimpan bahan	
9	07/02/2025	Perancangan alat transportasi bahan dan alat penukar panas	
10	20/02/2025	Perhitungan neraca panas	

11	04/03/2025	Peninjauan BAB III	dg
12	10/03/2025	Konsultasi PEFD	dg
13	17/03/2025	Konsultasi penentuan lokasi dan tata letak pabrik	dg
14	07/05/2025	Konsultasi perhitungan utilitas	dg
15	20/05/2025	Konsultasi perhitungan ekonomi	dg
16	22/05/2025	Membahas review luaran, analisis ekonomi dan pengiriman naskah	dg
17	01/06/2025	Pengiriman naskah final	dg

Disetujui Draft Penulisan

Yogyakarta, 03 Juni 2025

Pembimbing,



Ajeng Yulianti Dwi Lestari, S.T., M.T.