TUGAS AKHIR

PRA RANCANGAN PABRIK MALEAT ANHIDRIDA

DARI BENZENA DAN OKSIGEN

DENGAN KAPASITAS 11.808 TON/TAHUN

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



Disusun Oleh:

Nama : Hamas Syafiq Kadhafi
NIM : 22521026

Nama : Najwa Alifa Noer
NIM : 2251063

PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2026

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

PRA RANCANGAN PABRIK MALEAT ANHIDRIDA

DARI BENZENA DAN OKSIGEN

DENGAN KAPASITAS 11.808 TON/TAHUN

PRA RANCANGAN PABRIK

Oleh :

Nama : Hamas Syafiq Kadhafi **Nama : Najwa Alifa Noer**

NIM : 22521026 **NIM : 22521063**

Yogyakarta, 30 April 2026

Pembimbing,

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

NIK. 175210103

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN HASIL

PRA RANCANGAN PABRIK *MALEIC ANHYDRIDE* DARI *BENZENE* DAN UDARA DENGAN KAPASITAS 13.061 TON/TAHUN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Hamas Syafiq Kadhafi
NIM : 22521026

Nama : Najwa Alifa Noer
NIM : 22521063

Yogyakarta, 29 April 2026

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

Td. Tangan



Hamas Syafiq Kadhafi

Td. Tangan



Najwa Alifa Noer

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

PRA RANCANGAN PABRIK MALEAT ANHIDRIDA
DARI BENZENA DAN OKSIGEN
DENGAN KAPASITAS 11.808 TON/TAHUN

Oleh :

Nama : Hamas Syafiq Kadhafi **Nama : Najwa Alifa Noer**

NIM : 22521026 **NIM : 22521063**

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, 12 Mei 2026

Tim Penguji,

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

Anggota I
Dr. Ariany Zulkania, S.T., M.Eng. 21/5/26

Anggota II
Alinda Fitrotun Nisya, S.T., M.Eng. 21/5-26

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Kimia – Program Sarjana
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia

Prof. Sholeh Ma'mun, S.T., M.T., Ph.D.
NIK. 995200445

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala atas segala rahmat, taufik, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Pra Rancangan Pabrik Kimia dengan judul *"Pra Rancangan Pabrik Maleat Anhidrida dari Benzena dan Oksigen dengan Kapasitas 11.808 Ton per Tahun."*

Mahasiswa Program Studi Teknik Kimia di Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia harus menyelesaikan tugas pra-rancangan pabrik kimia ini untuk menyelesaikan studi Strata Satu (S1). Melalui penyusunan tugas ini, mahasiswa diharapkan memperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai penerapan ilmu dan prinsip-prinsip teknik kimia dalam perancangan suatu industri kimia secara komprehensif.

Penulis mendapatkan banyak dukungan, bantuan, dan nasihat selama proses menyusun tugas ini. Oleh karena itu, penulis dengan rendah hati mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah Subhanahu wa Ta'ala, atas limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya yang senantiasa menyertai penulis selama proses penyusunan laporan ini.
2. Kedua orang tua dan seluruh anggota keluarga, atas doa, kasih sayang, motivasi, dan dukungan moral maupun material yang tiada henti diberikan kepada penulis.

3. Ibu Ifa Puspasari, S.T., M.Eng., Ph.D., selaku Kepala Jurusan Teknik Kimia UII, yang telah memberikan fasilitas dan dukungan dalam pelaksanaan penyusunan tugas akhir ini.
4. Bapak Prof. Ir. Sholeh Ma'mun, S.T., M.T., Ph.D., selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia UII, atas perhatian dan bimbingannya dalam perjalanan studi kami.
5. Ibu Venitalitya Alethea Sari Augustia, S.T., M.Eng., selaku dosen pembimbing, atas bimbingan, arahan, dan masukan berharga yang diberikan selama proses penyusunan tugas akhir ini.
6. Seluruh dosen, tenaga laboratorium, dan staf administrasi di Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia, atas ilmu, arahan, serta bantuan yang diberikan selama masa studi.
7. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Kimia angkatan 2022, atas kebersamaan, dukungan, dan semangat yang telah terjalin selama menjalani masa perkuliahan.
8. Terima kasih kepada 'Little Tiam' dan seluruh stafnya. Terima kasih sudah mengizinkan kami 'berkantor' di sana setiap hari demi mengejar *deadline* Tugas Akhir ini.
9. Serta seluruh pihak lain yang telah membantu penulis dalam proses penyusunan dan penyelesaian laporan ini, yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa laporan ini memiliki beberapa keterbatasan dan tidak sempurna. Oleh karena itu, penulis dengan senang hati menerima kritik dan saran yang bermanfaat untuk membantu mereka memperbaiki diri di masa mendatang. Semoga laporan Tugas Pra Rancangan Pabrik Kimia ini bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

Yogyakarta, 29 April 2026

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN HASIL iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI iv
KATA PENGANTAR v
DAFTAR ISI viii
DAFTAR TABEL xi
DAFTAR GAMBAR xiv
ABSTRAK xv
ABSTRACT xvi
BAB I 1
PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Penentuan Kapasitas Produksi 3
1.2.1 Penawaran (Supply) 4
1.2.2 Permintaan (Demand) 7
1.2.3 Menghitung Kapasitas Produksi 11
1.3 Tinjauan Pustaka 12
1.3.1 Macam-Macam Proses 13
1.3.2 Pemilihan Proses 17
1.3.3 Tinjauan Kinetika 20
1.3.4 Tinjauan Termodinamika 22
BAB II 26
PERANCANGAN PRODUK 26
2.1 Spesifikasi Produk 26
2.1.1 Maleat Anhidrida 26
2.2 Spesifikasi Bahan Baku 28
2.2.1 Benzena 28
2.2.2 Udara 30
2.3 Spesifikasi Bahan Penunjang 31
2.3.1 Vanadium Pentoksida 31
2.3.2 Molibdenum Trioksida 32
2.4 Pengendalian Kualitas 32
2.4.1 Pengendalian Kualitas Bahan Baku 33

2.4.2 Pengendalian Kualitas Proses 33
2.4.3 Pengendalian Kualitas Produk 34
BAB III 36
PERANCANGAN PROSES 36
3.3 Diagram Alir Proses dan Material 36
3.3.1 Digram Alir Kualitatif 37
3.3.1 Diagram Alir Kuantitatif 38
3.2 Uraian Proses 39
3.2.1 Tahap Persiapan Bahan Baku 39
3.2.2 Tahap Sintesis Produk 40
3.2.3 Tahap Pemurnian dan Pembentukan Produk 41
3.3 Spesifikasi Alat 43
3.3.1 Tangki Penyimpanan Bahan Baku 43
3.3.2 Tangki Penyimpanan Produk 45
3.3.3 Reaktor 46
3.3.4 Alat Pemisah 49
3.3.5 Alat Penukar Panas 57
3.3.6 Alat Menaikkan dan Mengalirkan Udara 69
3.3.7 Alat Menaikkan dan Mengalirkan Fluida 70
3.3.8 Alat Pengangkutan Padatan 74
3.3.9 Alat Menaikkan dan Menurunkan Tekanan 80
3.4 Neraca Massa Alat 83
3.5 Neraca Panas 94
BAB IV 100
PERANCANGAN PABRIK 100
4.1 Lokasi Pabrik 100
4.2 Tata Letak Pabrik (Plant Layout) 103
4.3 Tata Letak Mesin/Alat Proses (Machines Layout) 109
4.4 Organisasi Perusahaan 113
4.4.1 Bentuk Organisasi 113
4.4.2 Struktur Organisasi 116
4.4.3 Tugas dan Wewenang 121
4.4.4 Pembagian Jam Kerja Karyawan 126
4.4.5 Jumlah Karyawan dan Sistem Gaji 131
4.4.6 Jumlah Karyawan dan Sistem Gaji 138
4.4.7 Fasilitas dan Hak Karyawan 139
BAB V 143
UTILITAS 143
5.1 Unit Penyediaan dan Pengolahan Air 147

5.1.1 Penyediaan Air 147
5.1.2 Sumber Air 154
5.1.3 Pengolahan Air 155
5.1.4 Spesifikasi Alat Utilitas 162
5.1.5 Diagram Unit Pengolahan Air 194
5.2 Unit Penyedia Dowtherm A 195
5.3 Unit Penyedia Steam 196
5.4 Unit Pembangkit Listrik (Power Plant System) 199
5.5 Unit Penyedia Udara Tekan (Instrumen Air System) 205
5.6 Unit Penyedia Bahan Bakar 206
5.7 Unit Pengolahan Limbah 207
BAB VI 209
EVALUASI EKONOMI 209
6.1 Penaksiran Harga Alat 211
6.2 Dasar Perhitungan 216
6.3 Komponen Biaya 216
6.3.1 Modal (Capital Investment) 216
6.3.2 Biaya Produksi 219
6.3.3 Pengeluaran Umum (General Expenses) 222
6.3.4 Analisis Keuntungan 224
6.3.5 Analisis Kelayakan 225
6.3.6 Analisis Risiko Pabrik 233
BAB VII 239
KESIMPULAN DAN SARAN 239
DAFTAR PUSTAKA 242
LAMPIRAN A 245
LAMPIRAN B 256
LAMPIRAN C 258

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Data Impor Maleat Anhidrida 5
Tabel 1.2 Data Produksi Maleat Anhidrida 7
Tabel 1.3 Data Ekspor Maleat Anhidrida 8
Tabel 1. 4 Data Pabrik Konsumsi Maleat Anhidrida 10
Tabel 1. 5 Kapasitas Pabrik Maleat Anhidrida di dunia 11
Tabel 1. 6 Perbandingan Rasio Molar pada suhu 357 ºC 14
Tabel 1. 7 Tabel Perbandingan Proses Produksi Maleat Anhidrida antara Oksidasi Benzena dan n-Butana 19
Tabel 1. 8 Nilai Parameter Arrhenius 21
Tabel 1. 9 Harga ΔHf° dan ΔGf° 22
Tabel 3. 1 Spesifikasi Alat Penyimpanan Benzena (C_6H_6) 43
Tabel 3. 2 Spesifikasi Alat Penyimpanan Benzena C_6H_6 (Lanjutan) 44
Tabel 3. 3 Spesifikasi Alat Silo 45
Tabel 3. 4 Spesifikasi Alat Reaktor 46
Tabel 3. 5 Spesifikasi Alat Reaktor (Lanjutan) 47
Tabel 3. 6 Spesifikasi Alat Reaktor (Lanjutan) 48
Tabel 3. 7 Spesifikasi Alat Centrifuge 49
Tabel 3. 8 Spesifikasi Alat Decanter 50
Tabel 3. 9 Spesifikasi Alat Filter Udara 51
Tabel 3. 10 Spesifikasi Alat Membran 52
Tabel 3. 11 Spesifikasi Alat Separator 53
Tabel 3. 12 Spesifikasi Alat Vibrating Screen 54
Tabel 3. 13 Spesifikasi Alat Impact Breakers 55
Tabel 3. 14 Spesifikasi Alat Impact Breakers (Lanjutan) 56
Tabel 3. 15 Spesifikasi Alat Condensor 57
Tabel 3. 16 Spesifikasi Alat Condensor (Lanjutan) 58
Tabel 3. 17 Spesifikasi Alat Evaporator 59
Tabel 3. 18 Spesifikasi Alat Furnace 60
Tabel 3. 19 Spesifikasi Alat Furnace (Lanjutan) 61
Tabel 3. 20 Spesifikasi Alat Heat Exchanger 62
Tabel 3. 21 Spesifikasi Alat Heat Exchanger (Lanjutan) 63
Tabel 3. 22 Spesifikasi Alat Kristallizer 64
Tabel 3. 23 Spesifikasi Alat Kristallizer (Lanjutan) 65
Tabel 3. 24 Spesifikasi Alat Rotary Dryer 66
Tabel 3. 25 Spesifikasi Alat Vaporizer 67
Tabel 3. 26 Spesifikasi Alat Vaporizer (Lanjutan) 68
Tabel 3. 27 Spesifikasi Alat Blower 69
Tabel 3. 28 Spesifikasi Alat Pompa 70
Tabel 3. 29 Spesifikasi Alat Pompa (Lanjutan) 71
Tabel 3. 30 Spesifikasi Alat Pompa (Lanjutan) 72
Tabel 3. 31 Spesifikasi Alat Pompa (Lanjutan) 73
Tabel 3. 32 Spesifikasi Alat Belt Conveyor 74
Tabel 3. 33 Spesifikasi Alat Belt Conveyor (Lanjutan) 75

Tabel 3. 34 Spesifikasi Alat Bucket Elevator 76
Tabel 3. 35 Spesifikasi Alat Bucket Elevator (Lanjutan) 77
Tabel 3. 36 Spesifikasi Alat Screw Conveyor 78
Tabel 3. 37 Spesifikasi Alat Screw Conveyor (Lanjutan) 79
Tabel 3. 38 Spesifikasi Alat Kompresor 80
Tabel 3. 39 Spesifikasi Alat Expansion Valve 81
Tabel 3. 40 Spesifikasi Alat Expansion Valve (Lanjutan) 82
Tabel 3. 41 Neraca Massa pada Vaporizer-01 83
Tabel 3. 42 Neraca Massa pada Separator-01 84
Tabel 3. 43 Neraca Massa pada Membran-01 84
Tabel 3. 44 Neraca Massa pada Furnace-01 85
Tabel 3. 45 Neraca Massa pada Reaktor-01 85
Tabel 3. 46 Neraca Massa pada Condensor-01 86
Tabel 3. 47 Neraca Massa pada Separator-02 87
Tabel 3. 48 Neraca Massa pada Membran-02 87
Tabel 3. 49 Neraca Massa pada Evaporator-01 88
Tabel 3. 50 Neraca Massa pada Condensor-02 89
Tabel 3. 51 Neraca Massa pada Decanter-01 90
Tabel 3. 52 Neraca Massa pada Kristallizer-01 90
Tabel 3. 53 Neraca Massa pada Centrifuge-01 91
Tabel 3. 54 Neraca Massa pada Rotary Dryer-01 91
Tabel 3. 55 Neraca Massa pada Impact Breakers-01 92
Tabel 3. 56 Neraca Massa pada Vibrating Screen-01 92
Tabel 3. 57 Neraca Massa Total 93
Tabel 3. 58 Neraca Panas pada Vaporizer-01 94
Tabel 3. 59 Neraca Panas pada Furnace-01 94
Tabel 3. 60 Neraca Panas pada Reaktor Fixed Bed Multitube-01 95
Tabel 3. 61 Neraca Panas pada Condensor-01 95
Tabel 3. 62 Neraca Panas pada Condensor-02 96
Tabel 3. 63 Neraca Panas pada Evaporator-01 96
Tabel 3. 64 Neraca Panas pada Kristallizer-01 97
Tabel 3. 65 Neraca Panas pada Heat Exchanger-01 97
Tabel 3. 66 Neraca Panas pada Rotary Dryer-01 98
Tabel 3. 67 Neraca Panas Total 99
Tabel 4. 1 Daftar Tata Letak Pabrik 108
Tabel 4. 2 Daftar Tata Letak Pabrik (Lanjutan) 109
Tabel 4. 3 Jadwal Kerja Karyawan non-shift 128
Tabel 4. 4 Jadwal Kerja Karyawan shift 129
Tabel 4. 5 Jadwal Kerja Setiap Kelompok 130
Tabel 4. 6 Jadwal Kerja Setiap Kelompok (Lanjutan) 131
Tabel 4. 7 Rincian Gaji Setiap Karyawan 133
Tabel 4. 8 Rincian Gaji Setiap Karyawan (Lanjutan) 134
Tabel 4. 9 Rincian Gaji Setiap Karyawan (Lanjutan) 135
Tabel 4. 10 Rincian Gaji Setiap Karyawan (Lanjutan) 136
Tabel 4. 11 Rincian Gaji Setiap Karyawan (Lanjutan) 137
Tabel 5. 1 Kebutuhan Air Untuk Keperluan Umum 149

Tabel 5. 2 Kebutuhan Air Pendingin 151
Tabel 5. 3 Kebutuhan Air Umpan Boiler 153
Tabel 5. 4 Total Kebutuhan Air 155
Tabel 5. 5 Spesifikasi Alat Penyimpanan 182
Tabel 5. 6 Spesifikasi Alat Penyimpanan (Lanjutan) 183
Tabel 5. 7 Spesifikasi Alat Penyimpanan (Lanjutan) 184
Tabel 5. 8 Spesifikasi Alat Transportasi 185
Tabel 5. 9 Spesifikasi Alat Transportasi (Lanjutan) 186
Tabel 5. 10 Spesifikasi Alat Transportasi (Lanjutan) 187
Tabel 5. 11 Spesifikasi Alat Transportasi (Lanjutan) 188
Tabel 5. 12 Spesifikasi Alat Transportasi (Lanjutan) 189
Tabel 5. 13 Spesifikasi Alat Transportasi (Lanjutan) 190
Tabel 5. 14 Spesifikasi Alat Transportasi (Lanjutan) 191
Tabel 5. 15 Spesifikasi Alat Transportasi (Lanjutan) 192
Tabel 5. 16 Spesifikasi Alat Transportasi (Lanjutan) 193
Tabel 5. 17 Kebutuhan Pendingin Dowtherm A 195
Tabel 5. 18 Spesifikasi Alat Boiler 197
Tabel 5. 19 Spesifikasi Generator Listrik 200
Tabel 5. 20 Kebutuhan Listrik Alat Proses 201
Tabel 5. 21 Kebutuhan Listrik Alat Utilitas 202
Tabel 5. 22 Total Kebutuhan Listrik 205
Tabel 5. 23 Kebutuhan Bahan Bakar Solar CN53 207
Tabel 5. 24 Kebutuhan Bahan Bakar LNG 207
Tabel 6. 1 Data Indeks Harga Alat 212
Tabel 6. 2 Data Indeks Harga Alat (Lanjutan) 213
Tabel 6. 3 Physical Plant Cost 217
Tabel 6. 4 Direct Plant Cost 218
Tabel 6. 5 Fixed Capital Investment (FCI) 218
Tabel 6. 6 Working Capital Investment 219
Tabel 6. 7 Direct Manufacturing Cost 220
Tabel 6. 8 Indirect Manufacturing Cost 221
Tabel 6. 9 Fixed Manufacturing Cost 222
Tabel 6. 10 Total Manufacturing Cost 222
Tabel 6. 11 General Expenses 223
Tabel 6. 12 Total Production Cost 223
Tabel 6. 13 Annual Fixed Manufacturing Cost (Fa) 229
Tabel 6. 14 Annual Regulated Expenses (Ra) 230
Tabel 6. 15 Annual Variable Value (Va) 230
Tabel 6. 16 Annual Sales Value (Sa) 231
Tabel 6. 17 Analisis Risiko Pabrik 234
Tabel 6. 18 Analisis Risiko Pabrik (Lanjutan) 235
Tabel 6. 19 Hasil Analisis Kelayakan 236
Tabel 6. 20 Hasil Analisis Kelayakan (Lanjutan) 237

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Diagram Alir Kualitatif 37
Gambar 3. 2 Diagram Alir Kuantitatif 38
Gambar 4. 1 Peta Rencana Lokasi Pabrik 100
Gambar 4. 2 Tata Letak Pabrik (Plant Layout) 107
Gambar 4. 3 Mesin/Alat Proses (Machines Layout) 112
Gambar 4. 4 Struktur Organisasi 120
Gambar 5. 1 Diagram Alir Unit Pengolahan Air 194
Gambar 6. 1 Grafik Indeks Harga 214
Gambar 6. 2 Grafik Analisis Kelayakan Penjualan Keseluruhan 238

ABSTRAK

Ketergantungan impor Maleat Anhidrida Indonesia mencapai 4.216.310 kg pada tahun 2023. Untuk mengurangi angka tersebut, dirancang pabrik Maleat Anhidrida dari Benzena dan Oksigen berkapasitas 11.808 ton/tahun di Tuban, Jawa Timur, dengan bahan baku dari PT Trans-Pacific Petrochemical Indotama (TPPI). Pabrik beroperasi kontinu 330 hari/tahun (7.920 jam) didukung 159 karyawan. Proses menggunakan reaktor *fixed bed multitube* dengan katalis Vanadium Pentoksida dan Molibdenum Trioksida, membutuhkan Benzena 2.655,976 kg/jam dan Oksigen 5.087,892 kg/jam. Unit utilitas menyuplai air laut terolah 6.726,2493 kg/jam, bahan bakar 219,592 kg/jam, listrik PLTU Tanjung Awar-Awar, menyediakan *Dowtherm A*, *steam*, udara tekan, serta menyediakan unit pengolahan limbah. Analisis risiko menunjukkan operasional pabrik aman dan terkendali. Evaluasi ekonomi menunjukkan kelayakan finansial yang tinggi dengan keuntungan sebelum pajak sebesar Rp 188.664.826.505,33, nilai *Return on Investment* (ROI) sebelum pajak 78,908%, *Pay Out Time* (POT) sebelum pajak 1,150 tahun, *Break Even Point* (BEP) 20,85%, *Shut Down Point* (SDP) 10,82%, dan *Discounted Cash Flow Rate* (DCFR) 28%. Berdasarkan aspek-aspek tersebut, pabrik Maleat Anhidrida ini layak untuk dikaji lebih lanjut.

Kata kunci: Analisis Risiko, Benzena, Ekonomi, Karyawan, Maleat Anhidrida, Utilitas.

ABSTRACT

Indonesia's import dependency on Maleic Anhydride reached 4,216,310 kg in 2023. To reduce this figure, a Maleic Anhydride plant from Benzene and Oxygen is designed with a capacity of 11,808 tons/year in Tuban, East Java, utilizing raw materials from PT Trans-Pacific Petrochemical Indotama (TPPI). The plant operates continuously for 330 days/year (7,920 hours) supported by 159 employees. The process uses a fixed bed multitube reactor with Vanadium Pentoxide and Molybdenum Trioxide catalysts, requiring 2,655.976 kg/hour of Benzene and 5,087.892 kg/hour of Oxygen. The utility unit supplies 6,726.2493 kg/hour of treated seawater, 219.592 kg/hour of fuel, electricity from Tanjung Awar-Awar Power Plant, provides Dowtherm A, steam, compressed air, and provides a waste treatment unit. Risk analysis shows that plant operations are safe and manageable. Economic evaluation indicates high financial feasibility with a pre-tax profit of IDR 188,664,826,505.33, Return on Investment (ROI) before tax of 78.908%, Pay Out Time (POT) before tax of 1.150 years, Break Even Point (BEP) of 20.85%, Shut Down Point (SDP) of 10.82%, and Discounted Cash Flow Rate (DCFR) of 28%. Based on these aspects, this Maleic Anhydride plant is feasible for further study.

Keywords: *Benzene, Economy, Employees, Maleic Anhydride, Risk Analysis, Utility.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebagai negara berkembang, Indonesia memiliki banyak potensi di bidang industri, termasuk industri kimia. Industri manufaktur memainkan peran penting dalam menciptakan nilai tambah, menambah lapangan kerja, dan meningkatkan daya saing global (Wulandari, Prasetyo, & Susandika, 2023). Namun demikian, perkembangan industri kimia di Indonesia masih menghadapi sejumlah tantangan struktural, khususnya dalam hal ketergantungan terhadap impor bahan baku dan produk antara.

Sebagai hasil dari data yang dikumpulkan oleh World Integrated Trade Solutions (WITS), produk Maleat Anhidrida (HS 291714) yang diimpor ke Indonesia akan memiliki nilai impor sekitar 4.216.310 kilogram dengan nilai pasar US$ 4,28 juta pada tahun 2023. (*World Bank*, 2023). Angka ini mencerminkan masih tingginya ketergantungan industri dalam negeri terhadap produk impor. Ketidakseimbangan antara kapasitas produksi nasional dan kebutuhan industri berpotensi mengurangi devisa negara dan memperlemah kemandirian industri kimia nasional.

Selain itu, kinerja produktivitas industri kimia nasional juga menunjukkan kecenderungan yang belum optimal. Menurut penelitian Effendi dan Restikasari (2023), terjadi penurunan produktivitas total faktor (*Total Factor Productivity*/TFP) di sektor industri kimia Indonesia dalam beberapa tahun terakhir, yang diakibatkan oleh rendahnya efisiensi teknologi serta masih terbatasnya investasi dalam inovasi proses.

Sebaliknya, sumber daya alam dan sumber daya manusia yang melimpah di Indonesia masih belum dimanfaatkan sepenuhnya untuk mendukung kemandirian industri kimia. Untuk mengurangi ketergantungan impor, pemerintah Indonesia saat ini mendorong transformasi industri kimia menuju industri kimia khusus yang lebih berdaya saing dan berbasis teknologi tinggi.

Maleat Anhidrida (MA) adalah produk kimia strategis yang sangat dibutuhkan oleh berbagai industri. Senyawa organik dengan rumus molekul $C_4H_2O_3$ ini merupakan bentuk anhidrida dari asam maleat. Maleat Anhidrida berwujud padatan putih dengan bau tajam dan memiliki sifat sangat reaktif. Senyawa ini digunakan secara luas dalam pembuatan resin poliester tak jenuh, pelapis, surfaktan, pestisida, produk farmasi, serta aditif untuk plastik.

Menurut Rongkang et al. (2024), Maleat Anhidrida merupakan komponen kunci dalam berbagai aplikasi kimia dan komersial yang memerlukan bahan baku reaktif dengan kestabilan termal yang baik. Produksi senyawa ini umumnya dilakukan melalui proses oksidasi Benzena atau *n-butane* menggunakan Oksigen sebagai oksidator. Dengan adanya permintaan pasar yang terus meningkat,

diperlukan upaya untuk mengembangkan teknologi produksi yang efisien, ekonomis, serta ramah lingkungan.

Pabrik kimia yang dibangun di Indonesia akan memenuhi kebutuhan domestik dan menciptakan lapangan kerja baru serta memperkuat rantai pasokan industri hilir. Oleh sebab itu, penyusunan pra-rancangan pabrik Maleat Anhidrida ini diharapkan dapat menjadi kontribusi nyata dalam mendukung penguatan industri kimia nasional dan peningkatan kemandirian ekonomi.

1.2 Penentuan Kapasitas Produksi

Dalam menentukan kapasitas produksi, beberapa faktor utama perlu dipertimbangkan, antara lain:

1. Kebutuhan pasar (*market demand*)

   Besarnya permintaan produk di pasar domestik dan ekspor.
2. Kapasitas minimum ekonomis (*minimum economic scale*)

   Kapasitas terkecil yang masih menguntungkan secara finansial.
3. Ketersediaan bahan baku

   Terutama pasokan Benzena yang berkelanjutan sebagai bahan baku utama proses oksidasi.

Dalam hal ini, gambaran mengenai ketersediaan pasokan Benzena dalam negeri dapat dilihat dari kapasitas produksi PT Trans-Pacific Petrochemical Indotama (TPPI) yang beroperasi di Kilang TPPI Tuban, Jawa Timur, sebagai salah satu pusat produksi aromatik terbesar di Indonesia. Berdasarkan informasi resmi

perusahaan, melalui Proyek Revamping Aromatik yang diresmikan pada 20 Desember 2021, TPPI meningkatkan kapasitas unit aromatiknya, termasuk menaikkan produksi Benzena dari 440 ribu ton per tahun menjadi 500 ribu ton per tahun. Peningkatan kapasitas ini menunjukkan bahwa ketersediaan bahan baku nasional semakin kuat serta mendukung upaya pengurangan ketergantungan terhadap impor produk turunan petrokimia (TPPI, 2021).

Dengan tersedianya pasokan bahan baku yang lebih stabil tersebut, aspek keekonomian produksi juga dapat dioptimalkan. Kapasitas produksi yang besar berpotensi menurunkan biaya tetap per unit melalui *economies of scale*, namun tetap harus disesuaikan dengan pertimbangan teknis, keekonomian, serta potensi pasar. Metode ini diharapkan dapat memenuhi kebutuhan pasar dan mengurangi ketergantungan impor.

1.2.1 Penawaran (*Supply*)

Penawaran Maleat Anhidrida nasional berasal dari gabungan kapasitas produksi dalam negeri dan impor dari negara lain. Saat ini, kapasitas produksi domestik masih terbatas, sementara volume impor cukup tinggi untuk memenuhi permintaan pasar.

Kesenjangan antara kapasitas produksi nasional dan kebutuhan pasar menjadi dasar utama dalam perhitungan kapasitas pabrik baru. Dengan meningkatkan produksi domestik, Indonesia tidak hanya dapat menekan impor tetapi juga berpotensi menjadi pemasok bagi pasar Asia Tenggara.

a. Impor

Berikut ini merupakan data impor Maleat Anhidrida di Indonesia:

Tabel 1.1 Data Impor Maleat Anhidrida

Tahun	Jumlah (Ton/Tahun)
2013	3.527,00
2014	3.531,00
2015	4.150,00
2016	4.262
2017	5.412,65
2018	4.896,94
2019	3.342,84
2020	3.856,69
2021	3.820,51
2022	3.688,41

Sumber : World Bank, 2023

Berdasarkan data-data tersebut, didapatkan hasil koefisien korelasi atau R^2 sebesar 0,0012 dengan persamaan y = -7,6393x + 19461. Karena nilai R^2 dari grafik tersebut mendekati 0 maka kita tidak bisa menghitung prediksi kebutuhan impor menggunakan regresi linier tersebut. Jadi, untuk memprediksi kebutuhan impor Maleat Anhidrida Indonesia pada tahun 2035, metode *Compound Annual Growth Rate* (CAGR) dapat digunakan.

$$i = \left(\left(\frac{P_n}{P_0}\right)^{\frac{1}{n}}\right) - 1 \quad \text{……..……..…..(1.1)}$$

Keterangan :

i : Laju Pertumbuhan

P_n : Data Awal (Tahun 2013)

P_0 : Data Akhir (Tahun 2022)

n : Rentang Tahun (9 Tahun)

Berdasarkan perhitungan rumus tersebut, didapatkan nilai Laju Pertumbuhan sebesar 0,498%. Lalu dengan menggunakan nilai i dari persamaan (1.1), maka dapat menghitung proyeksi untuk tahun 2035. Berdasarkan persamaan (1.1), rumus untuk menentukan proyeksi impor pada tahun 2035 dituliskan pada persamaan (1.2) :

$$P_{2035} = P_{2022} \times (1 + i)^n \quad \text{…….(1.2)}$$

Dari persamaan tersebut, didapatkan proyeksi impor Maleat Anhidrida pada tahun 2035 sebesar 3.934,69 ton/tahun.

b. Produksi

Berikut ini merupakan daftar pabrik Maleat Anhidrida di Indonesia :

Tabel 1.2 Data Produksi *Maleat Anhidrida*

Nama	Lokasi	Kapasitas (Ton/Tahun)
PT Justus Sakti Raya	Jakarta, Indonesia	14.000

Sumber : ChemAnalyst, 2024

1.2.2 Permintaan (*Demand*)

Permintaan Maleat Anhidrida di Indonesia berasal dari industri hilir seperti resin poliester tak jenuh, pelapis (*coating*), surfaktan, aditif plastik, serta bahan kimia pertanian.

Sejalan dengan itu, permintaan di Indonesia juga meningkat seiring pertumbuhan sektor kimia dan manufaktur. Kondisi ini menunjukkan potensi besar untuk mendirikan pabrik Maleat Anhidrida dengan kapasitas menengah hingga besar guna memenuhi permintaan domestik dan peluang ekspor di masa depan.

a. Ekspor

Berikut ini merupakan data ekspor Maleat Anhidrida di Indonesia:

Tabel 1.3 Data Ekspor Maleat Anhidrida

Tahun	Jumlah (Ton/Tahun)
2013	7.937,25
2014	3.531,25
2015	6.240,77
2016	5.908,46
2017	5.524,54
2018	7.014,63
2019	6.103,83
2020	6.267,95
2021	4.866,08
2022	3.343,54

Sumber : World Bank, 2023

Berdasarkan data-data tersebut, didapatkan hasil koefisien korelasi atau R^2 sebesar 0,1451 dengan persamaan y = -180,53x + 369894. Karena nilai R^2 dari grafik tersebut mendekati 0 maka kita tidak bisa menghitung prediksi kebutuhan ekspor menggunakan regresi linier tersebut. Jadi, untuk memprediksi kebutuhan ekspor Maleat Anhidrida Indonesia pada tahun 2035, metode *Compound Annual Growth Rate* (CAGR) dapat digunakan.

$$i = \left(\left(\frac{P_n}{P_0}\right)^{\frac{1}{n}}\right) - 1 \quad \text{.....(1.1)}$$

Keterangan :

i : Laju Pertumbuhan

P_n : Data Awal (Tahun 2013)

P_0 : Data Akhir (Tahun 2022)

n : Rentang Tahun (9 Tahun)

Berdasarkan perhitungan rumus tersebut, didapatkan nilai Laju Pertumbuhan sebesar -9,164%. Lalu dengan menggunakan nilai i dari persamaan (1.1), maka dapat menghitung proyeksi untuk tahun 2035. Berdasarkan persamaan (1.1), rumus untuk menentukan proyeksi ekspor pada tahun 2035 dituliskan pada persamaan (1.2) :

$$P_{2035} = P_{2022} \times (1 + i)^n \quad \text{.....(1.2)}$$

Dari persamaan tersebut, didapatkan proyeksi ekspor Maleat Anhidrida pada tahun 2035 sebesar 954 ton/tahun.

b. Konsumsi

Di Indonesia, pemanfaatan Maleat Anhidrida didominasi oleh industri pembuatan resin, terutama resin poliester tak jenuh (UPR) yang digunakan dalam berbagai produk seperti peralatan kapal, tangki kimia, serta komponen otomotif. Konsumsi Maleat Anhidrida untuk sektor ini jauh lebih besar dibandingkan penggunaan pada industri lain seperti produksi pelapis

(*coatings*), tinta cetak, dan bahan tambahan aditif. Hal ini disebabkan karena peran Maleat Anhidrida yang esensial dalam memberikan sifat reaktif dan kekuatan mekanik pada resin. Kapasitas produksi pabrik resin poliester tak jenuh di Indonesia ditunjukkan pada tabel berikut, berdasarkan US Patent 4902773, yang menunjukkan bahwa Maleat Anhidrida diperlukan sebesar 20% untuk membuat resin poliester tak jenuh:

Tabel 1. 4 Data Pabrik Konsumsi Maleat Anhidrida

Nama	**Kapasitas (Ton/Tahun)**
PT Justus Sakti Raya	40.000
PT Pardic Jaya Chemicals	46.110
PT Eternal Buana Chemical Industries	70.000

Berdasarkan data pada tabel di atas, konsumsi Maleat Anhidrida pada seluruh sektor industri di Indonesia dapat dihitung dengan persamaan berikut :

Konsumsi Maleat Anhidrida secara keseluruhan = Total kapasitas pabrik UPR di Indonesia x 20%

…..(1.3)

= 156.110 x 20%

= 31.222 ton/tahun

1.2.3 Menghitung Kapasitas Produksi

Peluang = (Ekspor + Konsumsi) – (Impor + Produksi)……..(1.4)

= (954 + 31.222) ton/tahun – (3.934,69 + 14.000) ton/tahun

= 14.241,31 ton/tahun

Maleat Anhidrida sangat dibutuhkan di Indonesia dan di luar negeri. Pabrik baru harus memiliki kapasitas yang sama atau lebih besar dari kapasitas pabrik saat ini. Kapasitas pabrik Maleat Anhidrida domestik dan internasional ditunjukkan di bawah ini:

Tabel 1. 5 Kapasitas Pabrik Maleat Anhidrida di dunia

Nama	Lokasi	Kapasitas (Ton/Tahun)
PT Justus Sakti Raya	Jakarta, Indonesia	14.000
Wanhua Chemical – Plant Yantai	Yantai, Shandong, China	200.000
Huntsman – Moers	Moers, Jerman	105.000
GIKIL	Bosnia & Herzegovina	9.600
TN Maleik / Gebze Plant	Gebze, Turki	50.000

Sumber : ChemAnalyst, 2024 & Chemxplore, 2023

Dalam penentuan kapasitas pabrik, salah satu persyaratan yang digunakan adalah kapasitas minimum pabrik yang sudah beroperasi di Indonesia. Pabrik Maleat Anhidrida di Indonesia, PT. Justus Kimiaraya, yang berlokasi di Jakarta, memiliki kapasitas 14.000 Ton/Tahun. Berdasarkan

Tabel 1.5, kapasitas minimum pabrik di Indonesia adalah 14.000 Ton/Tahun, dan kapasitas minimum pabrik di seluruh dunia adalah 9.600 Ton/Tahun. Oleh karena itu, pabrik yang kami rencanakan berkapasitas 11.808 Ton/Tahun sudah memenuhi kapasitas minimum pabrik.

1.3 Tinjauan Pustaka

Maleat Anhidrida merupakan senyawa anhidrida asam dikarboksilat dengan rumus kimia $C_4H_2O_3$ yang berfungsi sebagai bahan antara dalam banyak proses industri kimia. Ini terutama digunakan untuk membuat resin poliester tak jenuh, pelapis permukaan, dan aditif plastik. Secara industri, Maleat Anhidrida diproduksi melalui reaksi oksidasi parsial hidrokarbon dalam fase gas menggunakan udara sebagai sumber Oksigen dengan bantuan katalis logam oksida. Reaksi oksidasi ini bersifat sangat eksotermik, sehingga pengendalian suhu, waktu tinggal, dan rasio udara terhadap bahan baku menjadi faktor kunci untuk mencegah terjadinya oksidasi total yang menghasilkan karbon monoksida dan karbon dioksida (Trivedi, 1982).

Dalam praktik industri, terdapat dua rute utama produksi Maleat Anhidrida yang telah dikembangkan dan digunakan secara luas, yaitu proses oksidasi Benzena dengan Oksigen dan proses oksidasi n-butana dengan udara. Kedua proses tersebut sama-sama menggunakan prinsip oksidasi selektif pada katalis padat dalam reaktor fase gas, namun memiliki perbedaan mendasar dalam mekanisme reaksi, karakter kinetika, selektivitas produk, kestabilan katalis, serta kompleksitas pengendalian panas. Perbedaan ini terutama disebabkan oleh perbedaan struktur kimia bahan

baku, di mana Benzena bersifat aromatik sedangkan n-butana merupakan hidrokarbon alifatik jenuh (Trivedi, 1982).

1.3.1 Macam-Macam Proses

A. Oksidasi Benzena dan Oksigen

Proses oksidasi Benzena menjadi Maleat Anhidrida dilakukan dalam reaktor *fixed-bed* multitubular pada fase gas dengan suhu operasi berkisar antara 319–377 °C dan tekanan mendekati atmosfer. Katalis yang digunakan adalah sistem vanadia–molibdena (V_2O_5–MoO_3) yang menunjukkan aktivitas dan selektivitas tinggi terhadap pembentukan Maleat Anhidrida pada kondisi kelebihan Oksigen, di mana permukaan katalis berada dalam keadaan jenuh Oksigen (Dmuchovsky et al., 1965).

Hasil kajian kinetika menunjukkan bahwa reaksi oksidasi Benzena berlangsung melalui dua lintasan reaksi yang bersaing, yaitu oksidasi parsial yang menghasilkan Maleat Anhidrida dan oksidasi total yang menghasilkan karbon monoksida dan karbon dioksida. Reaksi pembentukan Maleat Anhidrida dari Benzena secara keseluruhan dapat dinyatakan sebagai:

$$C_6H_6 + 4\ O_2 \rightarrow C_4H_2O_3 + CO + CO_2 + 2\ H_2O \text{.....(Pers 1.1)}$$

Mekanisme reaksi ini sangat dipengaruhi oleh kondisi operasi, terutama suhu dan waktu tinggal di dalam reaktor (Dmuchovsky et al., 1965).

Tabel 1. 6 Perbandingan Rasio Molar pada suhu 357 ^{o}C

Time (*sec*)	$[B]/[B]_0$ *obs*	$[B]/[B]_0$ *calc*	$[MA]/[B]_0$ *obs*	$[MA]/[B]_0$ *calc*
0,94	0,57	0,56	0,26	0,27
1,07	0,50	0,52	0,30	0,28
1,24	0,43	0,47	0,34	0,31
1,46	0,41	0,41	0,34	0,34
1,74	0,35	0,34	0,38	0,38
2,73	0,21	0,19	0,43	0,44
5,36	0,10	0,04	0,42	0,43

(Dmuchovsky et al. (1965)

Data eksperimen menunjukkan bahwa reaksi oksidasi Benzena mengikuti kinetika orde satu hingga sekitar 85% konversi Benzena, dan selektivitas terhadap Maleat Anhidrida tidak dinyatakan sebagai satu nilai persentase, melainkan dievaluasi melalui rasio molar Maleat Anhidrida

terhadap Benzena yang benar-benar bereaksi. Dalam penelitian ini, *yield* Maleat Anhidrida didefinisikan sebagai *Yield* Maleat Anhidrida = $[MA]/([B]_0 - [B])$. Berdasarkan data observasi pada suhu 357 °C dan waktu reaksi 5,36 s diperoleh nilai $[B]/[B]_0 = 0,10$ dan $[MA]/[B]_0 = 0,42$, sehingga fraksi Benzena yang bereaksi adalah $([B]_0 - [B])/[B]_0 = 0,90$. Dengan menggunakan definisi tersebut, *yield* Maleat Anhidrida yang dihasilkan adalah *Yield* Maleat Anhidrida = 0,42/0,90 = 0,467 atau setara dengan 46,7%. Nilai ini berada dalam kisaran 0,4–0,6 mol Maleat Anhidrida per mol Benzena yang bereaksi pada kondisi suhu dan waktu tinggal mendekati optimum, dan selanjutnya menurun pada waktu tinggal yang lebih lama akibat terjadinya oksidasi lanjutan Maleat Anhidrida menjadi oksida karbon (Dmuchovsky et al., 1965).

Peran katalis vanadia–molibdena dalam proses ini dikaitkan dengan keberadaan spesies permukaan yang memungkinkan transfer Oksigen secara bertahap, sehingga oksidasi Benzena dapat berlangsung secara selektif tanpa menyebabkan pembakaran sempurna. Gas hasil reaksi selanjutnya didinginkan sehingga Maleat Anhidrida terkondensasi dan terpisah dari gas sisa reaksi. Pada proses ini tidak digunakan tahap distilasi lanjutan, sehingga pemisahan produk hanya mengandalkan proses pendinginan dan kondensasi (Dmuchovsky et al., 1965).

B. Oksidasi Butana dan Udara

Proses oksidasi n-butana menjadi Maleat Anhidrida dilakukan dalam reaktor *fixed-bed* multitubular pada fase gas dengan suhu operasi berkisar antara 380–430 °C dan tekanan mendekati tekanan atmosfer. Reaktan n-butana dicampurkan dengan udara dalam kondisi kelebihan Oksigen untuk mempertahankan keadaan oksidatif pada permukaan katalis. Katalis yang digunakan adalah *vanadium–phosphorus oxide* (V–P–O), yang secara industri dikenal memiliki aktivitas dan selektivitas tinggi terhadap pembentukan Maleat Anhidrida dari hidrokarbon parafin jenuh (Ullmann's, 2012).

Reaksi oksidasi n-butana berlangsung melalui dua lintasan reaksi yang bersaing, yaitu oksidasi parsial yang menghasilkan *Maleat Anhidrida* dan oksidasi total yang menghasilkan karbon monoksida serta karbon dioksida. Reaksi pembentukan Maleat Anhidrida dari n-butana secara keseluruhan dapat dinyatakan sebagai:

$$C_4H_{10}+3{,}5\ O_2 \rightarrow C_4H_2O_3+4\ H_2O \quad \text{(Pers 1.2)}$$

Mekanisme reaksi ini sangat dipengaruhi oleh kondisi operasi, khususnya suhu reaktor dan waktu tinggal gas di dalam reaktor. Pada suhu yang terlalu tinggi atau waktu tinggal yang terlalu lama, Maleat Anhidrida yang telah terbentuk akan mengalami oksidasi lanjutan menjadi CO dan CO_2 sehingga menurunkan selektivitas proses (Ullmann's, 2012).

Kajian kinetika menunjukkan bahwa oksidasi n-butana dapat didekati dengan kinetika semu orde satu terhadap konsentrasi butana pada konversi rendah hingga menengah. Oleh karena itu, pengendalian konversi menjadi aspek penting untuk menjaga dominasi reaksi oksidasi parsial dibandingkan oksidasi total. Kondisi operasi industri umumnya diatur pada suhu sekitar 400–420 °C dengan waktu tinggal 1–3 s, sehingga konversi butana berada pada kisaran 60–80% (Ullmann's, 2012).

Peran katalis V–P–O dalam proses ini dikaitkan dengan kemampuannya menyediakan Oksigen kisi (*lattice oxygen*) secara bertahap, sehingga oksidasi n-butana dapat berlangsung secara selektif tanpa menyebabkan pembakaran sempurna. Gas hasil reaksi selanjutnya didinginkan sehingga Maleat Anhidrida terkondensasi dan terpisah dari gas sisa reaksi. Seperti pada proses oksidasi Benzena, pemisahan awal produk utama mengandalkan pendinginan dan kondensasi, tanpa melibatkan tahap distilasi lanjutan pada unit reaksi utama (Ullmann's, 2012).

1.3.2 Pemilihan Proses

Maleat Anhidrida merupakan senyawa anhidrida asam dikarboksilat dengan rumus kimia $C_4H_2O_3$ yang secara industri diproduksi melalui reaksi oksidasi parsial hidrokarbon fase gas menggunakan Oksigen dan katalis logam oksida. Dua rute utama yang digunakan adalah oksidasi Benzena (C_6H_6) dengan udara dan oksidasi n-butana (C_4H_{10}) dengan udara. Kedua proses tersebut berlangsung dalam reaktor

fixed-bed multitubular, namun berbeda dalam karakter bahan baku, kondisi operasi, dan kestabilan kinetika reaksi.

Pada proses oksidasi Benzena (C_6H_6), reaksi berlangsung pada suhu 319–377 °C menggunakan katalis *vanadia–molibdena* (V_2O_5–MoO_3). Kajian kinetika menunjukkan bahwa reaksi oksidasi Benzena mengikuti kinetika orde satu hingga sekitar 85% konversi Benzena, dengan dua lintasan reaksi yang bersaing, yaitu pembentukan Maleat Anhidrida dan oksidasi total menjadi CO dan CO_2. Selektivitas terhadap Maleat Anhidrida masih dapat dikendalikan melalui pengaturan suhu dan waktu tinggal reaktor.

Sebaliknya, proses oksidasi n-butana (C_4H_{10}) memerlukan suhu operasi yang lebih tinggi, yaitu 380–430 °C, dengan katalis *vanadium–phosphorus oxide* (V–P–O). Reaksi ini bersifat lebih sensitif terhadap perubahan suhu dan waktu tinggal, sehingga konversi n-butana umumnya dibatasi pada kisaran 60–80% untuk menekan pembentukan produk oksidasi total.

Berdasarkan perbandingan kondisi operasi, karakter kinetika, serta kestabilan pengendalian selektivitas reaksi, maka proses oksidasi Benzena (C_6H_6) dengan Oksigen dipilih sebagai rute produksi *Maleat Anhidrida* dalam perancangan ini.

Untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif, berikut disajikan tabel perbandingan antara kedua proses produksi Maleat Anhidrida tersebut:

Tabel 1. 7 Tabel Perbandingan Proses Produksi Maleat Anhidrida antara Oksidasi Benzena dan n-Butana

No.	Parameter	Oksidasi Benzena	Oksidasi *n*-Butana
1	Bahan baku	Benzena (C_6H_6)	*n*-Butana (C_4H_{10})
2	Fase reaksi	Gas	Gas
3	Jenis reaktor	*Fixed-bed* multitubular	*Fixed-bed* multitubular
4	Katalis	V_2O_5–MoO_3	V–P–O
5	Suhu operasi	319–377 °C	380–430 °C
6	Konversi reaktan	≈ 85%	60–80%
7	Karakter kinetika	Orde satu hingga 85% konversi	Semu orde satu
8	Pengendalian proses	Lebih stabil	Lebih sensitif

Sumber : Dmuchovsky et al., 1965 Ullmann's, 2012

Berdasarkan tinjauan pustaka dan perbandingan kedua rute produksi Maleat Anhidrida, proses oksidasi Benzena (C_6H_6) menunjukkan keunggulan berupa konversi hingga sekitar 85%, suhu operasi yang lebih rendah, serta karakter kinetika dan selektivitas yang lebih stabil dibandingkan proses oksidasi n-butana (C_4H_{10}). Oleh karena itu, proses oksidasi Benzena dengan Oksigen dipilih sebagai proses produksi Maleat Anhidrida dalam perancangan ini karena lebih sesuai dari aspek teknis dan kemudahan pengendalian operasi.

1.3.3 Tinjauan Kinetika

Merangkum model kinetika, persamaan laju, parameter Arrhenius, dan perhitungan konstanta laju (k) pada T = 357 °C berdasarkan data pada jurnal Dmuchovsky et al. (1965).

1. **Persamaan Reaksi**

   Jurnal mengadopsi tiga reaksi utama sebagai model kinetika:

   $C_6H_6 + 4\ O_2 \rightarrow C_4H_2O_3 + CO + CO_2 + 2\ H_2O$……..….(Pers 1.1)

   $C_4H_2O_3 + 5/2\ O_2 \rightarrow 3\ CO_2 + CO + H_2O$…….……..….(Pers 1.3)

   $C_6H_6 + 13/2\ O_2 \rightarrow 4\ CO_2 + 2\ CO + 3\ H_2O$……...….(Pers 1.4)

2. **Persamaan Arrhenius (bentuk umum):**

   $k(T) = A \cdot \exp(-Ea / (R \cdot T))$ ……..….(1.5)

   Keterangan :

   k(T) : Konstanta Laju pada temperatur T (s^{-1})

   A : Faktor Frekuensi (s^{-1}).

   Ea : Energi Aktivasi ($kcal \cdot mol^{-1}$).

   R : Konstanta Gas Universal (0.001987 $kcal \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$).

   T : Temperatur Operasi (K).

3. **Parameter Arrhenius**

   Jurnal melaporkan log10(A) dan Ea (kcal/mol) untuk tiga jalur kinetika. Pemilihan suhu 357 °C dipilih karena pada rentang eksperimen jurnal

memberikan rasio produktivitas Maleat Anhidrida yang baik. Berikut nilai yang diambil dari jurnal:

Tabel 1. 8 Nilai Parameter Arrhenius

Jalur	log10(A)	Ea (kcal/mol)	k at 357 °C (s^{-1})
k1	11,7	35,0	3,6431e-01
k2	0,4	4,9	5,0189e-02
k3	8,4	26,0	2,4144e-01

(Dmuchovsky et al. (1965)

4. Persamaan Kinetika

Model yang digunakan dalam jurnal adalah model orde-1. Persamaan laju:

$$- d[B]/dt = (k1 + k3)\,[B] \quad \text{……(1.6)}$$

$$d[MA]/dt = k1\,[B] - k2\,[MA] \quad \text{……(1.7)}$$

$$d[CO]/dt = (k1 + 2\,k3)\,[B] + k2\,[MA] \quad \text{……..(1.8)}$$

$$d[CO2]/dt = (k1 + 4\,k3)\,[B] + 3\,k2\,[MA] \quad \text{…….(1.9)}$$

Solusi analitik untuk [B](t) (integrasi sederhana, asumsi k konstanta):

$$[B](t) = [B]0 \cdot \exp(- (k1 + k3) \cdot t) \quad \text{…… (1.10)}$$

Persamaan untuk [MA](t) diberikan dalam jurnal (ekspresi tertutup) dan dapat diselesaikan menggunakan metode analitik yang dipaparkan oleh penulis.

(Dmuchovsky et al. (1965).

1.3.4 Tinjauan Termodinamika

Menentukan sifat reaksi (eksotermis atau endotermis) dan arah reaksi (*reversible* atau *irreversible*) adalah fokus pemeriksaan termodinamika. Perhitungan panas reaksi (ΔHR°), yang didasarkan pada panas pembentukan standar (ΔHf°) pada kondisi standar (P = 1 bar, T = 25 °C), dan perhitungan energi Gibbs pada kondisi operasi, dapat digunakan untuk menentukan sifat reaksi. Harga ΔHf° dan ΔGf° masing-masing komponen ditunjukkan di bawah ini:

Tabel 1. 9 Harga ΔHf° dan ΔGf°

Komponen	**$\Delta H_f°$, kJ/mol**	**$\Delta G_f°$, kJ/mol**
C_6H_6	82,93	129,7
$C_4H_2O_3$	-396,3	-355
CO_2	–393,51	–394,36
O_2	0	0
H_2O	–241,82	–228,57
CO	–110,53	–137,16

Sumber : NIST, 2023

Reaksi pembentukan Maleat Anhidrida:

$C_6H_6 + 4\ O_2 \rightarrow C_4H_2O_3 + CO + CO_2 + 2\ H_2O$…….. (Pers 1.1)

1. **Panas reaksi standar ($\Delta H_{298}°$)**

($\Delta H_{298}°$) $= \Sigma\ \Delta H_f°$ produk - $\Delta H_f°$ reaktan…… (1.11)

$= \Delta H_f° (C_4H_2O_3 + CO + CO_2 + 2\ H_2O) - \Delta H_f° (C_6H_6 + 4\ O_2)$

= ((-396,3) + (-393,51) + (-110,53) + (2*(-241,8))) – (82,93 + 0)

= -1.466,87 kJ/mol

2. **Panas reaksi pada temperatur operasi (T = 357°C = 630 K)**

($\Delta H_{630}°$) $= (\Delta H_{298}°) + \int_{298}^{630} (Cp, produk - Cp, reaktan) dT$….(1.12)

= -1.466,87 kJ/mol + 84025,609 kJ/kmol

= -799254,391 kJ/kmol

3. **Konstanta kesetimbangan (K_1) pada keadaan standar**

Persamaan berikut dapat digunakan untuk menghitung perubahan energi Gibbs pada keadaan standar (T = 298 K dan P = 1 bar) (Smith Van Ness, 1987)

$\Delta G_f° = -RT_1\ In\ K_1$ ……(1.13)

Dengan :

$\Delta G_f°$ = Energi Gibbs pada keadaan standar, J/mol

$\Delta H_{298}°$ = Panas reaksi, J/mol

K_1 = Konstanta kesetimbangan pada keadaan standar

T_1 = Temperatur standar, K

R = Tetapan gas ideal, J/mol.K (8,314 J/mol.K)

Sehingga $\Delta G_f°$ dari reaksi tersebut adalah :

$(\Delta G_f°)$ $= \Sigma\ \Delta G_f°$ produk - $\Delta G_f°$ reaktan…… (1.14)

$= \Delta G_f°\ (C_4H_2O_3 + CO + CO_2 + 2\ H_2O) - \Delta G_f°\ (C_6H_6 + O_2)$

$= ((-355) + (–137,16\ ) + (-394,36) + (2*(-228,57))) – (129,7 + 0)$

= -1.473,36 kJ/mol

Hasil di atas kemudian disubstitusi ke persamaan, sehingga diperoleh :

$\ln K_{298\ K} = \frac{\Delta Gf°}{-RT1}$……(1.15)

$= \frac{-1473360 \frac{J}{mol}}{-8{,}314 \frac{J}{mol.K}\ x\ 298\ K}$

= 594,679

4. Konstanta kesetimbangan pada temperatur operasi (T = 357°C = 630 K)

Untuk mengetahui konstanta kesetimbangan reaksi pada temperature operasi (T2), gunakan rumus berikut (Smith,1987) :

$$\ln \frac{630\ K}{298\ K} = \left(\frac{\Delta H298°}{R}\right)\left(\frac{1}{T\ Operasi} - \frac{1}{T\ 298\ K}\right)\text{……..(1.16)}$$

$$\ln K_{630\ K} - \ln K_{298\ K} = \left(\frac{-1466870 \frac{J}{mol}}{-8{,}314 \frac{J}{mol.K}}\right)\left(\frac{1}{630} - \frac{1}{298}\right)$$

$\ln K_{630\ K} = 312 + (594{,}679)$

$\ln K_{630\ K} = 906{,}679$

Dengan harga ln $K_{630\ K}$ yang sangat besar, dapat disimpulkan bahwa reaksi pembuatan Maleat Anhidrida dari Benzena merupakan reaksi *irreversible* (reaksi yang tidak dapat balik).

BAB II

PERANCANGAN PRODUK

2.1 Spesifikasi Produk

2.1.1 Maleat Anhidrida

Rumus molekul	:	$C_4H_2O_3$
Berat molekul (*Molecular weight, MW*)	:	98,05808 g/mol
Kemurnian	:	≥ 99,5% (sesuai rancangan pabrik)
Impurities (H_2O)	:	≥ 0,5%
Warna	:	Putih–kuning
Wujud	:	Padatan/kristalin
Specific gravity (SG)	:	1,37359
Titik beku (*Freezing point*)	:	52,85 °C
Titik tripel (*Triple point*)	:	52,57 °C
Titik didih (*Boiling point*)	:	202 °C
Titik kritis (*Critical temperature, Tc*)	:	447,85 °C
Tekanan kritis (*Critical pressure, Pc*)	:	72,8 bar
Volume kritis (*Critical volume, Vc*)	:	219 cc/mol
Faktor kompresibilitas kritis (*Zc*)	:	0,266
Entropi 25 °C ($S°_{25}$)	:	101,863571 cal/mol·K

Kapasitas panas cair (*Cp liquid*)	:	6,07631126 cal/mol·K
Panas peleburan (*Heat of fusion, Hfus*)	:	3236,3619 cal/mol
Panas penguapan (*Heat of vaporization, Hvap*)	:	11301,4952 cal/mol
Energi bebas pembentukan gas (*ΔGf gas*)	:	–84.790,293 cal/mol
Entalpi pembentukan gas (*ΔHf gas*)	:	–90.570,364 cal/mol
Entalpi standar pembentukan (*ΔHf°*)	:	–95.132,321 cal/mol
Entalpi pembentukan padat (*ΔHf solid*)	:	–112.209,8 cal/mol
Entalpi kombinasi (*Heat of combustion, Hcomb*)	:	–321.486,58 cal/mol
Momen dipol (*Dipole moment*)	:	3,92729587 Debye
Parameter *ASOG (Omega)*	:	0,54629
Volume cair kondisi standar (*VLSTD*)	:	71,5678 cc/mol
Volume cair (*VB*)	:	87,7187 cc/mol
Konstanta *Redlich–Kwong ZRA (RKZTRA)*	:	0,27158
Indeks *API*	:	–28,4851
Muatan (*Charge*)	:	0

Sumber : Safety Data Sheet: Maleat Anhidrida.

Aspen Plus, 2023.

2.2 Spesifikasi Bahan Baku

2.2.1 Benzena

Rumus molekul	:	C_6H_6
Berat molekul (*Molecular weight, MW*)	:	78,11364 g/mol
Kemurnian	:	≥ 99,7% (sesuai *supplier* bahan baku)
Impurities (C_7H_8)	:	≥ 0,3%
Warna	:	Tidak berwarna
Wujud	:	Cairan
Specific gravity (SG)	:	0,8844
Titik beku (*Freezing point*)	:	5,53 °C
Titik tripel (*Triple point*)	:	5,53 °C
Titik didih (*Boiling point*)	:	80,09 °C
Titik kritis (*Critical temperature, Tc*)	:	288,9 °C
Tekanan kritis (*Critical pressure, Pc*)	:	48,95 bar
Volume kritis (*Critical volume, Vc*)	:	256 cc/mol
Faktor kompresibilitas kritis (*Zc*)	:	0,268
Entropi pada 25 °C ($S°_{25}$)	:	48,9985192 cal/mol·K
Kapasitas panas cair (*Cp liquid*)	:	0,31941578 cal/mol·K
Panas peleburan (*Heat of fusion, Hfus*)	:	2356,45362 cal/mol
Panas penguapan (*Heat of vaporization, Hvap*)	:	7341,38244 cal/mol
Energi bebas pembentukan gas (*ΔGf gas*)	:	30.954,43 cal/mol

Entalpi standar pembentukan (*ΔHf°*)	:	19.795,55 cal/mol
Entalpi kombinasi (*Heat of combustion, Hcomb*)	:	–749.020,73 cal/mol
Tipe entalpi (*Hctype*)	:	5
Momen dipol (*Dipole moment*)	:	0 Debye
Parameter *ASOG (Omega)*	:	0,2103
Volume cair kondisi standar (*VLSTD*)	:	88,5901 cc/mol
Volume cair (*VB*)	:	95,8294 cc/mol
Konstanta *Redlich–Kwong ZRA (RKZTRA)*	:	0,2697
API gravity	:	28,5
Muatan (*Charge*)	:	0

Sumber : Safety Data Sheet: Benzena 99.9%.

Aspen Plus, 2023.

2.2.2 Udara

Nitrogen (N_2)	:	78,06% (fraksi mol)
Oksigen (O_2)	:	20,95% (fraksi mol)
Impurities (Ar)	:	0,943%
Impurities (CO_2)	:	0,042%
Impurities (Ne)	:	0,0018%
Impurities (He)	:	0,00052%
Impurities (CH_4)	:	0,00019%
Impurities (Kr)	:	0,00011%
Impurities (H_2)	:	0,00005%
Warna	:	Tidak berwarna
Wujud	:	Gas
Specific gravity (SG)	:	0,3 (relatif terhadap udara)
Titik beku (*Freezing point*)	:	–218,789 °C
Titik tripel (*Triple point*)	:	–218,789 °C
Titik didih (*Boiling point*)	:	–182,962 °C
Titik kritis (*Critical temperature, Tc*)	:	–118,57 °C
Tekanan kritis (*Critical pressure, Pc*)	:	50,43 bar
Volume kritis (*Critical volume, Vc*)	:	73,4 cc/mol
Faktor kompresibilitas kritis (*Zc*)	:	0,288
Panas peleburan (*Heat of fusion, Hfus*)	:	106,047578 cal/mol
Panas penguapan (*Heat of vaporization, Hvap*)	:	1620,63151 cal/mol
Entalpi pembentukan cair (*ΔHf liquid*)	:	–2794,497 cal/mol

Entalpi kombinasi (*Hcomb*)	:	0 cal/mol
Berat molekul (*Molecular weight, MW*)	:	31,9988 g/mol
Parameter *ASOG (Omega)*	:	0,0221798
Konstanta *Redlich–Kwong ZRA (RKZTRA)*	:	0,28925
Volume cair (*VB*)	:	28,0225 cc/mol
Volume cair standar (*VLSTD*)	:	53,5578 cc/mol
API gravity	:	340

Sumber : Safety Data Sheet: Compressed Air.

Aspen Plus, 2023.

2.3 Spesifikasi Bahan Penunjang

2.3.1 Vanadium Pentoksida

Rumus molekul	:	V_2O_5
Berat molekul (*Molecular weight, MW*)	:	181,88 g/mol
Kemurnian	:	≥ 99% (sesuai kebutuhan proses)
Warna	:	Oranye–merah coklat
Wujud	:	Padatan
Titik beku (*Freezing point*)	:	669,85 °C
Panas peleburan (*Heat of fusion, Hfus*)	:	15.409,62 cal/mol
Kapasitas panas cair (*Cp liquid*)	:	2,06521687 cal/mol·K

Sumber : Safety Data Sheet: *Vanadium Pentoxide (V_2O_5)*.

Aspen Plus, 2023.

2.3.2 Molibdenum Trioksida

Rumus molekul	:	MoO_3
Berat molekul (*Molecular weight, MW*)	:	143,9382 g/mol
Kemurnian	:	≥ 99% (sesuai kebutuhan proses)
Warna	:	Kuning–putih
Wujud	:	Padatan
Titik beku (*Freezing point*)	:	801,85 °C
Titik didih (*Boiling point, TB*)	:	1154,85 °C
Panas peleburan (*Heat of fusion, Hfus*)	:	11.682,19 cal/mol
Kapasitas panas cair (*Cp liquid*)	:	3,99405274 cal/mol·K

Sumber : Safety Data Sheet: *Molybdenum Trioxide (MoO_3)*.

Aspen Plus, 2023.

2.4 Pengendalian Kualitas

Proses untuk memastikan bahwa seluruh proses produksi, mulai dari bahan baku, operasi proses, hingga produk akhir, memenuhi standar kualitas yang telah ditetapkan dikenal sebagai pengendalian kualitas. Pengendalian ini bertujuan

menjaga konsistensi performa pabrik, mencegah cacat produk, dan memastikan keselamatan serta keandalan operasi pabrik.

2.4.1 Pengendalian Kualitas Bahan Baku

Pengendalian kualitas bahan baku dilakukan untuk memastikan bahwa Benzena dan Oksigen yang digunakan dalam proses memiliki kemurnian dan karakteristik yang sesuai agar reaksi dapat berlangsung efektif dan tidak merusak katalis. Bahan baku yang tidak memenuhi spesifikasi dapat menyebabkan penurunan aktivitas katalis dan efisiensi proses (Kirk-Othmer, 2014).

Pengujian biasanya melibatkan pemeriksaan kemurnian, kadar air, serta adanya kontaminan tertentu yang dapat mempengaruhi jalannya reaksi (Perry & Green, 2008).

2.4.2 Pengendalian Kualitas Proses

Pengendalian kualitas proses bertujuan memastikan bahwa seluruh tahapan reaksi dan operasi unit berlangsung dalam kondisi optimal sehingga dapat menghasilkan konversi dan selektivitas yang stabil, sekaligus menjaga keamanan dan keandalan operasi pabrik. Sistem kontrol proses memantau parameter penting seperti suhu, tekanan, aliran, dan level agar tetap berada pada rentang operasi yang telah ditetapkan.

Pengendalian proses dilakukan melalui beberapa jenis kontrol seperti *level control*, *flow control*, *temperature control*, dan *pressure control* yang bekerja

secara terintegrasi dalam sistem DCS. Hal ini penting untuk mencegah deviasi operasi dan menghindari kondisi berbahaya (Perry & Green, 2008).

1. *Level Control*

Level control menjaga ketinggian cairan di dalam peralatan seperti absorber, stripper, dan tangki penyimpanan sehingga mencegah *overflow* atau kekurangan pasokan cairan (Kirk-Othmer, 2014).

2. *Flow Control*

Flow control mengatur laju aliran bahan baku dan aliran internal proses sehingga menjaga stabilitas kondisi operasi.

3. *Temperature Control*

Temperature control memastikan suhu proses tetap stabil, terutama pada reaksi eksotermis oksidasi Benzena agar tidak terjadi *hotspot*.

4. *Pressure Control*

Pressure control menjaga tekanan operasi peralatan agar tetap aman dan efisien serta mencegah kondisi *overpressure* (Perry & Green, 2008).

2.4.3 Pengendalian Kualitas Produk

Pengendalian kualitas produk dilakukan untuk memastikan bahwa Maleat Anhidrida yang dihasilkan memenuhi standar mutu industri. Pemeriksaan

dilakukan terhadap kemurnian, tampilan fisik, kandungan air, dan kemungkinan adanya pengotor (Kirk-Othmer, 2014).

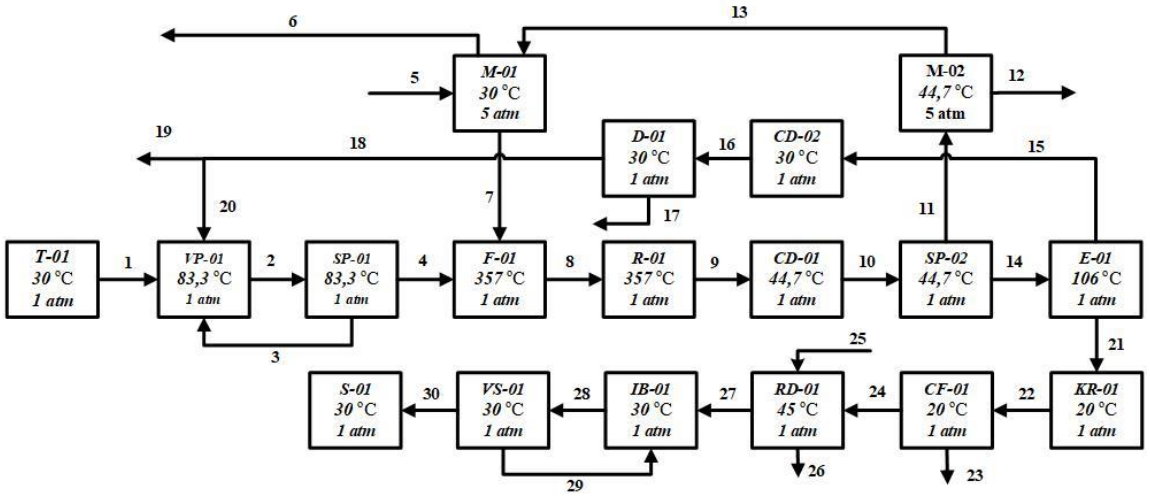
Pengujian dilakukan menggunakan metode analisis standar untuk memastikan bahwa produk sesuai dengan persyaratan pelanggan dan regulasi industri (Perry & Green, 2008).

BAB III

PERANCANGAN PROSES

3.3 Diagram Alir Proses dan Material

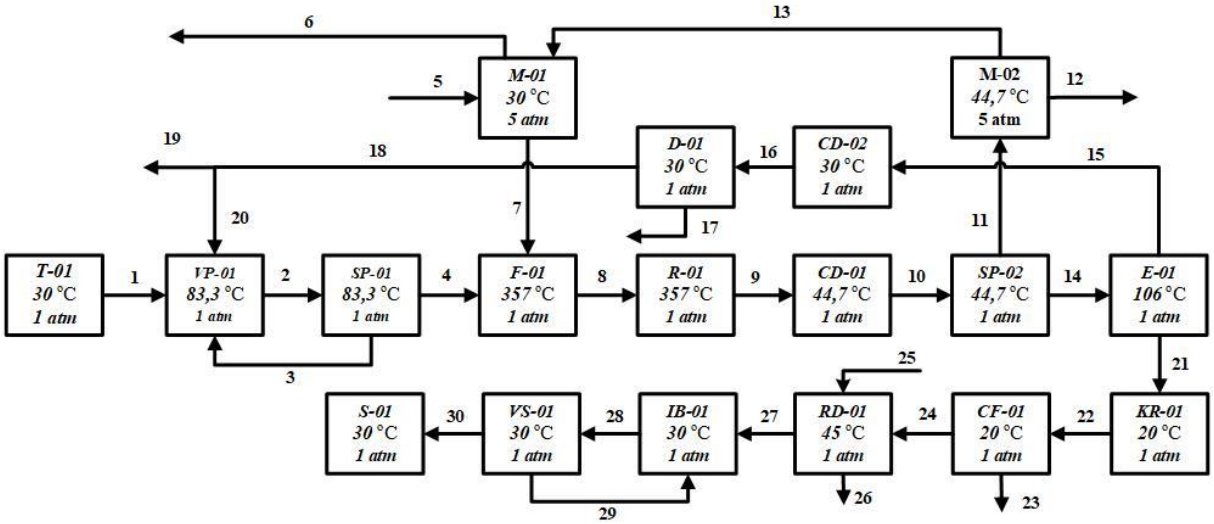
3.3.1 Digram Alir Kualitatif



Arus																														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
C_6H_6	C_6H_6	C_6H_6	C_6H_6	N_2	N_2	O_2	C_6H_6	C_6H_6	C_6H_6	O_2	CO_2	O_2	C_6H_6	C_6H_6	C_6H_6	$C_4H_2O_3$	C_6H_6	C_6H_6	C_6H_6	C_6H_6	C_6H_6	C_6H_6	C_6H_6	Udara Panas	C_6H_6	$C_4H_2O_3$	$C_4H_2O_4$	$C_4H_2O_5$	$C_4H_2O_6$
C_7H_8	C_7H_8	C_7H_8	C_7H_8	O_2	CO		$C_4H_2O_3$	$C_4H_2O_3$	$C_4H_2O_3$	CO_2		CO	$C_4H_2O_3$	$C_4H_2O_3$	$C_4H_2O_3$	H_2O	$C_4H_2O_3$	$C_4H_2O_3$	$C_4H_2O_3$	$C_4H_2O_3$	$C_4H_2O_3$	$C_4H_2O_3$	$C_4H_2O_3$		$C_4H_2O_3$	H_2O	H_2O	H_2O	H_2O
	$C_4H_2O_3$	$C_4H_2O_3$	$C_4H_2O_3$				O_2	O_2	O_2	CO			C_7H_8	C_7H_8	C_7H_8		C_7H_8	C_7H_8	C_7H_8	C_7H_8	C_7H_8	C_7H_8	C_7H_8		C_7H_8				
							C_7H_8	CO_2	CO_2				H_2O	H_2O	H_2O					H_2O	H_2O	H_2O	H_2O		H_2O				
								CO	CO																Udara Panas					
								C_7H_8	C_7H_8																					
								H_2O	H_2O																					

Gambar 3. 1 Diagram Alir Kualitatif

3.3.1 Diagram Alir Kuantitatif



Komponen	Arus																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
C_6H_6	2655,976	3609,727	721,945	2887,782				2887,782	473,600	473,600				473,600	463,612	463,612		463,612	231,806	231,806	9,988	9,988	9,489	0,499		0,499				
$C_4H_2O_3$		4,888	0,978	3,910				13,347	1619,276	1619,276				1619,276	57,641	57,641	49,820	7,820	3,910	3,910	1561,636	1561,636	74,178	1487,459		3,904	1483,554	1498,540	14,985	1483,554
N_2					5087,892	19140,167																								
O_2					19140,167		6219,781	6219,781	1131,889	1131,889	1131,889		1131,889																	
CO_2									3220,008	3220,008	3220,008	3220,008																		
CO						1299,077			1299,077	1299,077	1299,077		1299,077																	
C_7H_8	6,894	16,683	3,337	13,347				3,910	13,347	13,347				13,347	12,906	12,906		12,906	6,453	6,453	0,441	0,441	0,419	0,022		0,022				
H_2O									1367,623	1367,623				1367,623	720,962	720,962	720,962				646,661	646,661	614,328	32,333		24,878	7,455	7,530	0,075	7,455
Udara Panas																									93,882	93,882				

Gambar 3. 2 Diagram Alir Kuantitatif

3.2 Uraian Proses

Dalam perancangan ini, Maleat Anhidrida dari Benzena dan Oksigen dibuat dalam tiga tahap utama: persiapan bahan baku, sintesis produk, dan pemurnian dan pembentukan produk. Secara keseluruhan, proses diawali dari pengolahan Benzena dan Oksigen sebagai bahan baku hingga mencapai kondisi operasi yang sesuai, kemudian dilanjutkan dengan reaksi oksidasi Benzena di dalam reaktor untuk menghasilkan Maleat Anhidrida, dan diakhiri dengan serangkaian proses pemisahan, pemurnian, serta pembentukan produk padat. Selain itu, sistem ini juga dilengkapi dengan berbagai aliran *recycle* baik dalam fase gas, cair, maupun padatan, yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi proses, mengurangi kehilangan bahan baku, serta menjaga kestabilan operasi secara keseluruhan.

3.2.1 Tahap Persiapan Bahan Baku

Pada tahap persiapan bahan baku, Benzena sebagai bahan baku utama disimpan dalam Tangki-01 sebagai aliran 1 pada kondisi cair dengan suhu sekitar 30°C dan tekanan 1 atm. Benzena kemudian dialirkan menuju *Vaporizer*-01 (VP-01) untuk diuapkan menjadi fase gas. Hasil penguapan keluar sebagai aliran 2 menuju *Separator*-01 (SP-01) untuk memastikan bahwa Benzena telah sepenuhnya berada dalam fase gas, sedangkan sisa cairan yang belum menguap *direcycle* kembali ke *vaporizer* melalui aliran 3. *Benzena* dalam fase gas selanjutnya keluar sebagai aliran 4 dan dipanaskan di *Furnace*-01 (F-01) hingga mencapai suhu operasi sebesar 357°C agar siap untuk direaksikan.

Di sisi lain, udara dari lingkungan terlebih dahulu dialirkan melalui Filter Udara (FU-01) untuk menghilangkan pengotor, kemudian dikompresi dan diproses dalam Kompresor-01 (K-01) yang tidak hanya menaikkan tekanan tetapi juga membantu pemisahan awal gas, khususnya untuk memperkaya kandungan Oksigen serta mengurangi nitrogen dan karbon monoksida. Udara terkompresi ini kemudian dialirkan sebagai aliran 5 menuju Membran-01 (M-01), dimana terjadi pemisahan lanjutan sehingga dihasilkan aliran 6 berupa campuran CO dan N_2 yang dibuang dari sistem, serta aliran 7 berupa gas kaya Oksigen yang digunakan sebagai umpan reaktor. Aliran 7 kemudian bergabung dengan *Benzena* panas dari *furnace* dan masuk ke reaktor sebagai aliran 8.

3.2.2 Tahap Sintesis Produk

Tahap sintesis produk berlangsung di dalam Reaktor-01 (R-01) yang merupakan *fixed bed multitube reactor* dengan katalis V_2O_5-MoO_3. Umpan reaktor berupa campuran Benzena dan Oksigen pada aliran 8 direaksikan pada kondisi operasi suhu 357°C dan tekanan 1 atm. Reaksi yang terjadi adalah oksidasi Benzena menjadi Maleat Anhidrida yang bersifat eksotermis, sehingga selama proses berlangsung diperlukan sistem pendinginan untuk menjaga kestabilan suhu reaktor. Pendingin yang digunakan adalah *Dowtherm A* yang bersirkulasi di sisi *shell* reaktor. Selama reaksi berlangsung, selain terbentuk produk utama Maleat Anhidrida, juga dihasilkan produk samping seperti CO_2, CO, dan H_2O. Hasil keluaran reaktor berupa campuran gas panas yang keluar sebagai aliran 9 dan

selanjutnya dialirkan menuju tahap pemurnian untuk pemisahan dan pengolahan lebih lanjut.

3.2.3 Tahap Pemurnian dan Pembentukan Produk

Pada tahap pemurnian dan pembentukan produk, aliran gas hasil reaktor (aliran 9) terlebih dahulu didinginkan di Kondensor-01 (CD-01) sehingga sebagian komponen terkondensasi, kemudian dialirkan sebagai aliran 10 ke *Separator*-02 (SP-02) untuk pemisahan fase gas dan cair. Fase cair hasil pemisahan keluar sebagai aliran 14 dan dialirkan menuju *Evaporator*-01 (E-01) untuk meningkatkan konsentrasi Maleat Anhidrida, sedangkan fase gas keluar sebagai aliran 11 yang kemudian dialirkan ke Membran-02 (M-02) melalui aliran 15 untuk dilakukan pemisahan komponen gas.

Pada Membran-02 (M-02) dihasilkan aliran 12 berupa CO_2 sebagai produk samping yang dapat dimanfaatkan secara komersial, serta aliran 13 berupa campuran O_2 dan CO yang *direcycle* kembali ke Membran-01 (M-01) untuk meningkatkan efisiensi penggunaan Oksigen dalam proses. Fase cair dari evaporator keluar sebagai aliran 21 menuju *Kristallizer*-01 (KR-01) untuk pembentukan kristal Maleat Anhidrida, dimana *slurry* yang terbentuk dialirkan sebagai aliran 22 ke *Centrifuge*-01 (CF-01) untuk memisahkan padatan dan cairan.

Padatan hasil *centrifuge* keluar sebagai aliran 24 dan dikeringkan dalam *Rotary Dryer*-01 (RD-01) dengan bantuan udara panas sebagai aliran 25, menghasilkan produk kering sebagai aliran 27 dan uap air sebagai aliran 26. Produk

kering ini kemudian diproses di *Impact Breaker*-01 (IB-01) dan diteruskan ke *Vibrating Screen*-01 (VS-01) sebagai aliran 28 untuk pengaturan ukuran partikel, dimana produk dengan ukuran sesuai spesifikasi keluar sebagai aliran 30 menuju Silo-01 (S-01) sebagai produk akhir, sedangkan partikel berukuran besar *direcycle* melalui aliran 29 kembali ke *impact breaker* untuk diperkecil ulang.

Selain itu, sebagian aliran cair dari sistem kondensasi juga dialirkan ke Dekanter-01 (D-01) melalui aliran 16 untuk pemisahan lebih lanjut, dimana dihasilkan aliran 17 berupa fase air yang dibuang ke unit pengolahan limbah serta aliran 18 berupa fase organik. Aliran 18 ini kemudian dibagi menjadi aliran 19 sebagai *purge* yang dibuang untuk mencegah akumulasi *impurities*, serta aliran 20 berupa *Benzena* yang masih mengandung Maleat Anhidrida dan sedikit *impurities* seperti *toluene* yang *direcycle* kembali ke proses awal. Dengan rangkaian proses ini, dihasilkan produk akhir berupa Maleat Anhidrida padat dengan kualitas dan ukuran partikel yang telah dikontrol sesuai spesifikasi.

3.3 Spesifikasi Alat

3.3.1 Tangki Penyimpanan Bahan Baku

a. Tangki Penyimpanan Benzena (C_6H_6)

Tabel 3. 1 Spesifikasi Alat Penyimpanan Benzena (C_6H_6)

No.	Spesifikasi Alat	Tangki-01
1.	Fungsi	Untuk menyimpan bahan baku Benzena untuk kebutuhan selama 3 hari
2.	Kode Alat	T-01
3.	Fasa	Cairan
4.	Jenis/Tipe Alat	Tangki silinder tegak (*vertical cylinder*) dengan dasar datar (*flat bottom*) dan bagian atas *torispherical*
5.	Bahan Konstruksi	*Stainless Steel SA 167 Grade 3 Type 304*
6.	Jumlah (buah)	1
7.	Kapasitas (kg)	191726,591
8.	Kondisi Operasi	
	Tekanan (P), (atm)	1
	Suhu (T), (°C)	30
9.	Volume (m^3)	265,082
10.	Dimensi *Shell*	
	Diameter (D), (m)	10,668
	Tinggi (H), (m)	3,6576

Tabel 3. 2 Spesifikasi Alat Penyimpanan Benzena C_6H_6 (Lanjutan)

No.	Spesifikasi Alat	Tangki-01
	Course Plate (buah)	3
	Course I (in)	144
	Course II (in)	72
	Course III (in)	0
	Tebal *Shell* (ts), (in)	0,1875
	Tebal *Head* (th), (in)	0,1875
	Tinggi Total (htotal), (m)	5,041
11.	Harga ($)	292.774,10

3.3.2 Tangki Penyimpanan Produk

a. Silo

Tabel 3. 3 Spesifikasi Alat Silo

No.	Spesifikasi Alat	Silo-01
1.	Fungsi	Menyimpan kebutuhan produk $C_4H_2O_3$ selama 7 hari
2.	Kode Alat	S-01
3.	Fasa	Padatan
4.	Jenis/Tipe Alat	Silinder tegak dengan *conical bottom* dan *flat head*
5.	Bahan Konstruksi	*Carbon Steel SA-283 Grade C*
6.	Jumlah (buah)	1
7.	Kondisi Operasi	
	Tekanan (P), (atm)	1
	Suhu (T), (°C)	20
8.	Spesifikasi Alat	
	Diameter (D), (m)	6,678
	Tebal *Shell* (ts), (in)	0,375
	Tebal *Head* (th), (in)	0,625
	Tinggi, (m)	15,873
9.	Harga ($)	146.100,30

3.3.3 Reaktor

a. Reaktor *Fixed Bed Multitube*

Tabel 3. 4 Spesifikasi Alat Reaktor

No.	Spesifikasi Alat	Reaktor-01
1.	Fungsi	Untuk mereaksikan Benzena dengan Oksigen dengan V_2O_5-MoO_3 sebagai katalisator
2.	Kode Alat	R-01
3.	Fasa	Gas
4.	Jenis/Tipe Alat	*Fixed Bed Multitube*
5.	Bahan Konstruksi	*Stainless Steel SA-167 Grade 3 Type 304*
6.	Jumlah (buah)	1
7.	Kondisi Operasi	
	Tekanan (P), (atm)	1
	Suhu (T), (°C)	357
8.	Pendingin	
	Suhu Masuk (T1), (°C)	290
	Suhu Keluar (T2), (°C)	330
	Massa Pendingin (kg/jam)	356466,974
9.	Katalis	V_2O_5-MoO_3

Tabel 3. 5 Spesifikasi Alat Reaktor (Lanjutan)

No.	Spesifikasi Alat	Reaktor-01
10.	Berat Katalis (kg)	937,313
11.	Spesifikasi *Tube*	
	Jumlah *Tube* (Nt), (buah)	800
	Panjang *Tube* (Z), (in)	314,961
	IDt (in)	2,067
	ODt (in)	2,38
	Susunan	*Triangular Pitch*
	Material	*Stainless Steel SA-167 Grade 3 Type 304*
12.	Spesifikasi *Shell*	
	IDs (m)	2,244
	Tebal *Shell* (ts), (in)	0,1875
	Tebal *Head* (th), (in)	0,1875
	Tinggi *Head* (OA), (m)	0,433
	Tinggi Total Reaktor (m)	8,433
	Waktu Tinggal (t), (s)	5,738
	Volume *Head* (m^3)	0,0005
	Volume Reaktor (m^3)	31,648
	Material	*Stainless Steel SA-167 Grade 3 Type 304*

Tabel 3. 6 Spesifikasi Alat Reaktor (Lanjutan)

No.	Spesifikasi Alat		Reaktor-01	
	Bentuk *Head*		*Elipstical Head*	
13.	Spesifikasi Pipa			
	Pipa Umpan Masuk		Pipa Umpan Keluar	
	ID (in)	17,25	ID (in)	19,25
	OD (in)	18	OD (in)	20
	Pipa Pendingin Masuk		Pipa Pendingin Keluar	
	ID (in)	1,61	ID (in)	1,61
	OD (in)	1,9	OD (in)	1,9
14.	Isolasi			
	Bahan		*Asbestos*	
	Tebal (m)		0,2798	
15.	Harga ($)		610.782,40	

3.3.4 Alat Pemisah

a. *Centrifuge*

Tabel 3. 7 Spesifikasi Alat *Centrifuge*

No.	Spesifikasi Alat	***Centrifuge*-01**
1.	Fungsi	Untuk memisahkan produk yang keluar dari *Kristallizer* (KR-01)
2.	Kode Alat	CF-01
3.	Fasa	Padat-Cair
4.	Jenis/Tipe Alat	*Continuous Decanter Centrifuge/Scroll Conveyor Centrifuge*
5.	Bahan Konstruksi	*Carbon Steel SA-53 Grade B*
6.	Jumlah (buah)	1
7.	Kondisi Operasi	
	Tekanan (P), (atm)	1
	Suhu (T), (°C)	20
	Waktu Tinggal (menit)	23,237
8.	Dimensi Alat	
	Diameter *Bowl* (D), (m)	24
	Tinggi *Bowl*, (m)	1,219
9.	Harga ($)	108.679,12

b. *Decanter*

Tabel 3. 8 Spesifikasi Alat *Decanter*

No.	Spesifikasi Alat	***Decanter*-01**
1.	Fungsi	Untuk memisahkan produk akhir dengan memisahkan $C_4H_2O_3$ dengan H_2O
2.	Kode Alat	D-01
3.	Fasa	Cairan
4.	Jenis/Tipe Alat	*Silinder horizontal* dengan *head torispherical*
5.	Bahan Konstruksi	*Carbon Steel SA-283 Grade C*
6.	Jumlah (buah)	1
7.	Kondisi Operasi	
	Tekanan (P), (atm)	1
	Suhu (T), (°C)	30
	Waktu Tinggal (menit)	10
8.	Dimensi Alat	
	Diameter (D), (m)	0,300
	Tinggi, (m)	0,901
	Tebal *Shell* (ts), (in)	0,1875
	Tebal *Head* (th), (in)	0,1875
	Tinggi *Head*, (m)	0,111
9.	Harga ($)	19.785,91

c. Filter Udara

Tabel 3. 9 Spesifikasi Alat Filter Udara

No.	Spesifikasi Alat	Filter Udara-01
1.	Fungsi	Untuk menyaring udara dari debu dan komponen yang lain.
2.	Kode Alat	FU-01
3.	Fasa	Gas
4.	Jenis/Tipe Alat	*Bag Filter*
5.	Jumlah (buah)	1
6.	Kondisi Operasi	
	Tekanan (P), (atm)	1
	Suhu (T), (°C)	30
7.	Spesifikasi *Bag*	
	Diameter *Bag* (Db), (m)	0,2032
	Panjang *Bag*, (Lb), (m)	2,4384
	Jumlah *Bag*, (Nb), (buah)	89
	Luas *Bag Filter* (At), (ft2)	1490,453
	Kecepatan Volumetrik Udara (Vf), (ft/menit)	9,903
8.	Harga ($)	69.537,43

d. Membran

Tabel 3. 10 Spesifikasi Alat Membran

No.	Spesifikasi Alat	Membran-01	Membran-02
1.	Fungsi	Memisahkan O2 dari CO dan N2	Memisahkan CO2 dari CO dan O2
2.	Kode Alat	M-01	M-02
3.	Fasa	Gas	Gas
4.	Jenis/Tipe Alat	*Silicone Rubber*	*Silicone Rubber*
5.	Bentuk	*Hollow Fiber*	*Hollow Fiber*
6.	Jumlah (buah)	1	1
7.	Ketebalan (nm)	50	100
8.	*Hollow Fiber* Diameter (μm)	200	200
9.	Luas Membran (m^2)	46,8	16,3
10.	Harga ($)	284.745,03	212.340,08

e. *Separator*

Tabel 3. 11 Spesifikasi Alat Separator

No.	Spesifikasi Alat	Separator-01	Separator-02
1.	Fungsi	Untuk memisahkan uap dan cairan hasil keluaran *Vaporizer*-01	Untuk memisahkan uap dan cairan hasil keluaran Kondensor-01
2.	Kode Alat	SP-01	SP-02
3.	Fasa	Gas	Gas
4.	Jenis/Tipe Alat	*Vertical separator single stage*	*Vertical separator single stage*
5.	Bahan Konstruksi	*Stainless Steel SA-167 Grade 3 Type 304*	*Stainless Steel SA-167 Grade 3 Type 304*
6.	Jumlah (buah)	1	1
7.	Kondisi Operasi		
	Tekanan (P), (atm)	1	1
	Suhu (T), (°C)	80,32	44,754
8.	Spesifikasi Alat		
	Diameter (D), (m)	0,3048	0,4064
	Tebal *Shell* (ts), (in)	0,1875	0,1875
	Tebal *Head* (th), (in)	0,137	0,141
	Tinggi, (m)	1,338	1,384
9.	Harga ($)	7.168,81	8.745,95

f. *Vibrating Screen*

Tabel 3. 12 Spesifikasi Alat *Vibrating Screen*

No.	**Spesifikasi Alat**	***Vibrating Screen*-01**
1.	Fungsi	Untuk mengayak Maleat Anhidrida hasil keluaran *Impact Breaker* (IB-01) sebelum masuk Silo (S-01)
2.	Kode Alat	VS-01
3.	Fasa	Padatan
4.	Jenis/Tipe Alat	*Horizontal Vibrating Screen*
5.	Bahan Konstruksi	*Carbon Steel SA 135 Grade B*
6.	Jumlah (buah)	1
7.	Kondisi Operasi	
	Tekanan (P), (atm)	1
	Suhu (T), (°C)	25
8.	Jumlah *Layer* (buah)	2
9.	Ukuran *Screen* (m)	1,8288 x 0,9144
10.	Ukuran Partikel (mm)	1,68
11.	Harga ($)	26.524,59

g. *Impact Breakers*

Tabel 3. 13 Spesifikasi Alat *Impact Breakers*

No.	Spesifikasi Alat	***Impact Breakers*-01**
1.	Fungsi	Untuk menghancurkan Maleat Anhidrida hasil keluaran *Rotary Dryer*-01 (RD-01) sebelum masuk *Vibrating Screen*-01 (VS-01)
2.	Kode Alat	IB-01
3.	Fasa	Padatan
4.	Jenis/Tipe Alat	*Impact Breakers*
5.	Bahan Konstruksi	*Carbon Steel SA 285 Grade C*
6.	Jumlah (buah)	1
7.	Kondisi Operasi	
	Tekanan (P), (atm)	1
	Suhu (T), (°C)	25
8.	Ukuran Umpan (Dpa), (mm)	2
9.	Ukuran Produk (Dpb), (mm)	1,68
10.	*Mass Flow Rate*, (ton/jam)	1,506
11.	*Work Index* (Wi)	8,88
12.	*Power*, (Hp)	1
13.	Diameter *Rotor* (Dr), (m)	0,3

Tabel 3. 14 Spesifikasi Alat *Impact Breakers* (Lanjutan)

No.	**Spesifikasi Alat**	***Impact Breakers*-01**
14.	Lebar Rotor (Wr), (m)	0,15
15.	Rpm maksimal, (rpm)	3000
16.	Dimensi *Casing*	
	Panjang (L), (m)	0,6
	Lebar (W total)	0,35
	Tinggi (H), (m)	0,75
	Dimensi Casing, (m^3)	0,1575
17.	Harga ($)	31.686,13

3.3.5 Alat Penukar Panas

a. *Condensor*

Tabel 3. 15 Spesifikasi Alat *Condensor*

No.	Spesifikasi Alat	***Condensor*-01**	***Condensor*-02**
1.	Fungsi	Untuk mengubah fase sebagian hasil keluaran dari Reaktor (R-01) dari gas menjadi cair	Untuk mengubah fase sebagian hasil keluaran dari *Evaporator* (E-01) dari gas menjadi cair
2.	Kode Alat	CD-01	CD-02
3.	Fasa	Gas	Gas
4.	Jenis/Tipe Alat	*Shell and Tube Heat Exchanger*	*Shell and Tube Heat Exchanger*
5.	Bahan Konstruksi	*Stainless Steel SA-167 Grade 3 Type 304*	*Stainless Steel SA-167 Grade 3 Type 304*
6.	Jumlah (buah)	1	1
7.	Kondisi Operasi		
	Tekanan (P), (atm)	1	1
	Suhu (T), (°C)	44,755	30
7.	Spesifikasi *Tube*		
	Panjang (L), (ft)	16	16

Tabel 3. 16 Spesifikasi Alat *Condensor* (Lanjutan)

No.	Spesifikasi Alat	*Condensor*-01	*Condensor*-02
	BWG	12	12
	OD (in)	0,75	0,75
	ID (in)	0,532	0,532
	Pitch (Pt)	1	1
	Jumlah *Tube* (Nt), (buah)	135	155
	Susunan	0,75 in pada 1-in *triangular pitch*	0,75 in pada 1-in *triangular pitch*
8.	Spesifikasi *Shell*		
	ID (in)	13,25	13,25
	Baffle Space (in)	9,9375	9,9375
9.	Luas Transfer Panas (A), (ft^2)	391	491
10.	Koefisien Transfer Panas Bersih (Uc), (Btu/Jam.ft^2.F)	25,776	1,5626
11.	Koefisien Transfer Panas Kotor (Ud), (Btu/Jam.ft^2.F)	96,031	96,815
12.	*Dirt Factor* (Rd), (Btu/Jam.ft^2.F)	0,0284	0,6296
13.	*Dirt Factor* (Rd) Minimum, (Btu/Jam.ft^2.F)	0,001	0,001
14.	Harga ($)	73.121,84	91.473,98

b. *Evaporator*

Tabel 3. 17 Spesifikasi Alat *Evaporator*

No.	Spesifikasi Alat	Evaporator-01	
1.	Fungsi	Untuk memekatkan produk yang keluar dari *Separator*-02 (SP-02)	
2.	Kode Alat	E-01	
3.	Jenis/Tipe Alat	*Standard vertical tube evaporator*	
4.	Bahan Konstruksi	*Stainless Steel SA 167 Grade 3 Type 304*	
5.	Jumlah (buah)	1	
6.	Kondisi Operasi		
	Tekanan (P), (atm)	1	
	Suhu (T), (°C)	106	
7.	Spesifikasi *Annulus & Inner Pipe*		
		Annulus	*Inner Pipe*
	Panjang (L), (ft)	12	12
	IPS	2	1 1/4
	OD (in)	2,38	1,66
	ID (in)	2,067	1,38
	Pitch (Pt)	1	1
8.	Massa Steam (kg/jam)	1116,486	
9.	Harga ($)	192.267,42	

c. *Furnace*

Tabel 3. 18 Spesifikasi Alat *Furnace*

No.	Spesifikasi Alat	***Furnace*-01**
1.	Fungsi	Memanaskan umpan bahan baku menjadi 357 °C sebelum masuk reaktor (R-01)
2.	Kode Alat	F-01
3.	Fasa	Gas
4.	Jenis/Tipe Alat	*Fire Box Furnace*
5.	Bahan Konstruksi	*Stainless Stell SA-167 Grade 3 tipe 304*
6.	Jumlah (buah)	1
7.	Kondisi Operasi	
	Tekanan (P), (atm)	1
	Suhu (T), (°C)	80
	Suhu Keluar (T), (°C)	357
8.	Kebutuhan Bahan Bakar (kg/jam)	5,370
	Kebutuhan O2 (kg/jam)	1199,770
9.	Dimensi Alat	
	Panjang (p), (ft)	10
	Lebar (l), (ft)	2,6667
	Tinggi (p), (ft)	4,6667
	Volume, (ft^3)	124

Tabel 3. 19 Spesifikasi Alat *Furnace* (Lanjutan)

No.	**Spesifikasi Alat**	***Furnace*-01**
10.	Dimensi *Stack*	
	ID (in)	1,9
	Tinggi, (ft)	24,295
11.	Isolasi	
	Bahan Isolasi	*Kaolin Insulating Brick*
	Tebal Isolasi (in)	0,738
12.	Harga ($)	396.578,43

d. *Heat Exchanger*

Tabel 3. 20 Spesifikasi Alat *Heat Exchanger*

No.	**Spesifikasi Alat**	***Heat Exchanger*-01**	
1.	Fungsi	Untuk memanaskan udara sebelum masuk RD-01 dari 30 °C menjadi 100 °C	
2.	Kode Alat	HE-01	
3.	Fasa	Gas	
4.	Jenis/Tipe Alat	*Double Pipe Heat Exchanger*	
5.	Bahan Konstruksi	*Stainless Steel type 316*	
6.	Jumlah (buah)	1	
7.	Kondisi Operasi		
	Tekanan (P), (atm)	1	
	Suhu (T), (°C)	100	
8.	Spesifikasi *Annulus & Inner Pipe*		
		Annulus	*Inner Pipe*
	Fluida	*Gases*	*Steam*
	Jenis fluida	*Cold Fluid*	*Hot Fluid*
	IPS (in)	2	1 1/4
	OD (in)	2,38	1,66
	ID (in)	2,067	1,38
	Schedule.No	40	40

Tabel 3. 21 Spesifikasi Alat *Heat Exchanger* (Lanjutan)

No.	**Spesifikasi Alat**	***Heat Exchanger*-01**	
	Flow area (in^2)	3,35	1,5
	Surface area (ft^2/ft)	0,622	0,435
9.	Panjang *hairpin* (ft)	12	
10.	Jumlah *hairpin* (buah)	1	
11.	Luas Transfer Panas (A), (ft^2)	5,593	
12.	Koefisien Transfer Panas Bersih (Uc), (Btu/Jam.ft^2.F)	10,364	
13.	Koefisien Transfer Panas Kotor (Ud), (Btu/Jam.ft^2.F)	10,051	
14.	*Dirt Factor* (Rd) Minimum, (Btu/Jam.ft^2.F)	0,003	
15.	Harga ($)	1.577,14	

e. Kristallizer

Tabel 3. 22 Spesifikasi Alat Kristallizer

No.	**Spesifikasi Alat**		**Kristallizer-01**	
1.	Fungsi		Untuk mengkristalkan $C_4H_2O_3$ hasil keluaran *Evaporator*-01 (E-01)	
2.	Kode Alat		KR-01	
3.	Fasa		Cair-Padat	
4.	Jenis/Tipe Alat		*Swenson-Walker type*	
5.	Bahan Konstruksi		*Carbon steel SA 285 Grade C*	
6.	Jumlah (buah)		1	
7.	Sistem		Kontinyu	
8.	Desain Alat			
	Fluida Panas		Fluida Dingin	
	Tekanan (P), (atm)	1	Tekanan (P), (atm)	1
	Suhu (T), (°C)	106	Suhu (T), (°C)	25
	Suhu Keluar (T), (°C)	20	Suhu Keluar (T), (°C)	25
	Kapasitas (kg/jam)	2218,726	Media Pendingin	Air
8.	Dimensi Alat			
	Diameter, (m)		1,016	

Tabel 3. 23 Spesifikasi Alat Kristallizer (Lanjutan)

No.	**Spesifikasi Alat**	**Kristalliz*er*-01**
	Panjang, (m)	3,048
9.	Waktu Kristalisasi, (jam)	0,5
10.	*Power*, (Hp)	1/8
11.	Harga ($)	75.559,23

f. Rotary Dryer

Tabel 3. 24 Spesifikasi Alat *Rotary Dryer*

No.	Spesifikasi Alat	***Rotary Dryer*-01**
1.	Fungsi	Menguapkan kadar cairan pada padatan $C_4H_2O_3$
2.	Kode Alat	RD-01
3.	Jenis/Tipe Alat	*Direct contact-counter current rotary dryer*
4.	Bahan Konstruksi	*Stainless steel SA 167 grade C*
5.	Jumlah (buah)	1
7.	Kondisi Operasi	
	Tekanan (P), (atm)	1
	Suhu (T), (°C)	45
7.	Dimensi Alat	
8.	Diameter, (m)	0,307
9.	Panjang, (m)	1,230
10.	Beban Panas (kJ/jam)	117643,730
11.	Massa Udara (kg/jam)	118,862
12.	Kecepatan Putar (rpm)	24,865
13.	Sudut Kemiringan (°)	4,573
14.	*Power*, (Hp)	1/6
15.	Harga ($)	106.000

g. *Vaporizer*

Tabel 3. 25 Spesifikasi Alat *Vaporizer*

No.	**Spesifikasi Alat**	***Vaporizer*-01**	
1.	Fungsi	Untuk menguapkan cairan C_6H_6 dan C_7H_8 hasil keluaran tangki dengan media pemanas *Saturated Steam*	
2.	Kode Alat	VP-01	
3.	Fasa	Gas	
4.	Jenis/Tipe Alat	*Double Pipe Heat Exchanger*	
5.	Bahan Konstruksi	*Stainless Steel SA-167 Grade 3 Type 304*	
6.	Kondisi Operasi		
	Tekanan (P), (atm)	1	
	Suhu (T), (°C)	83,319	
7.	Spesifikasi *Annulus & Inner Pipe*		
		Annulus	*Inner Pipe*
	Fluida	*Gases*	*Steam*
	Jenis fluida	*Cold Fluid*	*Hot Fluid*
	IPS (in)	2	1 1/4
	OD (in)	2,38	1,66
	ID (in)	2,067	1,38

Tabel 3. 26 Spesifikasi Alat *Vaporizer* (Lanjutan)

No.	**Spesifikasi Alat**	***Vaporizer*-01**	
	Schedule.No	40	40
	Flow area (in^2)	3,35	1,5
	Surface area (ft^2/ft)	0,622	0,435
8.	Panjang *hairpin* (ft)	12	
9.	Jumlah *hairpin* (buah)	15	
10.	Luas Transfer Panas (A), (ft^2)	13,05	
11.	Koefisien Transfer Panas Bersih (Uc), ($Btu/Jam.ft^2.F$)	182,503	
12.	Koefisien Transfer Panas Kotor (Ud), ($Btu/Jam.ft^2.F$)	117,933	
13.	*Dirt Factor* (Rd), ($Btu/Jam.ft^2.F$)	0,003	
14.	*Dirt Factor* (Rd) Minimum, ($Btu/Jam.ft^2.F$)	0,003	
15.	Harga ($)	1.600	

3.3.6 Alat Menaikkan dan Mengalirkan Udara

a. Blower

Tabel 3. 27 Spesifikasi Alat *Blower*

No.	Spesifikasi Alat	***Blower*-01**	***Blower*-02**	***Blower*-03**
1.	Fungsi	Untuk mengalirkan gas dari *Separator*-01 (SP-01) menuju *Furnace*-01 (F-01)	Untuk mengalirkan gas dari Reaktor-01 (R-01) menuju *Condensor*-01 (CD-01)	Untuk mengalirkan udara dari lingkungan menuju *Heat Exhanger*-01 (HE-01)
2.	Kode Alat	BL-01	BL-02	BL-03
3.	Jenis/Tipe Alat	*Blower Centrifugal*	*Blower Centrifugal*	*Blower Centrifugal*
4.	Bahan Konstruksi	*Carbon Steel SA-283 Grade C*	*Carbon Steel SA-283 Grade C*	*Carbon Steel SA-283 Grade C*
5.	Jumlah (buah)	1	1	1
6.	Daya, (Hp)	1/12	3/4	1/20
7.	Harga ($)	2.500	12.000	500

3.3.7 Alat Menaikkan dan Mengalirkan Fluida

a. Pompa

Tabel 3. 28 Spesifikasi Alat Pompa

No.	Spesifikasi Alat	Pompa-01	Pompa-02	Pompa-03
1.	Fungsi	Untuk mengalirkan C_6H_6 dari Tangki Penyimpanan (T-01) menuju *Vaporizer* (VP-01)	Untuk mengalirkan keluaran dari *Separator*-02 (SP-02) menuju *Evaporator*-01 (E-01)	Untuk mengalirkan keluaran dari Dekanter-01 (D-01) menuju Unit Pengolahan Limbah (UPL)
2.	Kode Alat	P-01	P-02	P-03
3.	Jenis/Tipe Alat	*Centrifugal Pump*	*Centrifugal Pump*	*Centrifugal Pump*
4.	Bahan Konstruksi	*Commercial Steel*	*Commercial Steel*	*Commercial Steel*
5.	Jumlah (buah)	1	1	1
6.	Kapasitas (gpm)	10,365	4,476	0,899

Tabel 3. 29 Spesifikasi Alat Pompa (Lanjutan)

No.	Spesifikasi Alat	Pompa-01	Pompa-02	Pompa-03
7.	Kecepatan Aliran (ft/s)	1,634	0,960	0,950
8.	Ukuran Pipa			
	IPS (in)	1,5	1,25	0,5
	OD (in)	1,9	1,66	0,84
	ID (in)	1,61	1,38	0,622
	Flow Area (in^2)	2,04	1,5	0,304
9.	*Power* Pompa (BHP), (Hp)	0,428	0,408	0,085
10.	*Power* Motor (DHP), (Hp)	3/4	3/4	1/8
11.	Harga ($)	7.000	7.000	7.000

Tabel 3. 30 Spesifikasi Alat Pompa (Lanjutan)

No.	Spesifikasi Alat	Pompa-04	Pompa-05	Pompa-06
1.	Fungsi	Untuk mengalirkan keluaran dari *Decanter*-01 (D-01) menuju *Vaporizer*-01 (VP-01)	Untuk mengalirkan keluaran dari Evaporator-01 (E-01) menuju *Kristallizer*-01 (KR-01)	Untuk mengalirkan keluaran dari *Centrifuge*-01 (CF-01) menuju Unit Pengolahan Limbah (UPL)
2.	Kode Alat	P-04	P-05	P-06
3.	Jenis/Tipe Alat	*Centrifugal Pump*	*Centrifugal Pump*	*Centrifugal Pump*
4.	Bahan Konstruksi	*Commercial Steel*	*Commercial Steel*	*Commercial Steel*
5.	Jumlah (buah)	1	1	1
6.	Kapasitas (gpm)	0,831	2,859	1,715
7.	Kecepatan Aliran (ft/s)	0,878	1,061	1,032

Tabel 3. 31 Spesifikasi Alat Pompa (Lanjutan)

No.	Spesifikasi Alat	Pompa-04	Pompa-05	Pompa-06
8.	Ukuran Pipa			
	IPS (in)	0,5	1	0,75
	OD (in)	0,84	1,32	1,05
	ID (in)	0,622	1,049	0,824
	Flow Area (in^2)	0,304	0,864	0,534
9.	*Power* Pompa (BHP), (Hp)	0,058	0,267	0,094
10.	*Power* Motor (DHP), (Hp)	0,083	0,5	1/8
11.	Harga ($)	7.000	7.000	7.000

3.3.8 Alat Pengangkutan Padatan

a. *Belt Conveyor*

Tabel 3. 32 Spesifikasi Alat *Belt Conveyor*

No.	Spesifikasi Alat	***Belt Conveyor*-01**	***Belt Conveyor*-02**	***Belt Conveyor*-03**
1.	Fungsi	Untuk mengangkut keluaran *Rotary Dryer*-01 (RD-01) menuju *Cooler*-01 (CL-01)	Untuk mengangkut keluaran *Impact Breakers*-01 (IB-01) menuju *Vibrating Screen*-01 (VS-01)	Untuk mengangkut keluaran *Vibrating Screen*-01 (VS-01) menuju *Impact Breakers*-01 (IB-01)
2.	Kode Alat	BC-01	BC-02	BC-03
3.	Jenis/Tipe Alat	*Horizontal Belt Conveyor*	*Horizontal Belt Conveyor*	*Horizontal Belt Conveyor*
4.	Bahan Konstruksi	*Carbon Steel SA-53 Grade B*	*Carbon Steel SA-53 Grade B*	*Carbon Steel SA-53 Grade B*

Tabel 3. 33 Spesifikasi Alat *Belt Conveyor* (Lanjutan)

No.	**Spesifikasi Alat**	***Belt Conveyor*-01**	***Belt Conveyor*-02**	***Belt Conveyor*-03**
5.	Jumlah (buah)	1	1	1
6.	Spesifikasi Alat			
	Kapasitas, (ton/jam)	32	32	32
	Kecepatan *Belt* (ft/menit)	100	100	100
	Luas Penampang *Belt* (m^2)	0,010	0,010	0,010
	Lebar *Belt* (m)	0,3556	0,3556	0,3556
10.	Daya (Hp)	30	25	0,25
11.	Harga ($)	13.200	6.600	6.600

b. *Bucket Elevator*

Tabel 3. 34 Spesifikasi Alat *Bucket Elevator*

No.	Spesifikasi Alat	Bucket Elevator-01
1.	Fungsi	Untuk mengangkut padatan $C_4H_2O_3$ hasil keluaran *Vibrating Screen*-01 (VS-01) untuk disimpan di *Silo*-01 (S-01)
2.	Kode Alat	BE-01
3.	Jenis/Tipe Alat	*Centrifugal Discharge Elevator*
4.	Bahan Konstruksi	*Malleable cast iron*
5.	Jumlah (buah)	1
6.	Spesifikasi Alat	
	Tinggi *Elevator* (t), (m)	7,62
	Jarak Antar *Bucket* (m)	0,3048
	Kecepatan *Bucket* (ft/menit)	225

Tabel 3. 35 Spesifikasi Alat *Bucket Elevator* (Lanjutan)

No.	Spesifikasi Alat	Bucket Elevator-01
	Kecepatan Putaran Lebar *Belt* (rpm)	43
	Lebar *Belt* (m)	0,1778
10.	Daya (Hp)	1/2
11.	Harga ($)	13.600

c. *Screw Conveyor*

Tabel 3. 36 Spesifikasi Alat Screw Conveyor

No.	Spesifikasi Alat	***Screw Conveyor*-01**	***Screw Conveyor*-02**
1.	Fungsi	Untuk mengangkut keluaran *Kristallizer*-01 (KR-01) menuju *Centrifuge*-01 (CF-01)	Untuk mengangkut keluaran *Centrifuge*-01 (CF-01) menuju *Rotary Dryer*-01 (RD-01)
2.	Kode Alat	SC-01	SC-02
3.	Jenis/Tipe Alat	*Horizontal Screw Conveyor*	*Horizontal Screw Conveyor*
4.	Bahan Konstruksi	*Carbon Steel SA-53 Grade B*	*Carbon Steel SA-53 Grade B*
5.	Jumlah (buah)	1	1
6.	Spesifikasi Alat		
	Kapasitas, (ton/jam)	5	5

Tabel 3. 37 Spesifikasi Alat *Screw Conveyor* (Lanjutan)

No.	Spesifikasi Alat	*Screw Conveyor*-01	*Screw Conveyor*-02
	Diameter *Screw* (in)	9	9
	Diameter Pipa (in)	2,5	2,5
	Pusat Gantungan (ft)	10	10
	Kecepatan Motor (rpm)	40	40
	Diameter Bagian Umpan (in)	6	6
	Panjang (ft)	15	15
7.	Daya (Hp)	0,43	0,43
8.	Harga ($)	3.800	3.800

3.3.9 Alat Menaikkan dan Menurunkan Tekanan

a. Kompresor

Tabel 3. 38 Spesifikasi Alat Kompresor

No.	Spesifikasi Alat	Kompresor-01	Kompresor-02
1.	Fungsi	Untuk menaikkan tekanan udara dari 1 atm menjadi 5,92 atm	Untuk menaikkan tekanan udara dari 1 atm menjadi 4,93 atm
2.	Kode Alat	K-01	K-02
3.	Jenis/Tipe Alat	*Kompressor Sentrifugal*	*Kompressor Sentrifugal*
4.	Bahan Konstruksi	Carbon Steel SA-283 Grade C	Carbon Steel SA-283 Grade C
5.	Jumlah (buah)	1	1
6.	Fasa	Gas	Gas
7.	Daya (Hp)	100	15
8.	Harga ($)	72.200	56.000

b. *Expansion Valve*

Tabel 3. 39 Spesifikasi Alat *Expansion Valve*

No.	**Spesifikasi Alat**	***Expansion Valve*-01**
1.	Fungsi	Untuk menurunkan tekanan hasil keluaran Membran-01 (M-01) sebelum menuju *Furnace*-01(F-01) dari 5,92 atm menjadi 1 atm
2.	Kode Alat	EV-01
3.	Jenis/Tipe Alat	*Globe Valve Open*
4.	Bahan Konstruksi	*Commercial Stainless Steel*
5.	Jumlah (buah)	1
6.	Debit (gal/min)	4,692
7.	Pemilihan Pipa Standar	
	NPS (in)	1,25
	Sch	40

Tabel 3. 40 Spesifikasi Alat *Expansion Valve* (Lanjutan)

No.	**Spesifikasi Alat**	***Expansion Valve*-01**
	ID (in)	1,38
	OD (in)	1,66
	a't (in2)	1,5
8.	Harga ($)	900

3.4 Neraca Massa Alat

3.4.1 *Vaporizer-01*

Tabel 3. 41 Neraca Massa pada *Vaporizer-01*

Komponen	**Masuk (kg/jam)**			**Keluar (kg/jam)**
	Arus 1	**Arus 3**	**Arus 20**	**Arus 2**
C_6H_6 (l)	2.655,976	721,945	231,806	721,945
C_7H_8 (l)	6,894	3,337	6,453	3,337
$C_4H_2O_3$ (l)	0	0,978	3,910	0,978
C_6H_6 (g)	0	0	0	2.887,782
C_7H_8 (g)	0	0	0	13,347
$C_4H_2O_3$ (g)	0	0	0	3,910
Total	**3.631,298**			**3.631,298**

3.4.2 *Separator-01*

Tabel 3. 42 Neraca Massa pada *Separator-01*

Komponen	Masuk (kg/jam)	Keluar (kg/jam)	
	Arus 2	**Arus 4**	**Arus 3**
C_6H_6 (l)	721,945	0	721,945
C_7H_8 (l)	3,337	0	3,337
$C_4H_2O_3$ (l)	0,978	0	0,978
C_6H_6 (g)	2.887,782	2.887,782	0
C_7H_8 (g)	13,347	13,347	0
$C_4H_2O_3$ (g)	3,910	3,910	0
Total	**3.631,298**	**3.631,298**	

3.4.3 Membran-01

Tabel 3. 43 Neraca Massa pada Membran-01

Komponen	Masuk (kg/jam)		Keluar (kg/jam)	
	Arus 5	**Arus 13**	**Arus 6**	**Arus 7**
O_2 (g)	5.087,892	1.131,889	6.219,781	0
N_2 (g)	19.140,167	0	0	19.140,167
CO (g)	0	1.299,077	0	1.299,077
Total	**26.659,025**		**26.659,025**	

3.4.4 *Furnace*-01

Tabel 3. 44 Neraca Massa pada *Furnace-01*

Komponen	Masuk (kg/jam)		Keluar (kg/jam)
	Arus 4	Arus 7	Arus 8
C_6H_6 (g)	2.887,782	0	2.887,782
C_7H_8 (g)	13,347	0	13,347
O_2 (g)	0	6.219,781	6.219,781
$C_4H_2O_3$ (g)	3,910	0	3,910
Total	**91.24,819**		**91.24,819**

3.4.5 Reaktor-01

Tabel 3. 45 Neraca Massa pada Reaktor-01

Komponen	Masuk (kg/jam)	Keluar (kg/jam)
	Arus 8	Arus 9
C_6H_6 (g)	2.887,782	473,600
$C_4H_2O_3$ (g)	3,910	1.619,276
O_2 (g)	6.219,781	1.131,889
CO_2 (g)	0	3.220,008
CO (g)	0	1.299,077
C_7H_8 (g)	13,347	13,347
H_2O (g)	0	1.367,623
Total	**9.124,819**	**9.124,819**

3.4.6 *Condensor-01*

Tabel 3. 46 Neraca Massa pada *Condensor-01*

Komponen	**Masuk (kg/jam)**	**Keluar (kg/jam)**
	Arus 9	**Arus 10**
C_6H_6 (g)	473,600	0
C_6H_6 (l)	0	473,600
O_2 (g)	1.131,889	1.131,889
$C_4H_2O_3$ (g)	1.619,276	0
$C_4H_2O_3$ (l)	0	1.619,276
CO_2 (g)	3.220,008	3.220,008
CO (g)	1.299,077	1.299,077
H_2O (g)	1.367,623	0
H_2O (l)	0	1.367,623
C_7H_8 (g)	13,347	0
C_7H_8 (l)	0	13,347
Total	**9.124,819**	**9.124,819**

3.4.7 *Separator-02*

Tabel 3. 47 Neraca Massa pada *Separator-02*

Komponen	Masuk (kg/jam)	Keluar (kg/jam)	
	Arus 10	**Arus 11**	**Arus 14**
C_6H_6 (l)	473,600	0	473,600
O_2 (g)	1.131,889	1.131,889	0
$C_4H_2O_3$ (l)	1.619,276	0	1.619,276
CO_2 (g)	3.220,008	3.220,008	0
CO (g)	1.299,077	1.299,077	0
H_2O (l)	1.367,623	0	1.367,623
C_7H_8 (l)	13,347	0	13,347
Total	**9.124,819**	**9.124,819**	

3.4.8 Membran-02

Tabel 3. 48 Neraca Massa pada Membran-02

Komponen	Masuk (kg/jam)	Keluar (kg/jam)	
	Arus 11	**Arus 12**	**Arus 13**
O_2 (g)	1.131,889	0	1.131,889
CO_2 (g)	3.220,008	3.220,008	0
CO (g)	1.299,077	0	1.299,077
Total	**5.650,973**	**5.650,973**	

3.4.9. *Evaporator-01*

Tabel 3. 49 Neraca Massa pada *Evaporator-01*

Komponen	**Masuk (kg/jam)**	**Keluar (kg/jam)**	
	Arus 14	**Arus 15**	**Arus 21**
C_6H_6 (l)	473,600	0	9,988
C_6H_6 (g)	0	463,612	0
$C_4H_2O_3$ (l)	1.619,276	0	1.561,636
$C_4H_2O_3$ (g)	0	57,641	0
H_2O (g)	0	720,962	0
H_2O (l)	1.367,623	0	646,661
C_7H_8 (g)	0	12,906	0
C_7H_8 (l)	13,347	0	0,441
Total	**3.473,847**	**3.473,847**	

3.4.10 *Condensor-02*

Tabel 3. 50 Neraca Massa pada *Condensor-02*

Komponen	**Masuk (kg/jam)**	**Keluar (kg/jam)**
	Arus 15	**Arus 16**
C_6H_6 (g)	463,612	0
C_6H_6 (l)	0	463,612
$C_4H_2O_3$ (l)	0	57,641
$C_4H_2O_3$ (g)	57,641	0
H_2O (g)	720,962	0
H_2O (l)	0	720,962
C_7H_8 (g)	12,906	0
C_7H_8 (l)	0	12,906
Total	**1.255,120**	**1.255,120**

3.4.11 *Decanter-01*

Tabel 3. 51 Neraca Massa pada *Decanter-01*

Komponen	Masuk (kg/jam)	Keluar (kg/jam)	
	Arus 16	**Arus 17**	**Arus 18**
C_6H_6 (l)	463,612	463,612	0
$C_4H_2O_3$ (l)	57,641	7,820	49,820
H_2O (l)	720,962	0	720,962
C_7H_8 (l)	12,906	12,906	0
Total	**1.255,120**	**1.255,120**	

3.4.11 Kristallizer-01

Tabel 3. 52 Neraca Massa pada Kristallizer-01

Komponen	Masuk (kg/jam)	Keluar (kg/jam)
	Arus 20	**Arus 21**
C_6H_6 (l)	9,988	9,988
$C_4H_2O_3$ (l)	1.561,636	78,082
$C_4H_2O_3$ (s)	0	1.483,554
H_2O (l)	646,661	646,661
C_7H_8 (l)	0,441	0,441
Total	**2.218,726**	**2.218,726**

3.4.12 *Centrifuge-01*

Tabel 3. 53 Neraca Massa pada *Centrifuge-01*

Komponen	**Masuk (kg/jam)**	**Keluar (kg/jam)**	
	Arus 21	**Arus 23**	**Arus 24**
C_6H_6 (l)	9,988	9,489	0,499
$C_4H_2O_3$ (l)	78,082	74,178	3,904
$C_4H_2O_3$ (s)	1.483,554	0	1.483,554
H_2O (l)	646,661	614,328	32,333
C_7H_8 (l)	0,441	0,419	0,022
Total	**2.218,726**	**2.218,726**	

3.4.13 *Rotary Dryer-01*

Tabel 3. 54 Neraca Massa pada *Rotary Dryer-01*

Komponen	**Masuk (kg/jam)**		**Keluar (kg/jam)**	
	Arus 24	**Arus 25**	**Arus 26**	**Arus 27**
C_6H_6 (l)	0,499	0	0,499	0
$C_4H_2O_3$ (l)	3,904	0	3,904	0
$C_4H_2O_3$ (s)	1.483,554	0	0	1.483,554
H_2O (l)	32,333	0	24,878	7,455
C_7H_8 (l)	0,022	0	0,022	0
Udara Panas	0	118,862	118,862	0
Total	**1.639,175**		**1.639,175**	

3.4.15 *Impact Breakers-01*

Tabel 3. 55 Neraca Massa pada *Impact Breakers-01*

Komponen	**Masuk (kg/jam)**		**Keluar (kg/jam)**
	Arus 26	**Arus 28**	**Arus 27**
$C_4H_2O_3$ (s)	1.483,554	14,985	1.498,540
H_2O (l)	7,455	0,075	7,530
Total	**1.506,070**		**1.506,070**

3.4.16 *Vibrating Screen-01*

Tabel 3. 56 Neraca Massa pada *Vibrating Screen-01*

Komponen	**Masuk (kg/jam)**	**Keluar (kg/jam)**	
	Arus 27	**Arus 29**	**Arus 28**
$C_4H_2O_3$ (s)	1.498,540	14,985	1.483,554
H_2O (l)	7,530	0,075	7,455
Total	**1.506,070**	**1.506,070**	

3.4.17 Neraca Massa Total

Tabel 3. 57 Neraca Massa Total

Komponen	Masuk (kg/jam)			Keluar (kg/jam)						
	Arus 1	Arus 5	Arus 25	Arus 19	Arus 17	Arus 12	Arus 6	Arus 23	Arus 26	Arus 30
C_6H_6	2.655,976	0	0	231,806	0	0	0	9,489	0,499	0
C_7H_8	6,894	0	0	6,453	0	0	0	0,419	0,022	0
O_2	0	5087,892	0	0	0	0	0	0	0	0
N_2	0	19140,167	0	0	0	0	19140,167	0	0	0
CO_2	0	0	0	0	0	3220,008	0	0	0	0
CO	0	0	0	0	0	0	1299,077	0	0	0
Udara Panas	0	0	118,862	0	0	0	0	0	118,862	0
$C_4H_2O_3$	0	0	0	3,910	49,820	0	0	74,178	3,904	1483,554
H_2O	0	0	0	0	720,962	0	0	614,328	24,878	7,455
Total	**27009,791**			**27009,791**						

3.5 Neraca Panas

3.5.1 *Vaporizer-01*

Tabel 3. 58 Neraca Panas pada *Vaporizer-01*

	Masuk (kJ/jam)	**Keluar (kJ/jam)**
Q *in*	32.180,836	0
Q *out (gas)*	0	1.487.099,700
Q out (*liquid*)	0	77.559,485
Q pemanas	1.532.478,348	0
Total	**1.564.659,184**	**1.564.659,184**

3.5.2 *Furnace-01*

Tabel 3. 59 Neraca Panas pada *Furnace-01*

	Masuk (kJ/jam)	**Keluar (kJ/jam)**
Q *in*	220.478,742	0
Q *out*	0	3.576.239,181
Q pemanas	3.355.760,439	0
Total	**3.576.239,181**	**3.576.239,181**

3.5.3 Reaktor *Fixed Bed Multitube-01*

Tabel 3. 60 Neraca Panas pada Reaktor *Fixed Bed Multitube-01*

	Masuk (kJ/jam)	**Keluar (kJ/jam)**
Q umpan	3.574.529,392	0
Q produk	0	3.812.930,421
Q reaksi	106.969.906,815	0
Q pendingin	0	106.731.505,785
Total	**110.544.436,206**	**110.544.436,206**

3.5.4 *Condensor-01*

Tabel 3. 61 Neraca Panas pada *Condensor-01*

	Masuk (kJ/jam)	**Keluar (kJ/jam)**
Q *in*	8.071.181,723	0
Q *out* (*liquid*)	0	113.566,929
Q *out* (gas)	0	103.294,574
Q pendingin	0	7.854.320,220
Total	**8.071.181,723**	**8.071.181,723**

3.5.5 *Condensor-02*

Tabel 3. 62 Neraca Panas pada *Condensor-02*

	Masuk (kJ/jam)	**Keluar (kJ/jam)**
Q *in*	2.105.297	0
Q *out* (*liquid*)	0	19.783,155
Q pendingin	0	2.085.513,845
Total	**2.105.297**	**2.105.297**

3.5.6 Evaporator-01

Tabel 3. 63 Neraca Panas pada Evaporator-01

	Masuk (kJ/jam)	**Keluar (kJ/jam)**
Q *in*	179.969,234	0
Q *out* (atas)	0	2.115.222,313
Q *out* (bawah)	0	424.629,069
Q *steam*	2.359.882,148	0
Total	**2.539.851,382**	**2.539.851,382**

3.5.7 Kristallizer-01

Tabel 3. 64 Neraca Panas pada Kristallizer-01

	Masuk (kJ/jam)	**Keluar (kJ/jam)**
Q *in*	424.629,069	0
Q *out* (*solid*)	0	-1.914,547
Q *out* (*liquid*)	0	1.527,468
Q pendingin	0	425.016,149
Total	**424.629,069**	**424.629,069**

3.5.8 *Heat Exchanger-01*

Tabel 3. 65 Neraca Panas pada *Heat Exchanger-01*

	Masuk (kJ/jam)	**Keluar (kJ/jam)**
Q *in*	594,176	0
Q *out*	0	9.131,038
Q *steam*	8.536,862	0
Total	**9.131,038**	**9.131,038**

3.5.9 *Rotary Dryer-01*

Tabel 3. 66 Neraca Panas pada *Rotary Dryer-01*

	Masuk (kJ/jam)	**Keluar (kJ/jam)**
C_6H_6 (l)	135,436	139,546
$C_4H_2O_3$ (l)	148,960	154,231
$C_4H_2O_3$ (g)	119,231	126,848
H_2O (l)	75,676	75,200
C_7H_8 (l)	156,845	160,809
Q *supply*	68.651,76	0
Q penguapan	0	68.651,25
Total	**69.307,88**	**69.307,88**

3.5.10 Neraca Panas Total

Tabel 3. 67 Neraca Panas Total

Masuk		**Keluar**	
Komponen	**Q (kJ/jam)**	**Komponen**	**Q (kJ/jam)**
Umpan Benzena	32.180,836	Gas Buang M-02	155.835,702
Umpan Udara	122.804,964	Air Limbah *Decanter*	15.502,429
Panas Reaksi R-01	104.369.226,390	Filtrat *Centrifuge*	58.987,505
Steam VP-01	1.532.478,348	Udara Basah RD-01	68.651,25
Bahan Bakar *Furnace*	3.355.760,4392	Produk Akhir Padat	9.349,516
Steam E-01	2.359.882,148	Gas Buang M-01	668.761,673
Udara Panas RD-01	68.651,76	Limbah *Purging*	4.280,726
Steam HE-01	8.536,862	*Cooling Water* CD-01	6.040.558,91
		Cooling Water CD-02	2.085.513,845
		Cooling Water KR-01	425.016,149
		Dowtherm A R-01	102.317.064,05
Total	**111.849.521,7**	**Total**	**111.849.521,7**

BAB IV

PERANCANGAN PABRIK

4.1 Lokasi Pabrik

Ketika sebuah industri didirikan, penentuan lokasi pabrik sangat penting karena berpengaruh langsung pada keberlangsungan operasi. Keputusan ini juga dapat memengaruhi potensi perkembangan pabrik di masa depan. Beberapa faktor utama yang perlu dipertimbangkan meliputi kedekatan dengan sumber bahan baku dan bahan penunjang, akses ke pasar, ketersediaan tenaga kerja, sarana transportasi, peluang ekspansi di masa mendatang, serta kondisi sosial di sekitarnya. Berdasarkan berbagai pertimbangan tersebut, pabrik Maleat Anhidrida direncanakan untuk dibangun di wilayah Tuban, Jawa Timur.



Gambar 4. 1 Peta Rencana Lokasi Pabrik

Pendirian pabrik Maleat Anhidrida berdasarkan pada pertimbangan sebagai berikut :

1. Sumber Bahan Baku (*Raw Material*)

   Dengan kapasitas produksi 500.000 ton/tahun, PT. Trans-Pacific Petrochemical Indotama (TPPI) di Tuban, Jawa Timur, menyediakan bahan baku utama untuk pabrik Maleat Anhidrida.

2. Letak dan sarana transportasi

   Dalam proses mendirikan pabrik ini, lokasi dan sarana transportasi penting. Pabrik direncanakan berada di area yang dekat dengan jalan utama di wilayah Tuban dan dekat dengan laut untuk memudahkan proses pengadaan bahan baku dan distribusi produk Maleat Anhidrida. Akses transportasi yang tersedia mencakup darat dan laut.

3. Pemasaran

   Penentuan lokasi pabrik yang berdekatan dengan pasar sasaran serta didukung oleh infrastruktur yang memadai menjadi strategi penting untuk mempermudah akses konsumen terhadap produk. Maleat Anhidrida direncanakan untuk dipasarkan ke seluruh wilayah Indonesia, sehingga pemilihan Tuban, Jawa Timur sebagai lokasi pabrik dinilai tepat karena memiliki aksesibilitas yang baik bagi konsumen.

4. Utilitas

Utilitas merupakan kebutuhan utama dalam operasional pabrik. Pertimbangan pemilihan Tuban sebagai lokasi pendirian *pabrik Maleat Anhidrida* didasarkan pada ketersediaan utilitas seperti listrik, air, dan udara. Kebutuhan air dipenuhi melalui pengolahan air laut, sedangkan pasokan listrik diperoleh dari PLTU Tanjung Awar-Awar di Tuban, yang lokasinya relatif dekat dengan area pabrik.

5. Tenaga kerja

Sebagian besar tenaga kerja berasal dari penduduk sekitar, yang menjadikannya pelaku yang sangat penting dalam proses produksi. Diharapkan bahwa lokasi pabrik yang berada di dekat pemukiman juga dapat membantu meningkatkan kualitas hidup penduduk yang tinggal di sekitarnya.

6. Kondisi iklim dan cuaca

Suhu iklim di Tuban, Jawa Timur, relatif stabil, yang membantu proses berjalan dengan lancar. Selain itu, lokasi pabrik harus aman dari gempa dan banjir, yang memastikan proses berlangsung dengan lancar.

4.2 Tata Letak Pabrik (*Plant Layout*)

Pabrik Maleat Anhidrida ini direncanakan dibangun di Tuban, Jawa Timur, menurut hasil analisis lokasi yang diuraikan di subbab sebelumnya. Berbagai faktor teknis dan ekonomis, seperti ketersediaan bahan baku, kemudahan transportasi, dan ketersediaan infrastruktur pendukung, menentukan lokasi tersebut. Gambar 4.1 menunjukkan lokasi rencana pembangunan pabrik.

Perencanaan tata letak pabrik adalah perencanaan yang sistematis untuk mengatur fasilitas fisik, peralatan proses, dan tenaga kerja untuk menciptakan alur produksi yang efektif dan efisien. Perancangan tata letak pabrik harus mempertimbangkan banyak hal, seperti keselamatan kerja, kenyamanan tempat kerja, dan kelancaran proses produksi. Selain itu, penempatan fasilitas penunjang seperti gudang, kantor, laboratorium, dan bengkel tidak boleh mengganggu proses produksi dan distribusi produk.

Perancangan tata letak yang baik juga perlu memperhatikan integrasi antar unit proses, aliran bahan baku dan produk, distribusi utilitas, serta sistem pengelolaan limbah. Dengan demikian, setiap area dalam pabrik dapat berfungsi secara optimal tanpa mengabaikan aspek keselamatan dan efisiensi operasional.

Tata letak pabrik memiliki pengaruh yang signifikan terhadap biaya investasi, biaya operasional, serta tingkat efisiensi produksi. Selain itu, tata letak pabrik yang dirancang dengan benar dapat membantu mengurangi risiko seperti

kecelakaan kerja, kebakaran, dan gangguan operasional lainnya. Oleh karena itu, beberapa hal penting yang perlu diperhatikan saat merancang tata letak pabrik adalah sebagai berikut:

a. Ketersediaan lahan untuk pengembangan atau ekspansi di masa mendatang.
b. Pola aliran bahan baku, produk, serta distribusi utilitas seperti air, listrik, dan bahan bakar.
c. Kondisi iklim serta lingkungan sekitar lokasi pabrik.
d. Aspek keselamatan, termasuk sistem penanganan limbah dan pencegahan bahaya kebakaran.
e. Kesesuaian dengan peraturan dan tata ruang wilayah setempat.
f. Efisiensi penggunaan ruang serta kemudahan dalam material handling.

Pabrik Maleat Anhidrida akan dibangun di lahan yang disesuaikan untuk memenuhi kebutuhan proses dan fasilitas pendukung, dengan kapasitas produksi 11.808 ton per tahun. Tata letak pabrik dirancang untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan selain meningkatkan efisiensi operasional dan keselamatan kerja.

Secara umum, tata letak pabrik dibagi ke dalam beberapa area utama sebagai berikut:

a. Area Perkantoran/Administrasi

Berfungsi sebagai pusat kegiatan administrasi, manajemen, serta koordinasi operasional pabrik secara keseluruhan.

b. Area Produksi

Merupakan area utama tempat berlangsungnya proses produksi Maleat Anhidrida, termasuk unit proses, penyimpanan bahan baku, serta penyimpanan produk.

c. Area Instalasi dan Utilitas

Berfungsi untuk menyediakan kebutuhan penunjang proses produksi, seperti air, listrik, udara tekan, bahan bakar, dan steam.

d. Area Fasilitas Umum

Meliputi fasilitas yang diperuntukkan bagi karyawan, seperti kantin, tempat ibadah, poliklinik, dan fasilitas penunjang lainnya.

e. Area Keamanan

Dilengkapi dengan sistem dan peralatan pengamanan untuk mengantisipasi potensi bahaya, seperti kebakaran, ledakan, maupun gangguan keamanan lainnya.

f. Area Pengolahan Limbah

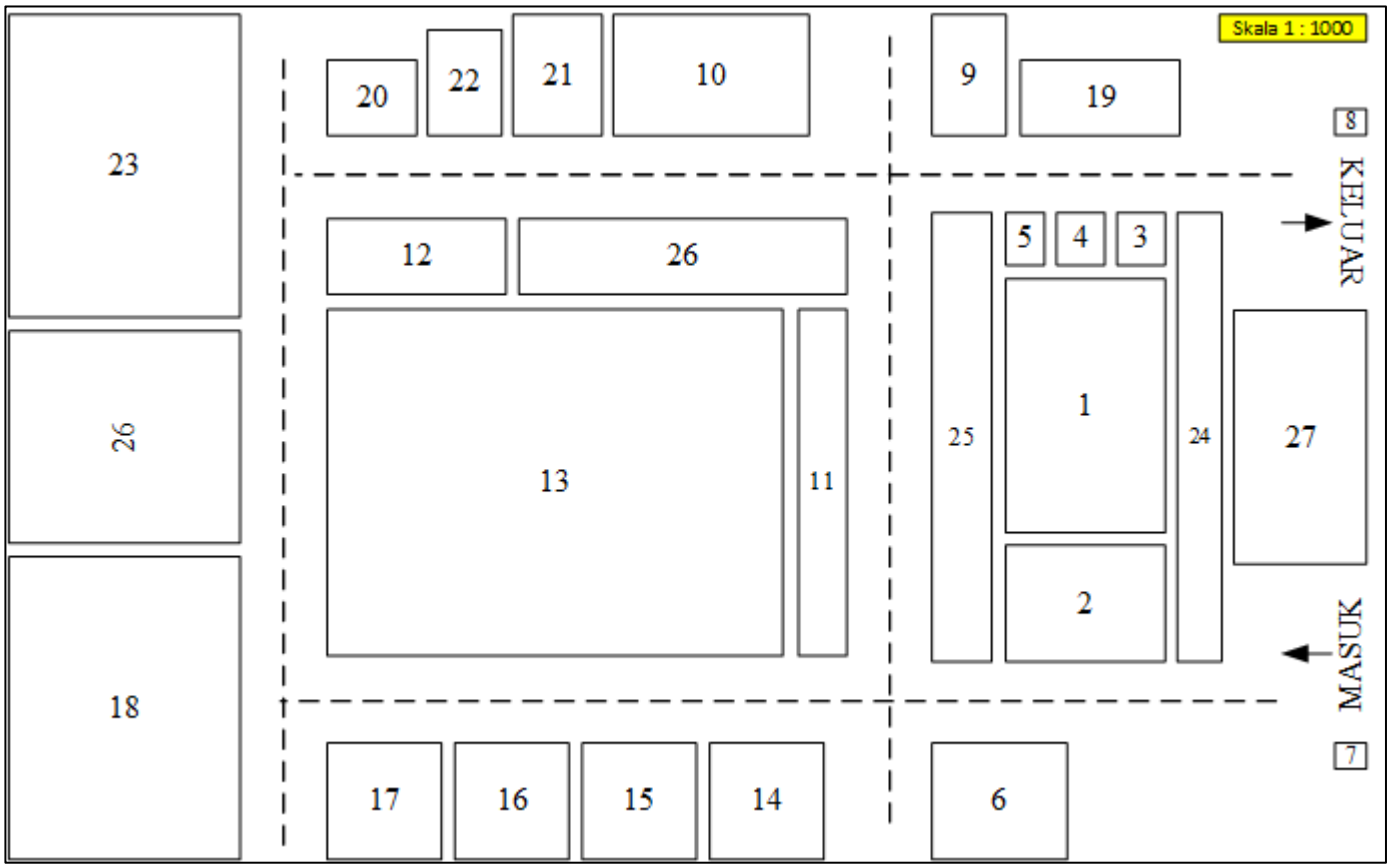
Berfungsi untuk mengolah limbah hasil proses produksi agar memenuhi standar lingkungan sebelum dibuang ke lingkungan sekitar.

g. Area Perluasan (*Expansion Area*)

Merupakan lahan cadangan yang disiapkan untuk pengembangan kapasitas atau penambahan unit proses di masa mendatang.

Dengan mempertimbangkan semua hal ini, tata letak pabrik yang dirancang diharapkan dapat meningkatkan efisiensi produksi, mengurangi biaya operasional, dan memastikan bahwa proses produksi dan distribusi produk berjalan dengan lancar. Selain itu, dengan menyediakan area untuk perluasan, pabrik akan lebih fleksibel untuk berkembang lebih lanjut.

Rancangan tata letak pabrik secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 4.2, sedangkan rincian penggunaan lahan disajikan pada Tabel 4.1.



Gambar 4. 2 Tata Letak Pabrik *(Plant Layout)*

Tabel 4. 1 Daftar Tata Letak Pabrik

No.	Nama Bangunan	Panjang (m)	Lebar (m)	Luas (m^2)
1.	Kantor	35	26	910
2.	Gedung serbaguna	26	17	442
3.	Masjid	10	8	80
4.	Kantin	8	8	64
5.	Koperasi	8	5	40
6.	Area parkir utama	20	15	300
7.	Pos satpam 1	5,5	4	22
8.	Pos satpam 2	5,5	4	22
9.	Poliklinik	15	8	120
10.	Gudang	25	15	375
11.	Area *loading space* 1	6	20	300
12.	Area *loading space* 2	9	23	207
13.	Area proses	60	50	3000
14.	Ruang alat	15	15	225
15.	Laboratorium	15	15	225
16.	Ruang *control process*	15	15	225
17.	Ruang *control* utilitas	15	15	225
18.	Area utilitas	40	30	1200
19.	Area *mess*	20	10	200

Tabel 4. 2 Daftar Tata Letak Pabrik (Lanjutan)

No.	Nama Bangunan	Panjang (m)	Lebar (m)	Luas (m^2)
20.	Ruang listrik	12	10	120
21.	Bengkel	17	12	204
22.	Area pemadam kebakaran	14	8	112
23.	UPL	40	30	1200
24.	Halaman depan kantor	6	63,5	381
25.	Halaman belakang kantor	8	63,5	508
26.	Perluasan Pabrik	57	23	1311
27.	Taman	14	28	392
28.	Jalan			3.873,99
	Luas Bangunan			**16.300,61**
	Luas Tanah			**20.174,60**

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

Tata letak mesin, juga disebut tata letak alat proses, adalah pengaturan posisi dan susunan peralatan proses di dalam area pabrik secara optimal. Tujuan dari perancangan tata letak ini adalah untuk meningkatkan efisiensi operasional,

meningkatkan keselamatan kerja, dan memberikan fleksibilitas untuk pengembangan pabrik di masa mendatang. Penataan peralatan yang tepat sangat penting untuk mengurangi biaya konstruksi dan operasional serta menciptakan tempat kerja yang aman dan nyaman bagi karyawan.

Agar proses produksi dapat berjalan secara optimal, tata letak alat proses di Pabrik Maleat Anhidrida harus dipertimbangkan secara menyeluruh dari berbagai aspek teknis dan ekonomis. Berikut ini adalah beberapa komponen utama yang sangat penting untuk menyusun tata letak alat proses:

a. Aliran Bahan Baku dan Produk

Pengaturan aliran bahan baku dan produk dilakukan secara terarah dan berkesinambungan untuk menjamin kelancaran proses produksi. Tata letak yang baik akan meminimalkan jarak perpindahan material serta mencegah terjadinya penumpukan atau hambatan aliran (*bottleneck*) dalam sistem produksi.

b. Aliran Udara

Sistem sirkulasi udara harus dirancang dengan baik untuk menghindari akumulasi gas atau uap kimia yang berpotensi berbahaya. Ventilasi yang memadai sangat penting untuk mengurangi risiko kebakaran, ledakan, serta menjaga kesehatan pekerja di area proses.

c. Pencahayaan

Penyediaan pencahayaan yang cukup menjadi aspek penting, terutama pada area proses yang memiliki tingkat risiko tinggi. Penerangan

yang baik akan mendukung aktivitas operasi, pengawasan, serta inspeksi peralatan, baik pada siang maupun malam hari.

d. Lalu Lintas Manusia dan Kendaraan

Tata letak harus memberikan ruang gerak yang memadai bagi tenaga kerja serta jalur khusus untuk kendaraan operasional seperti *forklift* dan peralatan angkut lainnya. Pengaturan ini bertujuan untuk menjaga keselamatan serta kelancaran aktivitas produksi dan pemeliharaan.

e. Jarak Antar Alat Proses

Penentuan jarak antar peralatan dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi operasi masing-masing alat, seperti suhu dan tekanan. Peralatan yang beroperasi pada kondisi ekstrem harus ditempatkan dengan jarak aman guna meminimalkan risiko apabila terjadi kegagalan operasi.

f. Pertimbangan Ekonomi

Tata letak alat proses disusun untuk mengoptimalkan penggunaan fasilitas perpipaan, pompa, serta distribusi utilitas seperti air pendingin dan uap. Pengaturan yang efisien akan berkontribusi terhadap pengurangan biaya investasi dan operasional pabrik secara keseluruhan.

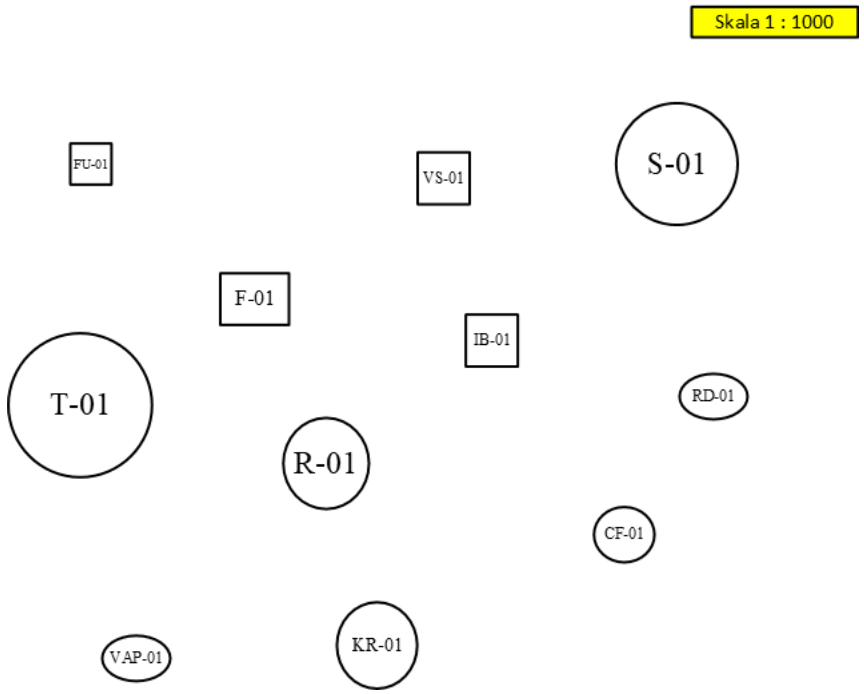
g. Perluasan dan Pengembangan Pabrik

Perancangan tata letak harus mempertimbangkan kemungkinan ekspansi di masa depan, sehingga penambahan unit proses baru dapat dilakukan tanpa memerlukan perubahan besar terhadap sistem yang telah ada.

h. Kemudahan Pemeliharaan

Akses terhadap setiap peralatan harus dirancang dengan baik agar kegiatan inspeksi, perawatan, dan perbaikan dapat dilakukan dengan mudah dan aman. Hal ini penting untuk menjaga keandalan peralatan serta keberlangsungan operasi pabrik.

Dengan mempertimbangkan seluruh aspek tersebut, tata letak alat proses diharapkan mampu mendukung operasi Pabrik Maleat Anhidrida secara efisien, aman, dan berkelanjutan. Rancangan tata letak alat proses secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Tata Letak Mesin/Alat Proses *(Machines Layout)*

4.4 Organisasi Perusahaan

4.4.1 Bentuk Organisasi

Bentuk badan usaha yang direncanakan untuk Pabrik Maleat Anhidrida ini adalah Perseroan Terbatas (PT). Perseroan Terbatas merupakan suatu badan hukum yang memperoleh modal melalui penerbitan dan penjualan saham kepada para investor. Kepemilikan perusahaan dibuktikan melalui saham, di mana setiap individu atau badan hukum dapat memiliki satu atau lebih saham sesuai dengan jumlah modal yang ditanamkan.

Dalam sistem Perseroan Terbatas, tanggung jawab pemegang saham bersifat terbatas, yaitu hanya sebesar nilai saham yang dimilikinya. Dengan demikian, risiko finansial yang ditanggung oleh pemegang saham tidak melebihi modal yang telah diinvestasikan. Selain itu, PT diakui sebagai entitas hukum yang terpisah dari pemiliknya, sehingga memiliki hak dan kewajiban sendiri secara hukum.

Pemilihan bentuk organisasi Perseroan Terbatas dalam perancangan pabrik ini didasarkan pada beberapa pertimbangan utama, yaitu sebagai berikut:

a. Kemudahan dalam memperoleh sumber pendanaan, baik melalui penerbitan saham kepada masyarakat maupun melalui akses pembiayaan dari lembaga perbankan.

b. Adanya pemisahan yang jelas antara kekayaan perusahaan dengan kekayaan pribadi pemegang saham, sehingga memberikan kepastian hukum dan perlindungan terhadap aset pribadi.

c. Tanggung jawab pemegang saham yang terbatas menjadikan pengelolaan operasional perusahaan sepenuhnya berada di tangan manajemen, sehingga kegiatan produksi dapat berjalan lebih fokus dan profesional.

d. Terdapat pemisahan fungsi yang tegas antara pemilik perusahaan dan pengelola perusahaan. Pemegang saham bertindak sebagai pemilik, sedangkan pengelolaan operasional dijalankan oleh direksi beserta jajarannya yang berada di bawah pengawasan dewan komisaris.

e. Penerapan manajemen yang lebih efisien, karena pemegang saham memiliki kewenangan untuk menunjuk individu yang kompeten, berpengalaman, dan profesional sebagai anggota dewan komisaris maupun direksi.

f. Kemudahan dalam memperoleh fasilitas kredit dari bank, dengan jaminan berupa aset dan kredibilitas perusahaan sebagai badan hukum.

g. Kesempatan untuk mengembangkan skala usaha yang lebih luas, karena kemampuan perusahaan dalam menghimpun modal besar dari masyarakat memungkinkan ekspansi kapasitas produksi dan diversifikasi usaha.

h. Struktur organisasi yang memisahkan secara jelas antara kepemilikan dan pengelolaan perusahaan, sehingga pengambilan keputusan operasional tidak secara langsung dipengaruhi oleh pemegang saham.

i. Keberlangsungan perusahaan yang lebih terjamin, karena perubahan komposisi pemegang saham tidak secara langsung mempengaruhi jalannya operasional perusahaan, termasuk keberadaan direksi, staf, maupun tenaga kerja lainnya.

Adapun karakteristik utama dari Perseroan Terbatas adalah sebagai berikut:

a. Didirikan berdasarkan akta notaris yang mengacu pada ketentuan dalam Kitab Undang-Undang Hukum Dagang serta peraturan perundang-undangan yang berlaku.

b. Modal dasar perusahaan tercantum dalam akta pendirian dan terbagi ke dalam sejumlah saham yang dapat dimiliki oleh para investor.

c. Kepemilikan perusahaan berada di tangan para pemegang saham sesuai dengan proporsi saham yang dimiliki.

d. Pengelolaan sumber daya manusia dan pembinaan tenaga kerja menjadi tanggung jawab direksi dengan tetap memperhatikan peraturan ketenagakerjaan yang berlaku.

e. Operasional perusahaan dipimpin oleh seorang direktur utama yang dipilih oleh pemegang saham melalui mekanisme Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS).

4.4.2 Struktur Organisasi

Struktur organisasi adalah salah satu komponen penting dalam suatu perusahaan yang berperan penting dalam menunjang kelancaran operasional. Susunan organisasi yang jelas, terarah, dan sistematis sangat mempengaruhi seberapa efektif komunikasi dan koordinasi antar bagian perusahaan. Struktur organisasi yang baik memungkinkan hubungan kerja antar karyawan berjalan secara harmonis sehingga tujuan perusahaan dapat dicapai secara optimal.

Pembentukan struktur organisasi harus disesuaikan dengan bentuk badan usaha, skala produksi, serta kebutuhan operasional perusahaan. Struktur yang dirancang secara tepat akan mempermudah perusahaan dalam mengatur pembagian tugas, menetapkan wewenang, serta menentukan tanggung jawab masing-masing bagian. Selain itu, struktur organisasi juga menjadi dasar dalam pengambilan keputusan serta pengendalian kegiatan perusahaan.

Pada perancangan Pabrik Maleat Anhidrida ini, sistem organisasi yang digunakan adalah sistem *line and staff*. Sistem ini dipilih karena memiliki alur wewenang yang lebih sederhana, jelas, dan mudah dipahami, sehingga memudahkan dalam pelaksanaan tugas dan pengawasan. Dalam sistem ini, setiap

karyawan memiliki garis tanggung jawab yang tegas kepada atasan langsungnya, sehingga meminimalkan terjadinya tumpang tindih wewenang.

Dalam penerapan sistem *line and staff*, terdapat dua jenis hubungan kerja utama, yaitu:

a. Garis lini (*line*), yaitu individu atau bagian yang secara langsung melaksanakan kegiatan utama perusahaan dalam rangka mencapai tujuan produksi dan operasional. Pihak lini memiliki wewenang langsung dalam pengambilan keputusan yang berkaitan dengan aktivitas inti perusahaan.

b. Garis staf (*staff*), yaitu individu atau bagian yang memiliki keahlian khusus dan bertugas memberikan dukungan, saran, serta pertimbangan teknis kepada bagian lini. Fungsi staf bersifat membantu untuk meningkatkan efektivitas pengambilan keputusan.

Dalam struktur organisasi perusahaan ini, pemegang saham sebagai pemilik modal merupakan pemegang kekuasaan tertinggi. Dalam pelaksanaan pengawasan, pemegang saham diwakili oleh Dewan Komisaris yang bertugas mengawasi kinerja manajemen perusahaan secara keseluruhan.

Kegiatan operasional perusahaan dipimpin oleh seorang Direktur Utama yang bertanggung jawab atas seluruh aktivitas perusahaan. Dalam menjalankan tugasnya, Direktur Utama dibantu oleh beberapa direktur yang membawahi bidang-bidang tertentu, yaitu:

a. Direktur Operasi dan Produksi, yang bertanggung jawab terhadap seluruh kegiatan produksi, meliputi pengoperasian proses, pengendalian proses, utilitas, serta kegiatan laboratorium.

b. Direktur Administrasi dan Umum, yang mengelola aspek sumber daya manusia, keamanan, hubungan masyarakat, serta penerapan keselamatan dan kesehatan kerja (K3).

c. Direktur Keuangan dan Pemasaran, yang bertanggung jawab dalam pengelolaan keuangan perusahaan, kegiatan pemasaran produk, serta pengadaan bahan baku dan kebutuhan operasional lainnya.

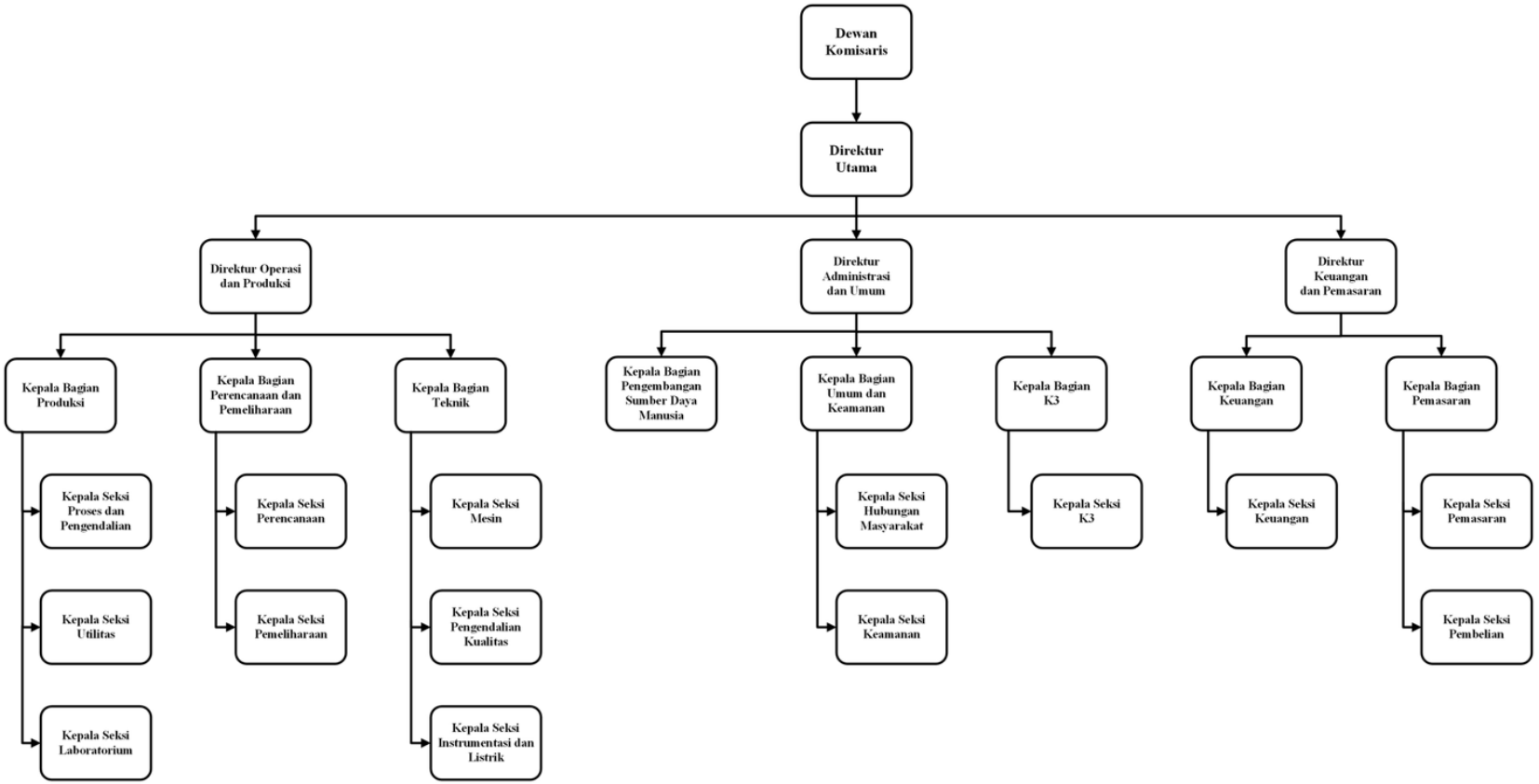
Masing-masing direktur membawahi beberapa kepala bagian yang bertanggung jawab atas pelaksanaan kegiatan pada unit kerja tertentu. Selanjutnya, setiap kepala bagian mengawasi beberapa seksi yang terdiri dari tenaga kerja operasional.

Dalam pelaksanaan kegiatan di lapangan, tenaga kerja dibagi ke dalam beberapa regu kerja yang dipimpin oleh kepala regu. Setiap kepala regu bertanggung jawab kepada pengawas atau kepala seksi masing-masing, sehingga tercipta sistem koordinasi yang terstruktur dan efisien.

Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS), forum tertinggi dalam pengambilan keputusan perusahaan, melakukan pemilihan dewan komisaris dan direktur utama. Seluruh kegiatan operasional pabrik diharapkan dapat berjalan

secara efektif, efisien, dan berkesinambungan berkat struktur organisasi yang disusun secara sistematis ini.

Struktur organisasi perusahaan secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Struktur Organisasi

4.4.3 Tugas dan Wewenang

a. Pemegang Saham

Dengan berinvestasi dalam perusahaan melalui kepemilikan saham, pemegang saham secara hukum bertindak sebagai pemilik perusahaan. Sebagai pemegang kekuasaan tertinggi dalam struktur perusahaan, pemegang saham memiliki tanggung jawab dan wewenang seperti berikut:

1. Mengangkat dan memberhentikan anggota Dewan Komisaris serta Direksi melalui mekanisme Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS).
2. Mengesahkan laporan tahunan perusahaan, termasuk laporan keuangan serta perhitungan laba dan rugi.
3. Menyelenggarakan Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS) secara berkala, minimal satu kali dalam satu tahun.

b. Dewan Komisaris

Dalam menjalankan tugasnya sebagai perwakilan pemegang saham, Dewan Komisaris bertanggung jawab langsung kepada pemegang saham. Mereka memiliki tanggung jawab dan wewenang berikut:

1. Menilai serta memberikan persetujuan terhadap rencana strategis yang diajukan oleh direksi, termasuk kebijakan umum perusahaan, target kinerja, alokasi sumber daya, dan strategi pemasaran.

2. Melaksanakan fungsi pengawasan terhadap seluruh kegiatan operasional dan kinerja direksi dalam menjalankan perusahaan.

3. Memberikan arahan dan masukan kepada direksi dalam pengambilan keputusan strategis perusahaan.

c. Direktur Utama

Pemimpin tertinggi dalam manajemen perusahaan adalah direktur utama, yang bertanggung jawab atas semua kegiatan operasional kepada pemegang saham dan dewan komisaris. Tugas dan kewenangan Direktur Utama termasuk:

1. Menetapkan, mengarahkan, dan melaksanakan kebijakan perusahaan sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan.

2. Bertanggung jawab atas kinerja perusahaan kepada Dewan Komisaris dan pemegang saham pada akhir masa jabatannya.

3. Menjaga stabilitas organisasi serta membina hubungan yang harmonis antara pemegang saham, manajemen, karyawan, dan konsumen.

4. Mengangkat dan memberhentikan kepala bagian dengan persetujuan pemegang saham.

5. Mengkoordinasikan seluruh kegiatan antar direktorat, bagian, dan seksi agar berjalan secara sinergis.

Direktur Utama membawahi beberapa direktorat, antara lain:

1. Direktur Operasi dan Produksi

Direktur Operasi dan Produksi bertanggung jawab langsung kepada Direktur Utama dalam mengelola seluruh kegiatan yang berkaitan dengan proses produksi. Ruang lingkup tanggung jawabnya mencakup operasi pabrik, utilitas, pemeliharaan, pengembangan proses, pengadaan teknis, serta kegiatan laboratorium. Direktur Operasi dan Produksi dibantu oleh beberapa kepala bagian, yaitu:

a) Kepala Bagian Produksi

Bertugas mengatur dan mengawasi seluruh kegiatan produksi, termasuk proses, pengendalian operasi, utilitas, dan laboratorium. Dalam pelaksanaannya, bagian ini didukung oleh beberapa seksi, yaitu seksi proses dan pengendalian, seksi utilitas, serta seksi laboratorium.

b) Kepala Bagian Perencanaan dan Pengembangan

Bertanggung jawab dalam menyusun perencanaan operasional dan strategi pengembangan perusahaan. Kegiatan yang dilakukan meliputi evaluasi kinerja proses, peningkatan efisiensi, serta pengembangan teknologi. Dalam menjalankan tugasnya dibantu oleh beberapa seksi terkait.

c) Kepala Bagian Teknik

Mengelola dan mengawasi seluruh kegiatan teknis perusahaan, termasuk pemeliharaan peralatan dan fasilitas pabrik. Dalam pelaksanaannya, bagian ini didukung oleh beberapa seksi, yaitu seksi pengendalian kualitas, seksi instrumentasi dan listrik, serta seksi mekanik/mesin.

2. Direktur Keuangan dan Pemasaran

Direktur Keuangan dan Pemasaran bertanggung jawab kepada Direktur Utama dalam mengelola aspek keuangan serta aktivitas pemasaran perusahaan. Ruang lingkup tugasnya meliputi pengelolaan administrasi keuangan, penggajian, pemasaran produk, serta pengadaan bahan baku.

Direktur ini dibantu oleh beberapa kepala bagian, yaitu:

a) Kepala Bagian Keuangan

Bertugas mengelola dan mengawasi seluruh kegiatan keuangan perusahaan, termasuk pencatatan akuntansi, penyusunan laporan keuangan, serta pengelolaan sistem penggajian karyawan. Dalam pelaksanaannya dibantu oleh seksi keuangan.

b) Kepala Bagian Pemasaran

Bertanggung jawab atas kegiatan pemasaran produk serta pengadaan bahan baku. Tugasnya mencakup analisis pasar, penjualan produk, serta pembelian bahan baku. Dalam menjalankan tugasnya dibantu oleh seksi pembelian dan seksi pemasaran.

3. Direktur Administrasi dan Umum

Direktur Administrasi dan Umum memiliki tanggung jawab dalam pengelolaan administrasi perusahaan, sumber daya manusia, hubungan masyarakat, keamanan, serta keselamatan dan kesehatan kerja (K3).

Direktorat ini membawahi beberapa kepala bagian, yaitu:

a) Kepala Bagian Pengembangan Sumber Daya Manusia

Bertanggung jawab dalam pengelolaan dan pengembangan tenaga kerja, termasuk pelatihan, rekrutmen, serta hubungan industrial antara perusahaan dengan pihak eksternal seperti pemerintah dan masyarakat.

b) Kepala Bagian Umum dan Keamanan

Mengelola kegiatan umum perusahaan serta menjaga keamanan lingkungan pabrik, termasuk pengawasan fasilitas dan ketertiban kerja.

c) Kepala Bagian K3

Bertugas mengatur dan mengawasi penerapan sistem keselamatan dan kesehatan kerja di lingkungan pabrik. Dalam pelaksanaannya, bagian ini didukung oleh seksi K3 yang memastikan seluruh kegiatan operasional berjalan sesuai standar keselamatan.

Dengan pembagian tugas dan wewenang yang jelas pada setiap jenjang organisasi, diharapkan seluruh kegiatan operasional Pabrik *Maleat Anhidrida* dapat berjalan secara efektif, efisien, dan terkoordinasi dengan baik.

4.4.4 Pembagian Jam Kerja Karyawan

Pabrik Maleat Anhidrida yang dirancang direncanakan beroperasi secara kontinu selama 330 hari dalam satu tahun dengan waktu operasi 24 jam per hari. Sisa waktu dalam satu tahun dialokasikan untuk kegiatan non-operasional, seperti perawatan (*maintenance*), perbaikan peralatan, serta penghentian operasi sementara (*shut down*) guna menjaga keandalan dan umur teknis peralatan.

Agar kegiatan produksi, administrasi, serta pemasaran dapat berlangsung secara optimal dan berkesinambungan, maka diperlukan pengaturan jam kerja karyawan yang efektif dan efisien. Berdasarkan sistem waktu kerjanya, karyawan dalam perusahaan ini dibagi menjadi dua golongan utama, yaitu:

a) Karyawan *Non-Shift*

Karyawan *non-shift* merupakan tenaga kerja yang tidak terlibat langsung dalam kegiatan operasional proses produksi di lapangan. Kelompok ini umumnya bertugas dalam fungsi manajerial, administratif, dan pendukung operasional perusahaan.

Karyawan *non-shift* bekerja selama lima hari kerja dalam satu minggu, dengan hari libur pada hari Sabtu, Minggu, serta hari libur nasional. Yang termasuk dalam kategori karyawan *non-shift* antara lain Direktur Utama, para Direktur, Kepala Bagian, serta staf administrasi dan perkantoran.

Pengaturan jam kerja karyawan *non-shift* disusun dengan mempertimbangkan efisiensi kerja serta ketentuan ketenagakerjaan yang berlaku, sehingga mendukung kelancaran aktivitas perusahaan secara keseluruhan.

Ketentuan lebih rinci mengenai jam kerja karyawan *non-shift* dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. 3 Jadwal Kerja Karyawan *non-shift*

Hari	Jam Kerja	Jam Istirahat
Senin – Kamis	08:00 - 16:00	12:00 -13:00
Jum'at	08:00 - 17:00	11:00 - 13:00

b) Karyawan *Shift*

Karyawan *shift* merupakan tenaga kerja yang terlibat secara langsung dalam kegiatan operasional pabrik, khususnya dalam proses produksi serta pengawasan unit-unit yang berkaitan dengan keselamatan dan keberlangsungan operasi. Kelompok karyawan ini mencakup operator proses, sebagian tenaga teknik, petugas utilitas, serta personel gudang dan keamanan yang harus selalu siaga selama pabrik beroperasi.

Mengingat pabrik beroperasi selama 24 jam secara kontinu, maka karyawan *shift* bekerja secara bergiliran untuk memastikan proses produksi tetap berjalan dengan lancar tanpa henti. Sistem kerja ini juga bertujuan untuk menjaga stabilitas operasi serta meminimalkan risiko gangguan proses maupun kecelakaan kerja.

Pembagian waktu kerja karyawan *shift* dalam satu hari ditetapkan ke dalam beberapa periode kerja (*shift*) yang diatur secara bergantian. Dengan sistem ini, setiap karyawan memperoleh waktu kerja dan waktu istirahat yang seimbang sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Adapun pembagian *shift* kerja karyawan dalam satu hari adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 4 Jadwal Kerja Karyawan *shift*

Kelompok Kerja	Jam Kerja	Jam Istirahat
Shift 1	08:00 - 16:00	12:00 -13:00
Shift 2	16:00 - 00:00	19:00 - 20:00
Shift 3	00:00 - 08:00	04:00 - 05:00

Karyawan *shift* dibagi ke dalam empat kelompok kerja yang beroperasi secara bergiliran. Setiap kelompok menjalankan waktu kerja selama 8 jam per hari sesuai dengan pembagian *shift* yang telah ditentukan. Sistem kerja yang diterapkan adalah enam hari kerja diikuti dua hari libur, sehingga memberikan keseimbangan antara waktu kerja dan waktu istirahat bagi karyawan.

Dalam sistem ini, pabrik tetap beroperasi secara kontinu, termasuk pada hari Minggu dan hari libur nasional, sehingga karyawan *shift* tetap bertugas sesuai jadwal yang telah ditetapkan. Meskipun demikian, setiap karyawan tetap memperoleh hak cuti tahunan sebanyak 12 hari dalam satu tahun sesuai dengan ketentuan ketenagakerjaan.

Dari empat kelompok yang ada, tiga kelompok bertugas secara bergantian dalam *shift* pagi, sore, dan malam, sedangkan satu kelompok lainnya berada dalam kondisi libur. Pola ini akan terus berputar secara periodik sehingga seluruh karyawan mendapatkan pembagian waktu kerja yang adil dan merata.

Jadwal pembagian *shift* karyawan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. 5 Jadwal Kerja Setiap Kelompok

Kelompok	Hari/Tanggal														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
A	P	P	S	S	M	M	L	L	P	P	S	S	M	M	L
B	S	S	M	M	L	L	P	P	S	S	M	M	L	L	P
C	M	M	L	L	P	P	S	S	M	M	L	L	P	P	S
D	L	L	P	P	S	S	M	M	L	L	P	P	S	S	M

Tabel 4. 6 Jadwal Kerja Setiap Kelompok (Lanjutan)

Kelompok	Hari/Tanggal														
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A	L	P	P	S	S	M	M	L	L	P	P	S	S	M	M
B	P	S	S	M	M	L	L	P	P	S	S	M	M	L	L
C	S	M	M	L	L	P	P	S	S	M	M	L	L	P	P
D	M	L	L	P	P	S	S	M	M	L	L	P	P	S	S

Keterangan :

P = *Shift* Pagi

S = *Shift* Sore

M = *Shift* Malam

L = Libur

4.4.5 Jumlah Karyawan dan Sistem Gaji

Sistem penggajian karyawan pada pabrik ini ditetapkan dengan mempertimbangkan beberapa aspek utama, yaitu status kepegawaian, posisi atau jabatan dalam struktur organisasi, tingkat tanggung jawab, serta kompetensi dan keahlian yang dimiliki oleh masing-masing karyawan. Dengan pendekatan ini, diharapkan tercipta sistem remunerasi yang adil, proporsional, dan mampu meningkatkan motivasi kerja serta produktivitas karyawan.

Upah Minimum Kabupaten (UMK) daerah Kabupaten Tuban pada tahun 2026 adalah sebesar Rp 3.229.092,00. Sedangkan Prediksi nilai Upah Minimum Kabupaten (UMK) daerah Kabupaten Tuban pada tahun 2035 adalah sebesar Rp 5.450.000,00. Berikut Rincian mengenai sistem penggajian karyawan dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 7 Rincian Gaji Setiap Karyawan

No	Jabatan	Jumlah	Gaji (Rp/Orang/bulan)	Gaji (Rp/bulan)	Gaji (Rp/tahun)
1.	Direktur Utama	1	40.000.000,00	40.000.000,00	480.000.000,00
2.	Direktur Operasi dan Produksi	1	25.000.000,00	25.000.000,00	300.000.000,00
3.	Direktur Administrasi dan Umum	1	25.000.000,00	25.000.000,00	300.000.000,00
4.	Direktur Keuangan dan Pemasaran	1	25.000.000,00	25.000.000,00	300.000.000,00
5.	Kepala Bagian Produksi	1	10.000.000,00	10.000.000,00	120.000.000,00
6.	Kepala Bagian Perencanaan dan Pemeliharaan	1	10.000.000,00	10.000.000,00	120.000.000,00
7.	Kepala Bagian Teknik	1	10.000.000,00	10.000.000,00	120.000.000,00
8.	Kepala Bagian Pengembangan SDM	1	10.000.000,00	10.000.000,00	120.000.000,00
9.	Kepala Bagian Umum dan Keamanan	1	10.000.000,00	10.000.000,00	120.000.000,00
10.	Kepala Bagian K3	1	10.000.000,00	10.000.000,00	120.000.000,00

Tabel 4. 8 Rincian Gaji Setiap Karyawan (Lanjutan)

No	Jabatan	Jumlah	Gaji (Rp/Orang/bulan)	Gaji (Rp/bulan)	Gaji (Rp/tahun)
11.	Kepala Bagian Keuangan	1	10.000.000,00	10.000.000,00	120.000.000,00
12.	Kepala Bagian Pemasaran	1	10.000.000,00	10.000.000,00	120.000.000,00
13.	Kepala Seksi Proses dan Pengendalian	1	8.000.000,00	8.000.000,00	96.000.000,00
14.	Kepala Seksi Utilitas	1	8.000.000,00	8.000.000,00	96.000.000,00
15.	Kepala Seksi Laboratorium	1	8.000.000,00	8.000.000,00	96.000.000,00
16.	Kepala Seksi Perencanaan	1	8.000.000,00	8.000.000,00	96.000.000,00
17.	Kepala Seksi Pemeliharan	1	8.000.000,00	8.000.000,00	96.000.000,00
18.	Kepala Seksi Mesin	1	8.000.000,00	8.000.000,00	96.000.000,00
19.	Kepala Seksi Pengendalian Kualitas	1	8.000.000,00	8.000.000,00	96.000.000,00
20.	Kepala Seksi Instrumentasi dan Listrik	1	8.000.000,00	8.000.000,00	96.000.000,00

Tabel 4. 9 Rincian Gaji Setiap Karyawan (Lanjutan)

No	Jabatan	Jumlah	Gaji (Rp/Orang/bulan)	Gaji (Rp/bulan)	Gaji (Rp/tahun)
21.	Kepala Seksi Hubungan Masyarakat	1	8.000.000,00	8.000.000,00	96.000.000,00
22.	Kepala Seksi Keamanan	1	8.000.000,00	8.000.000,00	96.000.000,00
23.	Kepala Seksi K3	1	8.000.000,00	8.000.000,00	96.000.000,00
24.	Kepala Seksi Keuangan	1	8.000.000,00	8.000.000,00	96.000.000,00
25.	Kepala Seksi Pemasaran	1	8.000.000,00	8.000.000,00	96.000.000,00
26.	Kepala Seksi Pembelian	1	8.000.000,00	8.000.000,00	96.000.000,00
27.	Karyawan Proses dan Pengendalian	8	7.500.000,00	60.000.000,00	720.000.000,00
28.	Karyawan Utilitas	10	7.500.000,00	75.000.000,00	900.000.000,00
29.	Karyawan Laboratorium	5	7.000.000,00	35.000.000,00	420.000.000,00
30.	Karyawan Perencanaan	2	7.000.000,00	14.000.000,00	168.000.000,00
31.	Karyawan Pemeliharan	3	7.000.000,00	21.000.000,00	252.000.000,00

Tabel 4. 10 Rincian Gaji Setiap Karyawan (Lanjutan)

No	Jabatan	Jumlah	Gaji (Rp/Orang/bulan)	Gaji (Rp/bulan)	Gaji (Rp/tahun)
32.	Karyawan Mesin	4	7.000.000,00	28.000.000,00	336.000.000,00
33.	Karyawan Pengendalian Kualitas	6	7.000.000,00	42.000.000,00	504.000.000,00
34.	Karyawan Instrumentasi dan Listrik	4	7.000.000,00	28.000.000,00	336.000.000,00
35.	Karyawan Hubungan Masyarakat	3	7.000.000,00	21.000.000,00	252.000.000,00
36.	Karyawan Keamanan	5	7.000.000,00	35.000.000,00	420.000.000,00
37.	Karyawan K3	5	7.000.000,00	35.000.000,00	420.000.000,00
38.	Karyawan Keuangan	5	7.000.000,00	35.000.000,00	420.000.000,00
39.	Karyawan Pemasaran	3	7.000.000,00	21.000.000,00	252.000.000,00
40.	Karyawan Pembelian	3	7.000.000,00	21.000.000,00	252.000.000,00
41.	Operator	35	8.000.000,00	280.000.000,00	3.360.000.000,00

Tabel 4. 11 Rincian Gaji Setiap Karyawan (Lanjutan)

No	Jabatan	Jumlah	Gaji (Rp/Orang/bulan)	Gaji (Rp/bulan)	Gaji (Rp/tahun)
42.	Sekretaris	4	6.000.000,00	24.000.000,00	288.000.000,00
43.	Dokter	3	7.000.000,00	21.000.000,00	252.000.000,00
44.	Perawat	5	5.000.000,00	25.000.000,00	300.000.000,00
45.	*Security*	6	4.500.000,00	27.000.000,00	324.000.000,00
46.	Supir	6	4.000.000,00	24.000.000,00	288.000.000,00
47.	*Cleaning Service*	8	4.000.000,00	32.000.000,00	384.000.000,00
Jumlah Total		**159**		**1.211.000.000,00**	**14.532.000.000,00**

4.4.6 Jumlah Karyawan dan Sistem Gaji

Perusahaan memberikan perhatian terhadap kesejahteraan sosial karyawan sebagai upaya untuk meningkatkan motivasi kerja, produktivitas, serta menciptakan lingkungan kerja yang aman dan nyaman. Fasilitas kesejahteraan yang diberikan kepada karyawan antara lain sebagai berikut:

a. Kerja Lembur

Kerja lembur diberlakukan apabila terdapat pekerjaan yang bersifat mendesak dan memerlukan penyelesaian di luar jam kerja normal. Pelaksanaan kerja lembur harus mendapatkan persetujuan dari kepala bagian terkait. Karyawan yang melakukan lembur akan memperoleh kompensasi sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

b. Pakaian Kerja

Perusahaan menyediakan pakaian kerja bagi karyawan tetap sebagai bagian dari fasilitas penunjang keselamatan dan kenyamanan kerja. Setiap karyawan memperoleh dua pasang pakaian kerja setiap tahun. Pemberian seragam ini juga bertujuan untuk menciptakan keseragaman, meningkatkan disiplin, serta mengurangi kesenjangan antar karyawan di lingkungan kerja.

c. Tunjangan Karyawan

Perusahaan memberikan berbagai bentuk tunjangan sebagai bagian dari sistem kompensasi karyawan, yang meliputi:

1. Tunjangan berupa gaji pokok yang diberikan sesuai dengan golongan atau tingkat karyawan.
2. Tunjangan jabatan yang diberikan berdasarkan posisi atau jabatan yang diemban oleh karyawan dalam struktur organisasi.
3. Tunjangan lembur yang diberikan kepada karyawan yang bekerja melebihi jam kerja normal, dihitung berdasarkan jumlah jam lembur yang dilakukan.
4. Tunjangan Hari Raya (THR), yang diberikan setiap tahun menjelang Hari Raya Idul Fitri sebesar satu bulan gaji sebagai bentuk penghargaan dan dukungan terhadap kebutuhan karyawan.

d. Jaminan Sosial Tenaga Kerja (Jamsostek)

Perusahaan memberikan fasilitas jaminan sosial tenaga kerja berupa perlindungan terhadap risiko kecelakaan kerja dan jaminan keselamatan karyawan selama menjalankan tugas. Program ini bertujuan untuk memberikan rasa aman dan perlindungan finansial bagi karyawan dalam menghadapi risiko kerja maupun kondisi tertentu lainnya.

4.4.7 Fasilitas dan Hak Karyawan

Perusahaan menyediakan berbagai fasilitas serta menjamin hak-hak karyawan sebagai bentuk dukungan terhadap peningkatan kinerja, kenyamanan, dan kesejahteraan tenaga kerja. Penyediaan fasilitas dan hak ini diharapkan mampu

menciptakan lingkungan kerja yang kondusif sehingga produktivitas karyawan dapat terjaga secara optimal. Adapun fasilitas dan hak yang diberikan meliputi:

a. Hak Cuti

Hak cuti merupakan salah satu bentuk perlindungan dan kesejahteraan yang diberikan kepada karyawan, yang terdiri atas:

1. Cuti Tahunan

Setiap karyawan memiliki hak cuti tahunan selama dua belas hari kerja selama satu tahun. Hak ini harus digunakan selama tahun tersebut jika tidak digunakan. Jika tidak digunakan, hak tersebut tidak dapat dikumpulkan atau dialihkan ke tahun berikutnya.

2. Cuti Sakit

Sesuai dengan peraturan ketenagakerjaan yang berlaku, cuti sakit diberikan kepada karyawan yang mengalami gangguan kesehatan dan harus dibuktikan dengan surat keterangan dokter.

b. Fasilitas Karyawan

Dalam rangka menunjang produktivitas serta menjaga kondisi fisik dan mental karyawan, perusahaan menyediakan berbagai fasilitas penunjang yang dapat dimanfaatkan selama bekerja. Fasilitas ini juga bertujuan untuk menciptakan kenyamanan sehingga karyawan dapat menjalankan tugasnya secara optimal. Fasilitas yang disediakan antara lain:

1. Poliklinik

Perusahaan menyediakan fasilitas poliklinik sebagai sarana pelayanan kesehatan bagi karyawan. Fasilitas ini bertujuan untuk menjaga kondisi kesehatan tenaga kerja yang berpengaruh langsung terhadap efisiensi dan kontinuitas produksi. Poliklinik dilengkapi dengan tenaga medis, seperti dokter dan perawat.

2. Tempat Ibadah

Untuk memenuhi kebutuhan spiritual karyawan, perusahaan menyediakan masjid atau tempat ibadah lainnya. Dengan adanya fasilitas ini, karyawan dapat memenuhi kewajiban keagamaan mereka saat mereka bekerja.

3. Transportasi

Perusahaan menyediakan *shuttle* bus untuk memudahkan mobilitas karyawan dan mengurangi biaya transportasi. Layanan ini beroperasi di beberapa lokasi untuk menjemput dan mengantar pekerja saat mereka berangkat dan pulang dari tempat kerja.

4. Makan dan Minum

Perusahaan menyediakan makan dan minuman satu kali dalam sehari, biasanya pada waktu istirahat siang. Kualitas dan kebersihan makanan dijamin oleh penyedia jasa katering yang ditunjuk oleh perusahaan.

BAB V

UTILITAS

Unit pendukung utilitas memainkan peran penting dalam membantu proses produksi pabrik berjalan lancar. Sistem utilitas mencakup penyediaan, pengolahan, dan pendistribusian berbagai kebutuhan operasional yang diperlukan agar seluruh unit proses beroperasi secara optimal. Dengan kapasitas produksi 11.808 ton per tahun, Pabrik Maleat Anhidrida memiliki sistem utilitas yang dirancang secara terpadu untuk memastikan ketersediaan energi dan bahan penunjang yang efisien, andal, dan berkesinambungan. Beberapa bagian utama berikut membentuk unit utilitas pabrik ini:

1. Unit Penyediaan dan Pengolahan Air (*Water Treatment System*)

   Sistem pengolahan air dirancang untuk menghasilkan air dengan kualitas yang sesuai dengan standar penggunaan masing-masing untuk berbagai kebutuhan operasional, seperti air proses, air pendingin, air umpan boiler, dan air sanitasi untuk perkantoran dan lingkungan pabrik. Salah satu fungsi utama unit ini adalah dalam sistem pendinginan, juga dikenal sebagai sistem pendinginan. Sistem ini memanfaatkan air untuk menyerap panas dari peralatan proses untuk menjaga suhu operasi stabil dan mencegah kebakaran.

2. Unit Penyedia *Dowtherm A*

Salah satu fungsi unit ini adalah untuk menyediakan *Dowtherm* A, fluida perpindahan panas yang digunakan untuk mendinginkan beberapa peralatan proses, terutama Reaktor (R-01). *Dowtherm* A dipilih karena kemampuan untuk beroperasi secara stabil pada suhu yang sangat tinggi, yang membuatnya cocok untuk kondisi proses yang membutuhkan pengendalian suhu yang efektif.

Penggunaan air sebagai media pendingin konvensional dinilai kurang efektif untuk aplikasi ini, karena pada suhu operasi yang tinggi air cenderung mengalami kenaikan temperatur secara cepat bahkan berpotensi mengalami penguapan sebelum proses perpindahan panas berlangsung secara optimal. Hal ini dapat menurunkan efisiensi sistem pendinginan. Oleh karena itu, digunakan fluida khusus seperti *Dowtherm A* yang memiliki sifat termal dan kestabilan kimia yang baik pada suhu tinggi, sehingga mampu menjaga kinerja sistem pendinginan tetap optimal serta mendukung kestabilan operasi reaktor.

3. Unit Penyedia *Steam*

Peralatan proses seperti *heater*, evaporator, dan *reboiler* menggunakan *steam* sebagai sumber energi panas untuk memanaskan fluida dan menguap, serta membantu proses pemisahan komponen dalam unit proses. Untuk menjaga stabilitas dan efisiensi proses

produksi secara keseluruhan, ketersediaan steam yang konstan dan konsisten sangat penting.

4. Unit Pembangkit Listrik (*Power Plant System*)

   Energi listrik yang diperlukan untuk peralatan proses, sistem penerangan, dan fasilitas pendukung lainnya dihasilkan oleh unit ini. Sumber listrik utama berasal dari jaringan PLN, dan generator digunakan sebagai sumber cadangan untuk mengantisipasi gangguan pasokan listrik. Keandalan sistem kelistrikan sangat penting untuk memastikan kontinuitas proses produksi dan keselamatan operasional pabrik.

5. Unit Penyediaan Udara Tekan (*Instrument Air System*)

   Unit ini menyediakan udara bertekanan untuk sistem kontrol pneumatik dan instrumentasi. Berbagai peralatan kontrol, seperti *valve* dan *actuator* yang bekerja secara otomatis, bekerja dengan udara tekan. Sebelum didistribusikan ke seluruh unit proses, sistem ini terdiri dari kompresor yang menghasilkan udara tekan dan tangki penyimpanan yang berfungsi sebagai penyeimbang tekanan. Keandalan sistem ini sangat penting untuk menjaga stabilitas dan akurasi pengendalian proses.

6. Unit Penyedia Bahan Bakar

Unit ini berfungsi untuk menyediakan bahan bakar bagi generator dan unit pembakaran lainnya. Sistem ini dirancang agar pasokan bahan bakar selalu tersedia dalam kondisi siap pakai, sehingga pabrik dapat terus berjalan meskipun sumber daya utama terganggu. Untuk menjaga ketersediaan energi di seluruh wilayah pabrik, unit ini sangat penting.

7. Unit Pengolahan Limbah

Unit pengolahan limbah bertugas untuk mengolah limbah hasil proses produksi sebelum dibuang ke lingkungan. Proses pengolahan dilakukan melalui metode fisika, kimia, dan biologi guna menghilangkan kontaminan yang terkandung dalam limbah cair maupun limbah lainnya. Sistem ini dirancang agar limbah yang dihasilkan memenuhi baku mutu lingkungan yang berlaku, sehingga dampak negatif terhadap lingkungan dapat diminimalkan dan operasional pabrik tetap berkelanjutan.

5.1 Unit Penyediaan dan Pengolahan Air

Salah satu komponen penting dari sistem utilitas pabrik adalah unit penyediaan dan pengolahan air, yang berfungsi untuk menyediakan air dalam kuantitas dan kualitas yang sesuai dengan kebutuhan operasional. Air yang dihasilkan digunakan untuk berbagai tujuan, termasuk sanitasi, proses produksi, dan sistem pendinginan, serta sebagai media untuk pengolahan limbah.

Melalui sistem pengolahan yang dirancang secara tepat, unit ini mampu menjamin ketersediaan air yang memenuhi standar teknis pada setiap penggunaannya. Dengan demikian, keberadaan unit penyediaan dan pengolahan air sangat berperan dalam mendukung kelancaran, efisiensi, serta keberlangsungan operasional Pabrik Maleat Anhidrida secara menyeluruh.

5.1.1 Penyediaan Air

Untuk memenuhi kebutuhan air untuk kegiatan operasional pabrik, berbagai sumber air dapat digunakan, termasuk air tanah (sumur), air sungai, air danau, atau air laut. Pilihan sumber air tergantung pada ketersediaan dan kualitas air di lokasi pabrik.

Pada perancangan Pabrik Maleat Anhidrida ini, sumber air yang dipilih adalah air laut, dengan pertimbangan ketersediaannya yang melimpah serta lokasi pabrik yang berdekatan dengan wilayah pesisir. Hal ini memberikan keuntungan

dalam hal kemudahan pengambilan, kontinuitas pasokan, serta efisiensi dalam distribusi air ke berbagai unit yang membutuhkan di dalam pabrik.

1. Air untuk Keperluan Umum (*General Uses*) / Air Sanitasi

   Air untuk keperluan umum merupakan air yang digunakan untuk menunjang aktivitas non-proses di lingkungan pabrik. Penggunaan air ini lebih difokuskan pada kebutuhan sanitasi serta fasilitas pendukung operasional lainnya.

   Air digunakan untuk keperluan umum, yang mencakup air untuk karyawan, termasuk kamar mandi, tempat ibadah, dan fasilitas umum lainnya. Selain itu, air ini juga digunakan untuk kebutuhan laboratorium, penyiraman area taman, air servis, dan sebagai cadangan air dalam situasi darurat. Untuk memenuhi kebutuhan ini, kualitas air yang digunakan harus memenuhi standar kebersihan dan kesehatan yang berlaku. Ini akan membuat lingkungan kerja yang nyaman dan higienis dan menjamin kesejahteraan seluruh pekerja.

Tabel 5. 1 Kebutuhan Air Untuk Keperluan Umum

Kebutuhan	**Jumlah**	***Flowrate*, kg/jam**
Kantor dan Karyawan	120 liter/orang/hari	795
Laboratorium dan Taman	20% dari kebutuhan karyawan	159
Service Water dan Cadangan	140% dari total jumlah kebutuhan karyawan, lab, dan taman	1335,6
Total Air Keperluan Umum		**2289,6**

Sebagai upaya untuk menjamin keamanan dan kontinuitas operasional, kebutuhan air untuk keperluan umum dirancang dengan mempertimbangkan faktor cadangan (*overdesign*). Dalam perancangan ini, ditambahkan margin sebesar 20% dari kebutuhan dasar guna mengantisipasi kemungkinan peningkatan kebutuhan, fluktuasi pemakaian, maupun kondisi darurat.

Dengan adanya penambahan faktor tersebut, total kebutuhan air untuk keperluan umum ditetapkan sebesar 2747,52 kg/jam, sehingga ketersediaan air tetap terjamin dalam berbagai kondisi operasional pabrik.

2. Air untuk Kebutuhan Pemadaman (*Hydrant Water*)

Salah satu bagian penting dari sistem utilitas yang berkaitan dengan keselamatan kerja (*safety system*) di lingkungan pabrik adalah air untuk pemadaman kebakaran. Air ini dirancang khusus untuk digunakan dalam situasi darurat, seperti saat terjadi kebakaran, sehingga tidak dapat digunakan secara terus menerus dan hanya digunakan dalam situasi tertentu.

Dalam perancangannya, kebutuhan air untuk sistem *hydrant* ditetapkan berdasarkan persentase tertentu dari kebutuhan air untuk keperluan umum. Pada pabrik ini, kebutuhan air pemadam kebakaran diasumsikan sebesar 20% dari kebutuhan air umum, sehingga diperoleh kebutuhan air *hydrant* sebesar 549,504 kg/jam. Besaran ini diharapkan mampu mendukung sistem penanggulangan kebakaran secara efektif guna meminimalkan risiko kerugian akibat kejadian darurat.

3. Air Pendingin

Air pendingin adalah bagian penting dari sistem utilitas karena menyerap panas dari peralatan proses melalui sistem pendinginan. Ini dilakukan untuk menjaga suhu operasi stabil sehingga proses produksi dapat berlangsung dengan aman, efisien, dan terkendali.

Besarnya kebutuhan air pendingin ditentukan berdasarkan jumlah beban panas (*heat load*) yang dihasilkan selama proses berlangsung. Oleh

karena itu, perhitungan kebutuhan air pendingin dilakukan dengan mempertimbangkan neraca energi pada setiap unit proses, yang selanjutnya akan dijabarkan pada perhitungan berikut:

Tabel 5. 2 Kebutuhan Air Pendingin

Nama Alat	***Flowrate*, kg/jam**
Condensor-01	93.951,138
Condensor-02	24.958,264
Kristallizer-01	5.086,356
Total Kebutuhan Air Pendingin	**123.995,757**

Untuk meningkatkan keandalan dan keselamatan operasional pabrik, air pendingin dirancang dengan faktor cadangan atau *overdesign*. Dalam perancangan ini, margin sebesar 20% dari kebutuhan dasar ditambahkan untuk mengantisipasi perubahan beban panas dan kondisi operasional yang tidak ideal.

Dengan mempertimbangkan faktor tersebut, total kebutuhan air pendingin yang disediakan adalah sebesar 148.794,908 kg/jam. Sistem pendingin yang digunakan terdiri atas beberapa komponen utama, yaitu *cooling tower*, kolam penampung (*cold basin*), serta jaringan distribusi air pendingin yang mengalirkan air ke seluruh peralatan proses yang membutuhkan.

Selama operasi pada kondisi *steady state*, sistem pendingin berpotensi mengalami kehilangan air (*water losses*). Kehilangan ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain penguapan (*evaporation*), kehilangan akibat terbawa aliran udara (*drift loss*), serta *blowdown* yang dilakukan untuk mengontrol konsentrasi zat terlarut dalam sistem.

Oleh karena itu, untuk menjaga keseimbangan massa dalam sistem pendingin, diperlukan suplai air tambahan (*make-up water*). Kebutuhan *make-up water* pada sistem ini diperkirakan sebesar 3.206,530 kg/jam, sehingga kontinuitas operasi sistem pendingin tetap terjaga.

4. Air Umpan *Boiler*

Air umpan *boiler* (*boiler feed water*) merupakan salah satu komponen penting dalam sistem utilitas yang berfungsi sebagai bahan baku dalam proses pembangkitan *steam*. *Steam* yang dihasilkan digunakan sebagai media pemanas untuk menunjang berbagai kebutuhan proses produksi di dalam pabrik.

Pada perancangan ini, steam yang dihasilkan berupa uap jenuh (*saturated steam*) dengan suhu operasi sekitar 150 °C, yang disesuaikan dengan kebutuhan panas pada unit proses. Besarnya kebutuhan air umpan *boiler* ditentukan berdasarkan jumlah steam yang dibutuhkan oleh peralatan

pemanas, dengan mempertimbangkan efisiensi kerja *boiler* serta kemungkinan kehilangan air selama proses operasi.

Perhitungan kebutuhan air umpan *boiler* akan dilakukan secara lebih rinci pada bagian selanjutnya, sehingga diperoleh estimasi yang akurat untuk mendukung keberlangsungan operasi Pabrik *Maleat Anhidrida* secara optimal.

Tabel 5. 3 Kebutuhan Air Umpan *Boiler*

Nama Alat	***Flowrate*, kg/jam**
Vaporizer-01	549,687
Evaporator-01	1116,487
Heat Exchanger-01	4,039
Total Kebutuhan Air Umpan *Boiler*	**1.670,213**

Dalam upaya menjamin aspek keselamatan serta keberlangsungan operasi pabrik, kebutuhan air untuk keperluan umum direncanakan dengan mempertimbangkan faktor cadangan (*overdesign*). Pada perancangan ini, ditambahkan margin sebesar 20% dari kebutuhan dasar untuk mengantisipasi variasi pemakaian air maupun kondisi operasional yang tidak terduga. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, total kebutuhan air untuk keperluan air umpan *boiler* ditetapkan sebesar 2.004,255 kg/jam.

Selama operasi pada kondisi *steady state*, sistem air umpan *boiler* mengalami kehilangan air (*water losses*) untuk *blowdown* yang dilakukan untuk mengontrol konsentrasi zat terlarut dalam sistem. Oleh karena itu, untuk menjaga keseimbangan massa dalam sistem air umpan *boiler*, diperlukan suplai air tambahan (*make-up water*). Kebutuhan *make-up water* pada sistem ini diperkirakan sebesar 222,695 kg/jam, sehingga kontinuitas operasi sistem air umpan boiler tetap terjaga.

5.1.2 Sumber Air

Air merupakan salah satu utilitas utama yang memiliki peranan penting dalam menunjang keberlangsungan operasi Pabrik Maleat Anhidrida. Pemanfaatan air mencakup berbagai kebutuhan, antara lain sebagai media pendingin dalam sistem proses, sebagai bahan baku pembangkit uap (*steam*), serta untuk keperluan umum seperti sanitasi dan kebutuhan domestik di lingkungan pabrik. Oleh karena itu, perancangan sistem penyediaan dan pengelolaan air harus dilakukan secara cermat dan terintegrasi. Hal ini bertujuan untuk memastikan ketersediaan air yang memadai baik dari segi kualitas maupun kuantitas, sehingga proses produksi dapat berlangsung secara efisien, stabil, dan berkesinambungan.

Tabel 5. 4 Total Kebutuhan Air

Kebutuhan Air	***Flowrate*, kg/jam**
Air Untuk Keperluan Umum (*General Uses*) / Air Sanitasi	2747,52
Air untuk Kebutuhan Pemadaman	549,504
Air Pendingin	3206,530
Air Umpan *Boiler*	222,695
Total Kebutuhan Air Keseluruhan	6726,2493

Pendirian Pabrik Maleat Anhidrida direncanakan berlokasi di wilayah Tuban, Provinsi Jawa Timur. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada berbagai pertimbangan teknis, salah satunya adalah ketersediaan sumber air yang melimpah serta kontinuitas pasokan yang dapat terjamin sepanjang tahun.

Berdasarkan kondisi tersebut, air laut dipilih sebagai sumber utama dalam memenuhi kebutuhan air operasional pabrik. Dengan total kebutuhan air sebesar 6.726,249 kg/jam, potensi sumber daya air di wilayah perairan sekitar Tuban dinilai mencukupi dan layak untuk mendukung kebutuhan proses maupun utilitas secara berkelanjutan.

5.1.3 Pengolahan Air

Air laut digunakan sebagai sumber utama penyediaan air pada pabrik Maleat Anhidrida dari Benzena dan Oksigen dengan kapasitas 11.808 ton/tahun.

Pemanfaatan air laut ini dilakukan melalui suatu sistem pengambilan (*intake*) dan pengolahan yang dirancang secara komprehensif agar mampu menghasilkan air dengan kualitas yang sesuai dengan kebutuhan proses maupun utilitas. Mengingat air laut memiliki kandungan garam terlarut, padatan tersuspensi, serta zat organik yang cukup tinggi, maka diperlukan tahapan pengolahan yang sistematis, meliputi proses fisika, kimia, dan pemurnian lanjutan. Setiap tahapan dirancang untuk menghilangkan kontaminan tertentu sehingga air yang dihasilkan memenuhi spesifikasi teknis yang dipersyaratkan dalam operasional pabrik.

a. *Screening*

Proses *screening*, yang dilakukan sebelum air memasuki unit pengolahan berikutnya, adalah tahap awal sistem pengolahan air laut. Air laut diambil secara langsung melalui sistem pengambilan langsung melalui pipa yang memiliki *strainer* di ujungnya. Strainer ini berfungsi sebagai penyaring awal untuk menahan benda-benda kasar seperti sampah plastik, potongan kayu, daun, serta organisme laut seperti ikan agar tidak ikut masuk ke dalam sistem.

Setelah melewati penyaringan awal tersebut, air kemudian dialirkan menuju unit *bar screen*, yaitu alat penyaring yang terdiri dari batang-batang logam yang disusun sejajar dengan jarak tertentu. Alat ini berfungsi untuk menyaring partikel kasar yang masih terbawa aliran air. Dengan adanya proses ini, aliran air yang masuk ke tahap berikutnya menjadi lebih bersih

dan bebas dari material yang dapat menyebabkan penyumbatan maupun kerusakan pada peralatan proses.

b. Ekualisasi dan Sedimentasi

Air yang dihasilkan dari screening kemudian dialirkan ke dalam bak ekualisasi. Sebelum diproses lebih lanjut, unit ini berfungsi sebagai tempat penampungan sementara untuk menstabilkan debit aliran dan kualitas air. Proses ekualisasi dapat mengurangi fluktuasi sumber air laut baik dari segi debit maupun kandungan zat terlarut. Akibatnya, proses pengolahan selanjutnya dapat berlangsung dengan lebih cepat dan stabil.

Setelah tahap ekualisasi, air dialirkan menuju unit sedimentasi. Pada unit ini, partikel-partikel tersuspensi dengan ukuran relatif besar akan mengendap secara alami akibat gaya gravitasi. Proses sedimentasi ini sangat penting karena dapat mengurangi beban pengolahan pada unit berikutnya, khususnya dalam menghilangkan padatan tersuspensi yang masih terkandung dalam air.

c. Koagulasi, Flokulasi, dan Pengendapan

Tahap ini merupakan proses lanjutan untuk menghilangkan partikel halus dan koloid yang tidak dapat dipisahkan melalui sedimentasi biasa. Proses dimulai dengan koagulasi, yaitu penambahan bahan kimia koagulan seperti *aluminium sulfat* ke dalam air. Koagulan ini akan menetralkan

muatan listrik pada partikel koloid sehingga partikel-partikel tersebut dapat saling berikatan.

Reaksi yang terjadi menghasilkan endapan *aluminium hidroksida* yang berfungsi sebagai pengikat partikel-partikel halus. Namun, reaksi ini juga menghasilkan produk samping berupa asam yang dapat menurunkan pH air. Oleh karena itu, dilakukan penambahan bahan penetral seperti *natrium karbonat* untuk menjaga pH tetap berada dalam kisaran optimal.

Setelah itu, air dialirkan ke unit flokulasi, di mana pengadukan lambat dilakukan untuk membuat flok yang lebih besar. Flok yang lebih besar akan lebih mudah mengendap pada unit pengendapan. Air jernih dari bagian atas pengendapan kemudian dialirkan ke tahap berikutnya, dan lumpur yang dihasilkan dari pengendapan dipisahkan dan dialirkan ke sistem pengolahan lumpur.

d. Filtrasi

Proses filtrasi bertujuan untuk menghilangkan sisa partikel halus yang masih terdapat dalam air setelah proses pengendapan. Dalam sistem ini digunakan dua jenis media filtrasi, yaitu *sand filter* dan *carbon filter*.

Sand filter bekerja dengan menyaring partikel tersuspensi melalui media pasir dengan ukuran tertentu, di mana partikel halus tertahan di antara butiran pasir. Untuk menjaga fungsinya efektif, filter pasir harus dicuci secara berkala.

Sementara itu, *carbon filter* digunakan untuk menyerap senyawa organik, bau, warna, serta zat pencemar lain yang masih tersisa dalam air. Karbon aktif memiliki luas permukaan yang besar sehingga mampu mengadsorpsi berbagai kontaminan secara efektif. Dengan kombinasi kedua filter ini, kualitas air menjadi lebih baik dan memenuhi persyaratan untuk proses selanjutnya.

e. *Reverse Osmosis* (RO)

Meskipun telah melalui proses filtrasi, air masih mengandung garam terlarut dan senyawa ionik yang tidak dapat dihilangkan secara mekanis. Oleh karena itu, digunakan teknologi *reverse osmosis* sebagai tahap pemurnian lanjutan.

Dalam proses ini, tekanan tinggi digunakan untuk memaksa air melewati membran semipermeabel, yang hanya dapat dilewati oleh molekul air. Pada saat yang sama, ion-ion garam dan kontaminan lainnya tertahan. Sistem RO dalam perancangan ini terdiri dari dua tahap. *Sea Water Reverse Osmosis* (SWRO) digunakan untuk mengolah air laut dengan kadar garam tinggi, dan *Brackish Water Reverse Osmosis* (BWRO) digunakan sebagai tahap lanjutan untuk meningkatkan kemurnian air.

Dengan adanya dua tahap ini, air hasil pengolahan memiliki kandungan zat terlarut yang sangat rendah dan sesuai untuk digunakan dalam sistem proses maupun utilitas.

f. Demineralisasi

Tahap demineralisasi bertujuan untuk menghilangkan ion-ion terlarut yang masih tersisa dalam air, baik *kation* maupun *anion*. Proses ini dilakukan menggunakan sistem penukar ion (*ion exchanger),* yang terdiri dari dua unit utama, yaitu *cation exchanger* dan *anion exchanger*.

Pada unit kation, ion-ion bermuatan positif seperti *kalsium*, *magnesium*, dan *natrium* ditukar dengan ion hidrogen. Sedangkan pada unit *anion*, ion bermuatan negatif seperti klorida dan sulfat ditukar dengan ion hidroksida. Ion hidrogen dan hidroksida yang dihasilkan kemudian bereaksi membentuk air, sehingga dihasilkan air dengan tingkat kemurnian yang sangat tinggi.

Proses ini sangat penting untuk mencegah pembentukan kerak pada peralatan, terutama pada sistem *boiler* dan peralatan penukar panas.

g. Deaerasi

Deaerasi merupakan proses untuk menghilangkan gas-gas terlarut seperti Oksigen dan karbon dioksida yang dapat menyebabkan korosi pada peralatan logam. Proses ini dilakukan secara fisik dengan pemanasan menggunakan *steam* sehingga kelarutan gas dalam air menurun dan gas tersebut dapat dilepaskan.

Selain itu, dilakukan juga deaerasi secara kimia dengan penambahan bahan seperti *hidrazin* yang berfungsi mengikat Oksigen terlarut. Proses ini

sangat penting untuk menjaga keawetan peralatan serta meningkatkan efisiensi sistem utilitas.

h. *Boiler*

Boiler merupakan unit yang berfungsi untuk menghasilkan uap air (*steam*) yang digunakan sebagai media pemanas dalam berbagai unit proses. Air hasil deaerasi dipanaskan hingga mencapai kondisi uap pada suhu dan tekanan tertentu.

Selama proses ini, zat terlarut tidak ikut menguap dan akan terkonsentrasi dalam sistem *boiler*. Oleh karena itu, dilakukan proses *blowdown* untuk mengeluarkan sebagian air yang mengandung konsentrasi zat terlarut tinggi dan menggantinya dengan air baru. Proses ini bertujuan untuk mencegah pembentukan kerak serta menjaga efisiensi perpindahan panas dalam *boiler*.

i. *Cooling Tower*

Cooling tower menurunkan suhu air pendingin melalui proses kontak langsung dengan udara. Air panas yang dihasilkan dari proses dialirkan ke bagian atas menara pendingin dan kemudian didistribusikan melalui media pengisi, juga dikenal sebagai filler, untuk meningkatkan luas permukaan kontak.

Udara dialirkan secara berlawanan arah atau sejajar sehingga terjadi perpindahan panas, di mana sebagian air menguap dan menyerap panas dari

air yang tersisa. Air yang telah mengalami pendinginan kemudian dikumpulkan di bagian bawah dan digunakan kembali dalam sistem.

Untuk menjaga kestabilan sistem, diperlukan penambahan *make-up water* sebagai pengganti air yang hilang akibat penguapan. Selain itu, dilakukan penambahan bahan kimia seperti *corrosion inhibitor*, *scale inhibitor*, dan *biocide* untuk mencegah korosi, pembentukan kerak, serta pertumbuhan mikroorganisme, sehingga sistem pendingin dapat beroperasi secara optimal dan berkelanjutan.

5.1.4 Spesifikasi Alat Utilitas

a. Alat Pengolahan Air

1. Screener

Fungsi	:	Menyaring kotoran-kotoran yang berukuran besar, minyalnya daun, ranting, dan sampah-sampah lainnya
Jenis	:	*Bar Screen* (*Coarse Screen*)
Material	:	*Stainless steel SS 304*
Luas Penampang, (m^2)	:	91,522
Jumlah	:	1

2. Kolam Ekualisasi

Fungsi	:	a. Menyeimbangkan variasi debit aliran air laut yang masuk ke sistem, baik yang disebabkan oleh kondisi pasang surut maupun perubahan kebutuhan air pada unit proses pabrik. b. Menjaga kestabilan karakteristik kualitas air, seperti kandungan padatan tersuspensi (TSS), temperatur, dan salinitas, agar tetap sesuai dengan spesifikasi pengolahan. c. Menyediakan cadangan (*buffer*) air sebagai langkah antisipasi apabila terjadi gangguan pada sistem pengambilan air (*intake*), sehingga kontinuitas suplai ke unit utilitas tetap terjamin.
Jenis	:	Bak beton persegi panjang
Material	:	Beton Bertulang
Waktu Tinggal, (jam)	:	6
Kondisi Operasi	:	
a. Suhu, (°C)	:	30
b. Tekanan, (atm)	:	1

Spesifikasi :

a. Volume, (m^3/jam) : 118,004
b. Luas Permukaan, (m^2) : 47,201
c. Panjang, (m) : 9,716
d. Lebar, (m) : 4,858

Jumlah : 1

3. Pre-mix tank

Fungsi	:	a. Pengkondisian kimia air dilakukan melalui penyesuaian pH dengan Na_2CO_3 serta penambahan $Al_2(SO_4)_3$ untuk proses koagulasi, sehingga partikel halus dapat membentuk flok dan mudah dipisahkan. b. Perlakuan awal air meliputi desinfeksi menggunakan klorin serta pencampuran homogen guna memastikan distribusi bahan kimia merata dan efektivitas pengolahan meningkat.
Jenis	:	*Stirred Tank* dengan *Torispherical Head*
Material	:	*Carbon Steel SA 283 grade C*
Kondisi Operasi	:	
a. Suhu, (°C)	:	30
b. Tekanan, (atm)	:	1
Spesifikasi	:	
Kontruksi		
a. Volume, (m^3)	:	6,417
b. Tinggi Cairan, (m)	:	1,5109

c. Tinggi Total, (m) : 2,8490

Shell :

a. Tinggi, (m) : 2,0145

b. Tebal, (in) : 0,1875

c. Diameter (ID) , (m) : 2,0145

Head :

a. Bentuk : *Torispherical*

b. Tinggi, (m) : 0,4172

c. Tebal, (in) : 0,25

Pengaduk :

a. Jenis : *Flat Six-Blade Turbine with Disk*

b. Jumlah : 1

c. Diameter, (m) : 0,4533

d. Kecepatan, (rpm) : 87,0356

e. Daya, (Hp) : 0,5

f. Jumlah : 1

Baffle

g.	Jarak Pengaduk, (m)	:	0,5036
h.	Lebar *Baffle*, (m)	:	0,1259
Jumlah		:	1

4. Clarifier

Fungsi	:	Mengendapkan partikel tersuspensi serta flok yang terbentuk dari proses koagulasi–flokulasi menggunakan $Al_2(SO_4)_3$ yang berasal dari unit *premix tank*, sehingga diperoleh fase cair yang lebih jernih untuk tahap pengolahan selanjutnya.
Jenis	:	Bak Silinder Tegak dengan Bentuk Bawah Kerucut
Material	:	Beton Bertulang (*Reinforced Concrete*)
Waktu Tinggal, (jam)	:	2
Kondisi Operasi	:	
a. Suhu, (°C)	:	30
b. Tekanan, (atm)	:	1
Spesifikasi	:	
a. Volume, (m^3)	:	39,3348
b. Luas Permukaan, (m^2)	:	13,1116
c. Diameter, (m)	:	4,260

d. Tinggi, (m) : 3,6301

Jumlah : 1

5. Sand Filter

Fungsi : Menyaring partikel halus, sisa flok, dan padatan tersuspensi yang masih lolos dari unit *clarifier* sekaligus melindungi *boiler feed water* dan sistem pengolahan lanjutan lainnya, serta menurunkan tingkat kekeruhan air hingga di bawah 5 NTU sesuai spesifikasi operasional.

Jenis : *Pressure Sand Filter (Vertikal)*

Material : *Stainless Steel SS 304*

Kondisi Operasi :

a. Suhu, (°C) : 30

b. Tekanan, (atm) : 1

Spesifikasi :

a. Diameter, (m) : 1,1105

b. Tinggi Tumpukan, (m) : 1,5547

c. Tinggi *Head*, (m) : 2,2209

d. Luas Filtrasi, (m^2) : 2,4663

Jumlah : 1

6. Carbon Filter

Fungsi : Mengadsorpsi sisa klorin bebas dapat merusak membran *reverse osmosis* dan menghilangkan senyawa organik terlarut. Ini juga meningkatkan kualitas air secara kimia dan karakteristik sensoriknya.

Jenis : *Pressure Vessel Carbon Filter (Vertikal)*

Material : *Stainless Steel SS 304*

Kondisi Operasi :

a. Suhu, (°C) : 30

b. Tekanan, (atm) : 1

Spesifikasi :

a. Diameter, (m) : 2,4163

b. Tinggi Tumpukan, (m) : 1,3

c. Tinggi *Vessel*, (m) : 4,8895

d. Luas Filtrasi, (m^2) : 4,5855

Jumlah : 1

7. Sea Water Reverse Osmosis (SWRO)

Fungsi	:	Memanfaatkan membran semipermeabel untuk memisahkan garam dan kontaminan lainnya dari air laut, proses ini menghasilkan air dengan kadar TDS rendah yang memenuhi persyaratan proses dan penggunaan.
Material	:	*Stainless Steel SS 316 L*
Kondisi Operasi	:	
a. Suhu, (°C)	:	30
b. Tekanan, (atm)	:	1
Spesifikasi	:	
a. Jumlah Membran	:	2
b. Jumlah Trasin	:	1
c. Permeater, (m^3/jam)	:	8,2198
d. Brine, (m^3/jam)	:	10,0464
Jumlah	:	1

8. Brackish Water Reverse Osmosis (BWRO)

Fungsi	:	Menghasilkan air dengan kualitas tinggi (ultrapure/demineralisasi) yang memenuhi spesifikasi sebagai air umpan boiler dengan menghilangkan sisa TDS dan kontaminan terlarut lainnya, meningkatkan kemurnian air permeat dari unit SWRO.
Material	:	
Kondisi Operasi	:	
a. Suhu, (°C)	:	30
b. Tekanan, (atm)	:	1
Spesifikasi	:	
a. Jumlah Membran	:	1
b. Jumlah Trasin	:	1
c. Permeater, (m^3/jam)	:	6,5758
d. Brine, (m^3/jam)	:	1,6440
Jumlah	:	1

9. Hot Basin

Fungsi	:	Menampung sementara air panas dari proses sebelum dialirkan ke *cooling tower*.
Jenis	:	Bak Beton Persegi Panjang
Material	:	Beton Bertulang (*Reinforced Concrete*)
Waktu Tinggal, (menit)	:	5
Kondisi Operasi	:	
a. Suhu, (°C)	:	55
b. Tekanan, (atm)	:	1
Spesifikasi	:	
a. Volume, (m^3)	:	24,7992
b. Luas Permukaan, (m^2)	:	8,2664
c. Panjang, (m)	:	4,9799
d. Lebar, (m)	:	2,4899
e. Tinggi, (m)	:	2
Jumlah	:	1

10. Cold Basin

Fungsi	:	Menampung air dingin hasil pendinginan dari *cooling tower* serta menerima aliran *make-up water* dari tangki *desalinated water* untuk menggantikan kehilangan air akibat evaporasi, *blowdown*, dan *drift loss*, sehingga keseimbangan volume dalam sistem tetap terjaga.
Jenis	:	Bak Beton Persegi Panjang
Material	:	Beton Bertulang (*Reinforced Concrete*)
Waktu Tinggal, (menit)	:	10
Kondisi Operasi	:	
a. Suhu, (°C)	:	30
b. Tekanan, (atm)	:	1
Spesifikasi	:	
a. Volume, (m^3)	:	24,7992
b. Luas Permukaan, (m^2)	:	8,2664
c. Panjang, (m)	:	4,4541

d. Lebar, (m) : 2,2271

e. Tinggi, (m) : 2,5

Jumlah : 1

11. Cooling Water

Fungsi : Menurunkan kembali temperatur air pendingin yang keluar dari peralatan proses, dari sekitar 55°C menjadi ±30°C, sehingga dapat digunakan kembali secara optimal dalam sistem pendinginan.

Jenis : *Induced Draft Cooling Tower*

Material : *Stainless Steel SA 283 Grade C*

Make Up Water, (kg/jam) : 3206,5303

Kondisi Operasi :

a. Suhu, (°C) : 55

b. Tekanan, (atm) : 1

Spesifikasi :

a. Luas Penampang, (m^2) : 45,7133

b.	Tinggi *Packing*, (m)	:	7,6157
c.	Kapasitas *Fan*, (m^2/jam)	:	392440,667
d.	Daya, (Hp)	:	25
Jumlah		:	1

12. Kation Exchanger

Fungsi	:	Menghilangkan kandungan mineral dalam air melalui proses pertukaran ion, yaitu dengan mengikat ion-ion bermuatan positif (*kation*) sehingga kualitas air menjadi lebih murni.
Jenis	:	Tangki Silinder Tegak
Material	:	*Carbon Steel SA 283 Grade C*
Volume Resin, (m^3)	:	11648,766
Regenerasi H2SO4, (kg/minggu)	:	2,6986
Kondisi Operasi	:	
a. Suhu, (°C)	:	30
b. Tekanan, (atm)	:	1
Spesifikasi	:	
a. Diameter, (m)	:	0,5542
b. Volume Tangki, (m^3)	:	0,2672
c. Tebal *Shell*, (in)	:	0,1875

d. Tinggi, (m) : 0,5542

Jumlah : 1

13. Anion Exchanger

Fungsi	:	Menghilangkan sisa kandungan mineral dalam air melalui proses pertukaran ion dengan mengikat ion-ion bermuatan negatif (*anion*), sehingga meningkatkan tingkat kemurnian air sesuai kebutuhan proses.
Jenis	:	Tangki Silinder Tegak
Material	:	*Carbon Steel SA 283 Grade C*
Volume Resin, (m^3)	:	0,9468
Regenerasi NaOH, (kg/jam)	:	0,0212
Kondisi Operasi	:	
a. Suhu, (°C)	:	30
b. Tekanan, (atm)	:	1
Spesifikasi	:	
a. Diameter, (m)	:	0,8449

b. Volume Tangki, (ft^3) : 46,131

c. Tebal *Shell*, (in) : 0,1875

d. Tinggi, (m) : 0,8449

Jumlah : 1

14. Deaerator

Fungsi : Menghilangkan gas-gas terlarut, terutama O_2 dan CO_2, dari air umpan *boiler* sekaligus menaikkan temperatur air mendekati kondisi saturasi, sehingga dapat mengurangi beban termal pada *boiler* dan meningkatkan efisiensi operasi.

Jenis : *Spray Cum Tray*

Material : *Carbon Steel SA 283 Grade C*

Volume Tangki, (m^3) : 2,8731

Kondisi Operasi :

a. Suhu, (°C) : 50

b. Tekanan, (atm) : 1

Spesifikasi :

a. Diameter, (m) : 1,223

b. Kebutuhan *steam*, (kg/jam) : 83,9732

c. Kebutuhan *Hydrazine*, (kg/jam) : 0,0011

d. Kebutuhan Na_2HPO_4, (kg/jam) : 2227

e. Tipe Bahan Isian : *Rashing ring ceramic*

Jumlah : 1

b. Alat Penyimpanan

Tabel 5. 5 Spesifikasi Alat Penyimpanan

No.	Spesifikasi Alat	TPU-01	TPU-02	TPU-03	TPU-04	TPU-05
1.	Fungsi	Menstabilkan aliran dan tekanan air sebelum didistribusikan ke unit-unit proses.	Menyediakan pasokan air darurat untuk sistem pemadam kebakaran.	Menyimpan air bersih dari tangki *desalinated water* yang akan digunakan untuk keperluan umum.	Penampung sementara air hasil deaerator sebelum dipompa ke *boiler*.	Penampungan sementara steam hasil reaktor sebelum dipompa ke *heat exchanger*.
2.	Bahan Konstruksi	*Carbon Steel SA 283 Grade C*	*Carbon Steel SA 283 Grade C*	*Carbon Steel SA 283 Grade C*	*Carbon Steel SA 283 Grade C*	*Carbon Steel SA 283 Grade C*
3.	Lama Penyimpanan, (jam)	6	1	1	1	1
4.	Fasa	Cair	Cair	Cair	Cair	Cair

Tabel 5. 6 Spesifikasi Alat Penyimpanan (Lanjutan)

No.	Spesifikasi Alat	TPU-01	TPU-02	TPU-03	TPU-04	TPU-05
5.	Jumlah Tangki	1	1	1	1	1
6.	Jenis Tangki	*Silinder vertical*	*Silinder vertical*	*Silinder vertical*	*Silinder vertical*	*Silinder vertical*
7.	Kondisi Operasi					
	Suhu, (°C)	30	30	30	30	150
	Tekanan, (atm)	1,7708	1,0105	1,0525	4,8383	4,8383
8.	Spesifikasi					
	Volume tangki, (m^3)	47,2947	0,6440	3,2233	2,4903	2,4903
	Diameter, (m)	3,048	3,048	3,048	3,048	3,048
	Tinggi, (m)	4,2120	2,3832	2,3832	2,3832	2,3832
	Jumlah *Course*	2	1	1	1	1
	Tebal Shell, (in)	0,4375	0,25	0,25	0,25	0,25

Tabel 5. 7 Spesifikasi Alat Penyimpanan (Lanjutan)

No.	Spesifikasi Alat	TPU-01	TPU-02	TPU-03	TPU-04	TPU-05
9.	*Head* & *Bottom*					
	Conical Roof, Tebal *Head*, (in)	0,25	0,1875	0,1875	0,5	0,5
	Flat Bottom, (in)	0,1875	0,1875	0,1875	0,1875	0,1875

c. Alat Transportasi

Tabel 5. 8 Spesifikasi Alat Transportasi

No.	Spesifikasi Alat	PU-01	PU-02	PU-03	PU-04
1.	Jenis	*Centrifugal Pump*	*Centrifugal Pump*	*Centrifugal Pump*	*Centrifugal Pump*
2.	Fungsi	Mengalirkan air yang telah melalui proses *screening* ke unit pengolahan.	Mengalirkan air baku dari kolam ekualisasi menuju *pre mix tank*.	Mengalirkan air yang telah melalui proses *screening* ke unit pengolahan.	Mengalirkan air baku dari *sand filter* ke carbon filter.
3.	Viskositas	0,82 Cp	0,82 Cp	0,82 Cp	0,82 Cp
4.	Kapasitas	23,073 m^3/jam	23,073 m^3/jam	21,919 m^3/jam	10,935 m^3/jam
5.	Suhu Fluida	30 C	30 C	30 C	30 C
6.	Instalasi	Vertikal	Vertikal	Vertikal	Vertikal
7.	*Submersibility*	*Dry*	*Dry*	*Dry*	*Dry*

Tabel 5. 9 Spesifikasi Alat Transportasi (Lanjutan)

No.	Spesifikasi Alat	PU-01	PU-02	PU-03	PU-04
8.	Jenis Pompa	DP, Pompa *Centrifugal Single Stage*	DP, Pompa *Centrifugal Single Stage*	DP, Pompa *Centrifugal Single Stage*	DP, Pompa *Centrifugal Single Stage*
9.	Densitas	1.022,88 kg/m^3	1.022,88 kg/m^3	1.022,88 kg/m^3	1.022,88 kg/m^3
10.	Tekanan	1 atm	1 atm	1 atm	1 atm
11.	Daya motor	25 Hp	10 Hp	10 Hp	7,5 Hp
12.	*Material construction*	*Commercial Steel*	*Commercial Steel*	*Commercial Steel*	*Commercial Steel*

Tabel 5. 10 Spesifikasi Alat Transportasi (Lanjutan)

No.	Spesifikasi Alat	PU-05	PU-06	PU-07	PU-08
1.	Jenis	*Centrifugal Pump*	*Centrifugal Pump*	*Centrifugal Pump*	*Centrifugal Pump*
2.	Fungsi	Mengalirkan air baku dari *carbon filter* ke unit SWRO.	Mengalirkan air baku dari unit SWRO ke unit BWRO.	Mengalirkan air baku dari tangki *desalinated water* ke tangki pemadaman.	Mengalirkan air baku dari tangki *desalinated water* ke tangki sanitasi.
3.	Viskositas	0,82 Cp	0,82 Cp	0,82 Cp	0,82 Cp
4.	Kapasitas	10,935 m^3/jam	4,920 m^3/jam	0,348 m^3/jam	1,743 m^3/jam
5.	Suhu Fluida	30 C	30 C	30 C	30 C
6.	Instalasi	Vertikal	Vertikal	Vertikal	Vertikal
7.	*Submersibility*	*Dry*	*Dry*	*Dry*	*Dry*

Tabel 5. 11 Spesifikasi Alat Transportasi (Lanjutan)

No.	Spesifikasi Alat	PU-05	PU-06	PU-07	PU-08
8.	Jenis Pompa	DP, Pompa *Centrifugal Single Stage*	DP, Pompa *Centrifugal Single Stage*	DP, Pompa *Centrifugal Single Stage*	DP, Pompa *Centrifugal Single Stage*
9.	Densitas	1.022,88 kg/m^3	1.022,88 kg/m^3	1.022,88 kg/m^3	1.022,88 kg/m^3
10.	Tekanan	1 atm	1 atm	1 atm	1 atm
11.	Daya motor	5 Hp	2 Hp	0,166 Hp	1,5 Hp
12.	*Material construction*	*Commercial Steel*	*Commercial Steel*	*Commercial Steel*	*Commercial Steel*

Tabel 5. 12 Spesifikasi Alat Transportasi (Lanjutan)

No.	Spesifikasi Alat	PU-09	PU-10	PU-11	PU-12
1.	Jenis	*Centrifugal Pump*	*Centrifugal Pump*	*Centrifugal Pump*	*Centrifugal Pump*
2.	Fungsi	Mengalirkan air pendingin *make-up ke cold basin*.	Mengalirkan air dari *hot basin* ke *cooling tower*.	Mengalirkan air dari bak penampung *cooling tower* ke *cold basin*.	Mengalirkan air dari *cold basin* ke unit proses.
3.	Viskositas	0,82 Cp	0,82 Cp	0,82 Cp	0,82 Cp
4.	Kapasitas	0,021 m^3/jam	0,678 m^3/jam	0,641 m^3/jam	0,662 m^3/jam
5.	Suhu Fluida	30 C	30 C	30 C	30 C
6.	Instalasi	Vertikal	Vertikal	Vertikal	Vertikal
7.	*Submersibility*	*Dry*	*Dry*	*Dry*	*Dry*

Tabel 5. 13 Spesifikasi Alat Transportasi (Lanjutan)

No.	Spesifikasi Alat	PU-09	PU-10	PU-11	PU-12
8.	Jenis Pompa	DP, Pompa *Centrifugal Single Stage*	DP, Pompa *Centrifugal Single Stage*	DP, Pompa *Centrifugal Single Stage*	DP, Pompa *Centrifugal Single Stage*
9.	Densitas	1.022,88 kg/m^3	99,57 kg/m^3	1.022,88 kg/m^3	1.022,88 kg/m^3
10.	Tekanan	1 atm	1 atm	1 atm	1 atm
11.	Daya motor	0,5 Hp	2 Hp	1 Hp	1 Hp
12.	*Material construction*	*Commercial Steel*	*Commercial Steel*	*Commercial Steel*	*Commercial Steel*

Tabel 5. 14 Spesifikasi Alat Transportasi (Lanjutan)

No.	Spesifikasi Alat	PU-13	PU-14	PU-15	PU-16
1.	Jenis	*Centrifugal Pump*	*Centrifugal Pump*	*Centrifugal Pump*	*Centrifugal Pump*
2.	Fungsi	Mengalirkan air dari tangki *desallinated water* ke *kation exchanger*.	Mengalirkan air dari *kation exchanger* ke *anion exchanger*.	Mengalirkan air dari *anion exchanger* ke deaerator.	Mengalirkan air dari deaerator ke tangki *boiler feed water*.
3.	Viskositas	0,82 Cp	0,82 Cp	0,82 Cp	0,82 Cp
4.	Kapasitas	1,823 m^3/jam	1,823 m^3/jam	1,823 m^3/jam	7,821 m^3/jam
5.	Suhu Fluida	30 C	30 C	30 C	30 C
6.	Instalasi	Vertikal	Vertikal	Vertikal	Vertikal
7.	*Submersibility*	*Dry*	*Dry*	*Dry*	*Dry*

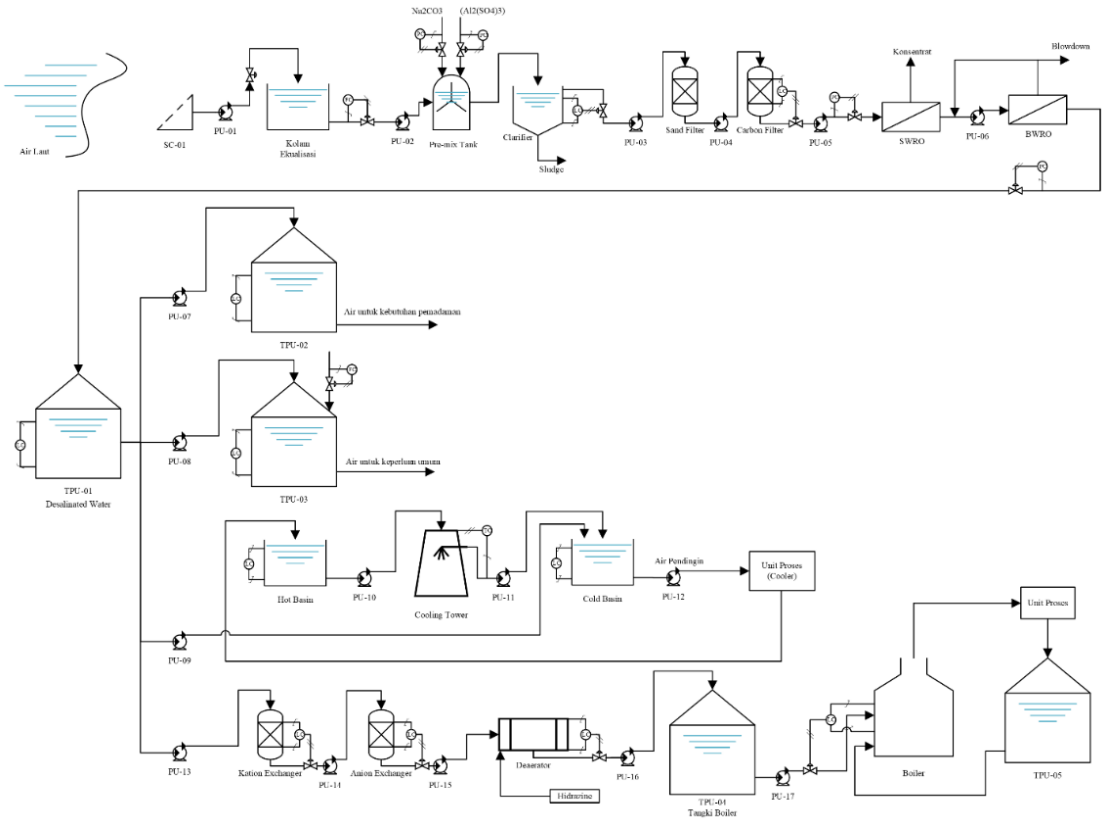
Tabel 5. 15 Spesifikasi Alat Transportasi (Lanjutan)

No.	Spesifikasi Alat	PU-13	PU-14	PU-15	PU-16
8.	Jenis Pompa	DP, Pompa *Centrifugal Single Stage*	DP, Pompa *Centrifugal Single Stage*	DP, Pompa *Centrifugal Single Stage*	DP, Pompa *Centrifugal Single Stage*
9.	Densitas	1.022,88 kg/m^3	1.022,88 kg/m^3	1.022,88 kg/m^3	1.022,88 kg/m^3
10.	Tekanan	1 atm	1 atm	1 atm	4,6 atm
11.	Daya motor	3 Hp	3 Hp	3 Hp	5 Hp
12.	*Material construction*	*Commercial Steel*	*Commercial Steel*	*Commercial Steel*	*Commercial Steel*

Tabel 5. 16 Spesifikasi Alat Transportasi (Lanjutan)

No.	Spesifikasi Alat	PU-17
1.	Jenis	*Centrifugal Pump*
2.	Fungsi	Mengalirkan air dari tangki *boiler feed water* ke *boiler*.
3.	Viskositas	0,82 Cp
4.	Kapasitas	7,039 m^3/jam
5.	Suhu Fluida	30 C
6.	Instalasi	Vertikal
7.	*Submersibility*	*Dry*
8.	Jenis Pompa	DP, Pompa *Centrifugal Single Stage*
9.	Densitas	1.022,88 kg/m^3
10.	Tekanan	4,6 atm
11.	Daya motor	5 Hp
12.	*Material construction*	*Commercial Steel*

5.1.5 Diagram Unit Pengolahan Air



Gambar 5. 1 Diagram Alir Unit Pengolahan Air

5.2 Unit Penyedia *Dowtherm A*

Dowtherm A merupakan fluida perpindahan panas yang digunakan pada pabrik Maleat Anhidrida, yang tersusun dari campuran difenil eter dan bifenil serta dapat dioperasikan baik dalam fase cair maupun uap. Fluida ini memiliki rentang temperatur operasi yang luas, yaitu sekitar 15°C hingga 400°C, dengan tekanan hingga 10,6 bar, sehingga sangat sesuai untuk proses bersuhu tinggi seperti reaktor oksidasi Benzena. Selain itu, *Dowtherm A* memiliki stabilitas termal yang tinggi sehingga tidak mudah terurai pada kondisi operasi, serta mampu memberikan efisiensi perpindahan panas yang baik. Viskositasnya yang rendah juga memudahkan proses pemompaan dan sirkulasi dalam sistem, sementara sifatnya yang tidak korosif terhadap logam umum menjadikannya aman digunakan dan mampu memperpanjang umur pakai peralatan proses.

Tabel 5. 17 Kebutuhan Pendingin *Dowtherm A*

Alat	**Kode Alat**	***Flowrate*, kg/jam**
Reaktor	R-01	347.781,098

. Dalam perancangan sistem utilitas pada pabrik Maleat Anhidrida dari Benzena dan Oksigen dengan kapasitas 11.808 ton/tahun, kebutuhan *Dowtherm A* sebagai fluida perpindahan panas ditetapkan dengan mempertimbangkan faktor *overdesign* sebesar 20% guna menjamin keandalan operasi serta mengantisipasi fluktuasi beban panas selama proses berlangsung. Berdasarkan perhitungan, kebutuhan awal sebesar 347.781,098 kg/jam meningkat menjadi 417.337,318

kg/jam. Dalam operasionalnya, *Dowtherm A* tidak digunakan secara sekali pakai, melainkan diterapkan dalam sistem sirkulasi tertutup untuk meningkatkan efisiensi penggunaan.

5.3 Unit Penyedia *Steam*

Unit penyedia uap (*steam system*) pada pabrik Maleat Anhidrida ini berfungsi untuk memenuhi kebutuhan energi panas selama proses produksi berlangsung. Uap dihasilkan menggunakan peralatan utama berupa ketel uap (*boiler*) dengan spesifikasi :

Tabel 5. 18 Spesifikasi Alat *Boiler*

Nama Alat ;	*Boiler*
Kapasitas (*overdesign* 20%) :	2.004,255 kg/jam
Suhu :	150 ^{o}C
Tekanan :	4,698 atm
Luas Perpindahan Panas :	658,911 ft^2
Dimensi :	*Shell* : ID (ft) : 1,104
	Baffle Space (ft) : 0,220
	Passes : 1
	OD (ft) : 0,062
	a (ft) : 0,275
	L (ft) : 20
	Tube : *Number and length* : 109 and 20 ft
	OD, BWG, *pitch* : 3/4 in, 1 in *Triangular*
	Passes : 1
Jumlah :	1

Sebelum digunakan sebagai umpan *boiler*, air harus melalui serangkaian tahapan pengolahan terlebih dahulu guna menghilangkan berbagai kontaminan seperti ion kalsium (Ca^{2+}), *magnesium* (Mg^{2+}), Oksigen terlarut (O_2), serta silika yang dapat menyebabkan korosi maupun pembentukan kerak pada peralatan. Proses pengolahan ini mencakup tahap filtrasi, demineralisasi, dan deaerasi, sebagaimana telah dijelaskan pada subbab unit penyediaan air sebelumnya.

Dalam rangka meningkatkan efisiensi energi serta memanfaatkan kembali panas sisa dari uap yang telah digunakan, sistem ini dirancang menggunakan mekanisme daur ulang uap (*steam recovery system*). Dengan adanya sistem ini, konsumsi energi dapat ditekan dan efisiensi operasional pabrik dapat ditingkatkan. Adapun mekanisme daur ulang uap yang diterapkan adalah sebagai berikut:

a. Uap jenuh (*saturated steam*) dengan temperatur sekitar 150°C dan tekanan 4,698 atm digunakan sebagai media pemanas pada beberapa peralatan proses, seperti *Vaporizer* (VP-01), *Heat Exchanger* (HE-01), dan *Evaporator* (E-01).

b. Setelah melewati peralatan tersebut, sebagian energi panas dari uap telah ditransfer ke fluida proses, sehingga uap mengalami penurunan energi dan sebagian berubah fase menjadi cair (*kondensat*).

c. *Kondensat* yang terbentuk kemudian dialirkan menuju *flash tank*, di mana tekanan dan temperatur diturunkan untuk memisahkan kembali sebagian uap yang masih dapat dimanfaatkan.

d. Selanjutnya, fluida hasil proses tersebut dialirkan menuju *deaerator* untuk menghilangkan gas-gas terlarut sebelum akhirnya digunakan kembali sebagai air umpan *boiler*, sehingga membentuk suatu siklus tertutup yang efisien dan berkelanjutan.

5.4 Unit Pembangkit Listrik (*Power Plant System*)

Unit pembangkit listrik pada pabrik Maleat Anhidrida sangat penting untuk menjamin ketersediaan listrik yang stabil, konsisten, dan memadai untuk seluruh aktivitas operasional pabrik. Sistem kelistrikan harus dirancang dengan baik sehingga dapat memastikan proses produksi berlangsung tanpa gangguan karena kebutuhan listrik mencakup pengoperasian peralatan utama proses, sistem kontrol dan instrumentasi, unit utilitas, area kerja, laboratorium, dan fasilitas penunjang lainnya.

Sumber daya listrik pabrik ini berasal dari dua sistem utama: jaringan Perusahaan Listrik Negara (PLN) sebagai sumber utama dan generator diesel sebagai sumber cadangan. PLN dianggap lebih hemat biaya untuk operasi biasa, tetapi ada kemungkinan gangguan dalam kontinuitas pasokan. Akibatnya, generator diesel dirancang sebagai sistem pengganti untuk memastikan bahwa pasokan listrik tetap tersedia, terutama saat terjadi pemadaman. Generator ini sangat penting untuk memastikan bahwa peralatan penting seperti pompa, kompresor, dan sistem kontrol dan instrumentasi berjalan dengan baik.

Generator diesel yang digunakan bekerja dengan prinsip pembakaran bahan bakar solar yang dicampur dengan udara dan dikompresi hingga menghasilkan energi panas. Energi tersebut kemudian diubah menjadi energi mekanik melalui pergerakan poros engkol, yang selanjutnya dikonversi menjadi energi listrik oleh generator. Unit generator yang digunakan memiliki kapasitas sebesar 590,316 kW dengan efisiensi operasional sekitar 99%. Kapasitas ini dirancang sedikit lebih tinggi dibandingkan kebutuhan listrik utama sebesar 584,413 kW sebagai bentuk

overdesign, sehingga mampu menjamin keandalan sistem kelistrikan, khususnya dalam kondisi darurat.

Tabel 5. 19 Spesifikasi Generator Listrik

Parameter	**Nilai**
Kapasitas Generator	590,316 kW
Efisiensi	99%
Jenis Bahan Bakar	Solar CN 53
Kebutuhan Listrik	584,413 kW
Sumber Listrik Utama	PLN
Sumber Listrik Cadangan	Generator Diesel

Kebutuhan listrik yang harus disuplai untuk pabrik Maleat Anhidrida terbagi menjadi beberapa bagian di antaranya:

a. Kebutuhan Listrik Alat Proses

Tabel 5. 20 Kebutuhan Listrik Alat Proses

No	Alat	Daya	
		Hp	Watt
1.	*Kristallizer*-01 (KR-01)	0,125	93,25
2.	*Centrifuge*-01 (CF-01)	125	93250
3.	*Rotary Dryer*-01 (RD-01)	0,166	124,333
4.	*Impact Breaker*-01 (IB-01)	1	746
5.	*Vibrating Screen*-01 (VS-01)	5	3730
6.	*Belt Conveyor*-01 (BC-01)	30	22380
7.	*Belt Conveyor*-02 (BC-02)	25	18650
8.	*Belt Conveyor*-01 (BC-03)	0,25	186,5
9.	*Bucket Elevator*-01 (BE-01)	0,5	373
10.	*Screw Conveyor*-01 (SC-01)	0,43	320,78
11.	*Screw Conveyor*-02 (SC-02)	0,43	320,78
12.	*Blower*-01 (BL-01)	0,083	62,166
13.	*Blower*-02 (BL-02)	0,75	559,5
14.	*Blower*-03 (BL-03)	0,05	37,3
15.	Pompa-01 (P-01)	0,75	559,5
16.	Pompa-02 (P-02)	0,75	559,5
17.	Pompa-03 (P-03)	0,125	93,25
18.	Pompa-04 (P-04)	0,083	62,166
19.	Pompa-05 (P-05)	0,5	373
20.	Pompa-06 (P-06)	0,125	93,25
21.	Kompresor-01 (K-01)	100	74600
22.	Kompresor-02 (K-02)	15	11190
	Total	**306,118**	**228364,276**

b. Kebutuhan Listrik Peralatan Utilitas

Tabel 5. 21 Kebutuhan Listrik Alat Utilitas

No	Alat	Daya	
		Hp	Watt
1.	Pompa Utilitas (PU-01)	25	18650
2.	Pompa Utilitas (PU-02)	10	76460
3.	Pompa Utilitas (PU-03)	10	7460
4.	Pompa Utilitas (PU-04)	7,50	5595
5.	Pompa Utilitas (PU-05)	5	3730
6.	Pompa Utilitas (PU-06)	2	1492
7.	Pompa Utilitas (PU-07)	0,166	123,333
8.	Pompa Utilitas (PU-08)	1,5	1119
9.	Pompa Utilitas (PU-09)	0,05	37,3
10.	Pompa Utilitas (PU-10)	2	1492
11.	Pompa Utilitas (PU-11)	1	746
12.	Pompa Utilitas (PU-12)	1	746
13.	Pompa Utilitas (PU-13)	3	2238
14.	Pompa Utilitas (PU-14)	3	2238
15.	Pompa Utilitas (PU-15)	3	2238
16.	Pompa Utilitas (PU-16)	5	3730
17.	Pompa Utilitas (PU-17)	5	3730
18.	*Cooling Tower*	25	18650
19.	*Pre-Mix Tank*	0,5	373
20.	Kompresor Udara Tekan	0,5	373
	Total	**110,216**	**82221,633**

c. Kebutuhan Listrik Alat Kontrol

Daya listrik yang dialokasikan untuk sistem kontrol dan instrumentasi diperkirakan sebesar 25% dari total kebutuhan daya motor penggerak, yaitu sekitar 85,411 kW. Kebutuhan ini mencakup pengoperasian berbagai perangkat seperti sensor, aktuator, panel kontrol, serta sistem otomasi yang berfungsi untuk mengatur dan memonitor jalannya proses produksi. Keberadaan sistem ini sangat penting dalam menjaga kestabilan operasi, meningkatkan efisiensi proses, serta menjamin aspek keselamatan kerja di dalam pabrik.

d. Kebutuhan Listrik Perumahan

Kebutuhan energi listrik pada area perumahan karyawan meliputi konsumsi listrik untuk setiap unit rumah beserta fasilitas lingkungan pendukungnya. Setiap rumah diperkirakan memerlukan daya sebesar 900 watt, sehingga untuk total 23 unit rumah dibutuhkan daya sekitar 20,7 kW. Kebutuhan ini mencakup penggunaan listrik untuk penerangan dan peralatan rumah tangga dasar, sehingga dapat menunjang kenyamanan serta kesejahteraan karyawan yang tinggal di lingkungan pabrik.

e. Kebutuhan Listrik Fasilitas Umum dan Laboratorium

Daya listrik untuk fasilitas umum dan laboratorium dialokasikan sebesar 15% dari total kebutuhan listrik *power plant*, yaitu sekitar 51,246 *kW*. Energi listrik ini digunakan untuk mendukung operasional berbagai

fasilitas penunjang, seperti bengkel, laboratorium, unit pemadam kebakaran, poliklinik, kantin, tempat ibadah, serta area taman. Penyediaan daya yang memadai pada fasilitas ini bertujuan untuk memastikan seluruh aktivitas pendukung pabrik dapat berjalan secara optimal.

f. Kebutuhan Listrik Penerangan

Kebutuhan listrik untuk sistem penerangan di seluruh area pabrik diperkirakan sebesar 15% dari total daya *power plant*, yaitu sekitar 51,246 *kW*. Daya ini digunakan untuk menyediakan pencahayaan yang cukup, baik di dalam bangunan maupun di area luar pabrik, sehingga mendukung kelancaran operasional selama 24 jam sekaligus meningkatkan aspek keselamatan kerja.

g. Kebutuhan Listrik Kantor dan Peralatan Elektronik

Kebutuhan listrik untuk area perkantoran mencakup penggunaan berbagai peralatan elektronik seperti pendingin ruangan (*AC*), komputer, monitor, serta perangkat pendukung administrasi lainnya. Besarnya daya yang dialokasikan untuk keperluan ini diperkirakan sebesar 10% dari total daya *power plant*, yaitu sekitar 34,164 kW. Ketersediaan energi listrik yang cukup pada area ini sangat penting untuk menunjang kelancaran aktivitas manajerial dan administratif di lingkungan pabrik.

Dengan adanya kombinasi sumber listrik utama dari PLN dan sistem cadangan berupa generator diesel, seluruh kebutuhan energi listrik pada

pabrik Maleat Anhidrida dapat terpenuhi secara andal dan berkesinambungan. Sistem ini dirancang untuk menjamin kontinuitas operasional, baik pada kondisi normal maupun saat terjadi gangguan pasokan listrik, sehingga seluruh proses produksi dan fasilitas pendukung tetap dapat beroperasi dengan optimal.

Tabel 5. 22 Total Kebutuhan Listrik

No	Keperluan	Kebutuhan (kW)
1.	*Power Plant* dan Utilitas	341,644
2.	Alat Kontrol	85,411
3.	Penerangan	51,246
4.	Peralatan Kantor	34,164
5.	Bengkel, Laboratorium	51,246
6.	Perumahan	20,7
	Total	**584,413**

5.5 Unit Penyedia Udara Tekan (*Instrumen Air System*)

Salah satu bagian utilitas, unit penyedia udara tekan, memainkan peran penting dalam memastikan ketersediaan udara bertekanan untuk mendukung pengoperasian sistem kontrol dan instrumentasi pneumatik di seluruh area pabrik Maleat Anhidrida. Udara tekan ini dimanfaatkan untuk mengoperasikan berbagai peralatan seperti *control valve*, aktuator, serta perangkat kontrol otomatis lainnya yang bekerja berdasarkan prinsip tekanan. Keandalan dan kestabilan proses

produksi sangat dipengaruhi oleh kontinuitas suplai udara tekan ini. Dalam perancangan pabrik ini, kebutuhan udara tekan dihitung untuk melayani sekitar 25 unit alat kontrol, sehingga total kebutuhan udara tekan diperkirakan sebesar 46,728 m^3/jam.

5.6 Unit Penyedia Bahan Bakar

Pabrik Maleat Anhidrida menggunakan unit penyedia bahan bakar sebagai sistem pendukung untuk memastikan bahwa peralatan yang membutuhkan bahan bakar tersedia. Peralatan utama yang menggunakan bahan bakar termasuk *boiler* yang menghasilkan steam untuk memanaskan proses, serta generator yang berfungsi sebagai sumber listrik cadangan ketika pasokan listrik PLN terganggu.

Jenis bahan bakar yang digunakan terdiri atas solar CN53 (*Cetane Number* 53) dan LNG (*Liquefied Natural Gas*). Solar CN53 digunakan pada generator dan *boiler* karena memiliki karakteristik pembakaran yang efisien, waktu penyalaan yang cepat, stabil terhadap variasi suhu, serta menghasilkan emisi yang relatif lebih rendah. Sementara itu, LNG dimanfaatkan sebagai bahan bakar pada *furnace* untuk memenuhi kebutuhan energi panas dalam sistem proses.

Secara keseluruhan, unit ini bertanggung jawab terhadap pengadaan, penyimpanan, serta pendistribusian bahan bakar ke seluruh peralatan yang membutuhkan dengan mempertimbangkan aspek keamanan dan efisiensi. Dengan pengelolaan yang baik, unit penyedia bahan bakar dapat mendukung kontinuitas

operasi pabrik serta menjaga kinerja peralatan tetap optimal selama proses produksi berlangsung.

Tabel 5. 23 Kebutuhan Bahan Bakar Solar CN53

Unit Pengguna	Kebutuhan Panas (kJ/jam)	Konsumsi Solar (kg/jam)
Boiler	6.902.881,63	163,407
Generator	2.125.139,76	50,815
Total		**214,222**

Tabel 5. 24 Kebutuhan Bahan Bakar LNG

Unit Pengguna	Kebutuhan Panas (kJ/jam)	Konsumsi LNG (kg/jam)
Furnace	3.355.760,439	5,370
Total		**5,370**

5.7 Unit Pengolahan Limbah

Limbah cair yang dihasilkan dari kegiatan produksi, aktivitas karyawan, serta unit utilitas pada *pabrik Maleat Anhidrida dari Benzena* dan Oksigen perlu melalui tahapan pengolahan terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan. Hal ini bertujuan untuk mencegah terjadinya pencemaran serta memastikan bahwa

kualitas air limbah telah memenuhi baku mutu lingkungan yang berlaku. Sumber limbah cair berasal dari berbagai area, antara lain laboratorium, fasilitas umum, unit proses produksi, perkantoran, serta area perumahan. Oleh karena itu, sistem pengolahan limbah dirancang secara terpadu agar mampu mengurangi kandungan pencemar dan menjaga kelestarian lingkungan serta kesehatan masyarakat di sekitar pabrik.

a. Limbah cair yang berasal dari laboratorium diolah melalui beberapa tahapan pengolahan, yaitu pengolahan fisika (*physical treatment*) seperti pengendapan dan penyaringan, pengolahan kimia (*chemical treatment*) melalui penambahan bahan kimia dan pengaturan pH, serta pengolahan biologi (*biological treatment*) untuk menguraikan zat organik yang masih tersisa.

b. Limbah domestik yang berasal dari area perkantoran dan perumahan terlebih dahulu dikumpulkan dalam suatu bak penampungan khusus, kemudian dialirkan ke unit stabilisasi. Pada unit ini dilakukan proses pengolahan dengan penambahan lumpur aktif yang berfungsi sebagai agen biologis, disertai proses aerasi serta injeksi gas klorin untuk membunuh mikroorganisme yang terkandung dalam air limbah, sehingga air hasil olahan menjadi lebih aman sebelum dibuang ke lingkungan.

BAB VI

EVALUASI EKONOMI

Analisis ekonomi adalah tahapan penting dalam perencanaan awal pabrik Maleat Anhidrida, yang dapat menghasilkan 11.808 ton per tahun dari bensin dan oksigen. Tahapan ini sangat penting untuk memperkirakan tingkat keberhasilan investasi yang akan dilakukan. Tujuan dari analisis ini adalah untuk menilai besarnya kebutuhan modal, keuntungan potensial yang dapat diperoleh, periode pengembalian investasi, dan kondisi titik impas di mana total biaya produksi sama dengan pendapatan. Oleh karena itu, evaluasi ekonomi dilakukan untuk mengetahui apakah pabrik yang dirancang layak secara finansial dan memiliki prospek keuntungan jika dibangun. Di mana penjualan pabrik ini juga memasukkan CO_2 sebagai produk samping dan membandingkan evaluasi ekonomi keseluruhan antara penjualan produk utama dan produk samping dibandingkan dengan penjualan produk utama saja.

Secara umum, aspek-aspek yang diperhitungkan dalam analisis ekonomi meliputi beberapa komponen utama sebagai berikut:

1. Modal (*Capital Investment*)

   a. Modal Tetap (*Fixed Capital Investment*)

      Yaitu investasi yang digunakan untuk pengadaan peralatan, pembangunan fasilitas, serta instalasi pabrik.

b. Modal Kerja (*Working Capital Investment*)

Yaitu dana yang dibutuhkan untuk menunjang operasional pabrik sehari-hari, seperti pembelian bahan baku, pembayaran tenaga kerja, dan biaya operasional lainnya.

2. Biaya Produksi (*Manufacturing Cost*)

a. Biaya Produksi Langsung (*Direct Manufacturing Cost*)

Yaitu biaya yang secara langsung berkaitan dengan proses produksi, seperti bahan baku dan tenaga kerja langsung.

b. Biaya Produksi Tidak Langsung (*Indirect Manufacturing Cost*)

Yaitu biaya pendukung proses produksi yang tidak terlibat secara langsung, seperti biaya pemeliharaan dan utilitas.

c. Biaya Produksi Tetap (*Fixed Manufacturing Cost*)

Yaitu biaya yang besarnya relatif konstan dan tidak bergantung pada jumlah produksi.

3. Pengeluaran Umum (*General Expenses*)

Pengeluaran umum mencakup berbagai biaya di luar proses produksi, seperti biaya administrasi, pemasaran, serta manajemen perusahaan.

4. Analisis Kelayakan (*Feasibility Analysis*)

a. *Percent Return on Investment* (ROI), untuk mengetahui tingkat keuntungan terhadap total investasi.

b. *Pay Out Time* (POT), untuk menentukan waktu yang dibutuhkan dalam pengembalian modal.

c. *Break Even Point* (BEP), untuk mengetahui kondisi saat pendapatan sama dengan total biaya.

d. *Shut Down Point* (SDP), untuk menentukan batas minimum operasi agar pabrik tidak mengalami kerugian.

e. *Discounted Cash Flow Rate* (DCFR), untuk mengevaluasi kelayakan investasi berdasarkan nilai waktu dari uang.

Dengan mempertimbangkan seluruh parameter tersebut, analisis ekonomi dapat memberikan gambaran menyeluruh mengenai kelayakan finansial pabrik serta menjadi dasar dalam pengambilan keputusan investasi.

6.1 Penaksiran Harga Alat

Harga peralatan proses dalam industri kimia cenderung mengalami perubahan dari waktu ke waktu, baik mengalami kenaikan maupun penurunan, yang dipengaruhi oleh dinamika kondisi ekonomi, inflasi, serta perkembangan pasar global. Variasi ini menyebabkan penentuan harga peralatan secara pasti menjadi cukup sulit dalam tahap pra rancangan. Oleh karena itu, untuk memperoleh estimasi biaya peralatan yang lebih mendekati kondisi aktual, digunakan pendekatan melalui indeks harga peralatan pada tahun acuan tertentu. Data indeks harga tersebut selanjutnya dijadikan dasar perhitungan dalam memperkirakan biaya investasi peralatan, sebagaimana disajikan pada Tabel 6.1 berikut.

Tabel 6. 1 Data Indeks Harga Alat

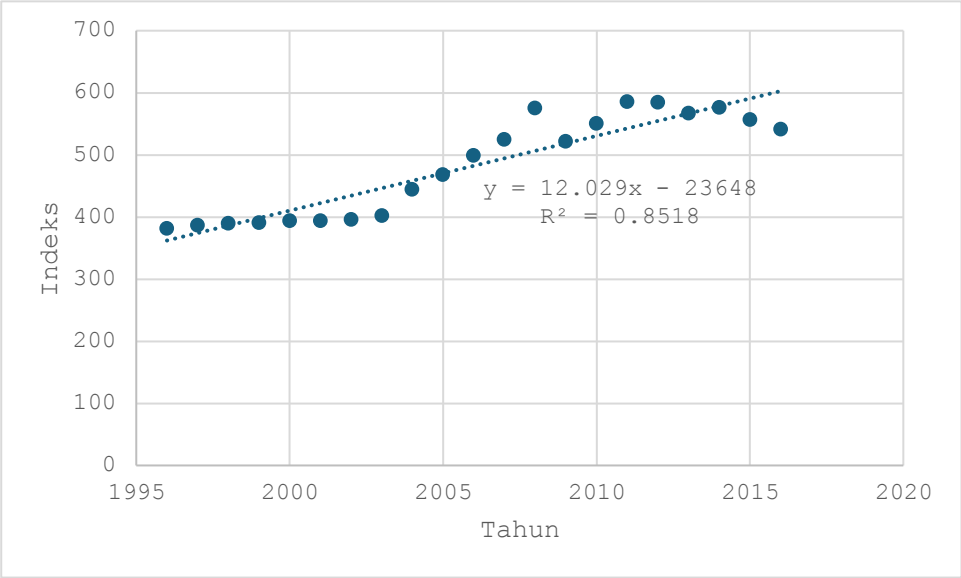
Tahun (Xi)	**Indeks (Yi)**
1996	381,7
1997	386,5
1998	389,5
1999	390,6
2000	394,1
2001	394,3
2002	395,6
2003	402
2004	444,2
2005	468,2
2006	499,6
2007	525,4
2008	575,4
2009	521,9
2010	550,8
2011	585,7
2012	584,6
2013	567,3
2014	576,1
2015	556,8
2016	541,7
2017	567,5

Tabel 6. 2 Data Indeks Harga Alat (Lanjutan)

Tahun (Xi)	Indeks (Yi)
2018	603,1
2019	607,5
2020	596,2
2021	776,3
2022	671,108
2023	683,022
2024	694,936
2025	706,85
2026	718,764
2027	730,678
2028	742,592
2029	754,506
2030	766,42
2031	778,334
2032	790,248
2033	802,162
2034	814,076
2035	825,99

Berdasarkan data indeks yang tersedia, dengan asumsi bahwa tren kenaikan indeks mengikuti hubungan linier, maka dilakukan penurunan persamaan menggunakan metode *least square* untuk memperoleh hubungan matematis yang

representatif. Hasil pengolahan data tersebut kemudian divisualisasikan dalam bentuk grafik yang menggambarkan kecenderungan perubahan indeks terhadap waktu. Plot hasil perhitungan tersebut disajikan pada Gambar 6.1 sebagai dasar analisis lebih lanjut dalam estimasi biaya peralatan.



Gambar 6. 1 Grafik *Indeks* Harga

Berdasarkan hasil pengolahan data yang ditampilkan pada grafik sebelumnya, diperoleh persamaan regresi linier yang merepresentasikan hubungan antara indeks harga dan waktu, yaitu:

$y = 12{,}029x - 23648$……...(6.1)

$R^2 = 0.8518$……..……...(6.2)

yang menunjukkan tingkat kecocokan data yang cukup baik terhadap model linier. Dengan menggunakan persamaan tersebut, serta asumsi bahwa pabrik Maleat Anhidrida dari Benzena dan Oksigen dengan kapasitas 11.808 ton/tahun akan

dibangun pada tahun 2035, maka diperoleh nilai indeks harga sebesar 825,99. Nilai indeks ini selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam melakukan estimasi harga peralatan dan komponen lainnya pada tahun evaluasi. Dalam penentuan harga, selain menggunakan pendekatan indeks, juga mengacu pada referensi literatur seperti metode yang dikemukakan oleh Peters dan Timmerhaus (1990) serta Aries dan Newton (1995).

Perhitungan estimasi harga peralatan dilakukan dengan menggunakan persamaan perbandingan indeks sebagai berikut:

$$Ex = Ey\frac{Nx}{Ny} \quad \text{.....(6.3)}$$

dengan keterangan:

Ex = harga peralatan pada tahun 2035

Ey = harga peralatan pada tahun referensi (2014)

Nx = indeks harga pada tahun 2035

Ny = indeks harga pada tahun referensi (2014)

Berdasarkan persamaan tersebut, selanjutnya dilakukan perhitungan harga masing-masing peralatan proses yang digunakan dalam perancangan pabrik. Berdasarkan hasil perhitungan estimasi biaya peralatan proses dan utilitas, diperoleh total biaya pembelian peralatan sebesar $ 4.735.649,27. Nilai tersebut terdiri atas $ 3.140.825,68 untuk kebutuhan peralatan proses dan sebesar $ 1.594.823,59 untuk peralatan utilitas. Apabila dikonversikan ke dalam mata uang rupiah, maka total biaya pembelian peralatan mencapai Rp 81.519.703.238,35.

Estimasi biaya ini selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam perhitungan modal tetap (*fixed capital investment*) pada tahap analisis ekonomi pabrik.

6.2 Dasar Perhitungan

a. Kapasitas Produksi Pabrik : 11.808 ton/tahun
b. Pabrik Beroperasi : 330 hari
: 7.920 jam
c. Umur Alat : 10 tahun
d. Kurs Mata Uang : 1 $
: Rp 17.214,05 (26 April 2026)
e. Tahun Didirikan : 2035

6.3 Komponen Biaya

6.3.1 Modal (*Capital Investment*)

Capital Investment merupakan total dana yang diperlukan untuk merealisasikan pembangunan pabrik Maleat Anhidrida dari Benzena dan Oksigen serta menunjang keberlangsungan operasionalnya secara menyeluruh. Investasi ini mencakup berbagai komponen biaya, mulai dari pembangunan fasilitas, pengadaan peralatan, hingga penyediaan infrastruktur pendukung yang dibutuhkan agar proses produksi dapat berjalan secara efektif dan efisien. Secara umum, *Capital Investment* terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu:

a. Modal Tetap (*Fixed Capital Investment*)

Modal tetap merupakan bagian dari *Capital Investment* yang meliputi seluruh biaya yang digunakan untuk pembangunan fasilitas fisik pabrik. Komponen ini mencakup pembangunan gedung, pengadaan peralatan utama proses, instalasi sistem utilitas, serta berbagai fasilitas permanen lainnya yang menunjang kegiatan produksi. Biaya ini bersifat jangka panjang karena berkaitan dengan aset tetap yang digunakan secara berkelanjutan selama umur operasi pabrik. Dengan demikian, *fixed capital investment* dapat diartikan sebagai seluruh biaya yang diperlukan untuk mendirikan dan menyediakan sarana utama pabrik.

Tabel 6. 3 *Physical Plant Cost*

Type of Capital Investment	**Biaya ($)**	**Biaya (Rp)**
Purchase Equipments Cost	$ 4.735.649,27	Rp 81.519.703.238
Delivered Equipments Cost	$ 1.183.912,32	Rp 20.379.925.810
Instalasi	$ 599.947,99	Rp 10.327.534.700
Pemipaan	$ 1.799.546,72	Rp 30.977.487.231
Instrumentasi	$ 473.564,93	Rp 8.151.970.324
Insulasi	$ 378.851,94	Rp 6.521.576.259
Listrik	$ 473.564,93	Rp 8.151.970.324
Bangunan	$ 947.129,85	Rp 16.303.940.648
Land & Yard Improvement	$ 292.987,41	Rp 5.043.500.000
Service Facilities	$ 1.894.259,71	Rp 32.607.881.295
Total	**$ 12.779.415,06**	**Rp 219.985.489.828**

Tabel 6. 4 *Direct Plant Cost*

Type of Capital Investment	**Biaya ($)**	**Biaya (Rp)**
Teknik dan Konstruksi	$ 1.088.515,54	Rp 18.737.760.853
Total (*DPC* + *PPC*)	**$ 13.867.930,60**	**Rp 238.723.250.681**

Tabel 6. 5 *Fixed Capital Investment (FCI)*

Type of Capital Investment	**Biaya ($)**	**Biaya (Rp)**
Total *DPC* + *PPC*	$ 13.867.930,60	Rp 238.723.250.681
Kontraktor	$ 1.197.367,09	Rp 20.611.536.939
Biaya tak terduga	$ 598.683,54	Rp 10.305.768.469
Total	**$ 15.663.981,23**	**Rp 269.640.556.089**

b. Modal Kerja (*Working Capital Investment*)

Modal kerja merupakan bagian dari *Capital Investment* yang diperlukan untuk menunjang kelangsungan operasional pabrik *Maleat Anhidrida* dalam periode tertentu. Komponen ini mencakup dana yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan operasional sehari-hari, seperti pengadaan bahan baku, pembayaran gaji tenaga kerja, serta berbagai biaya

operasional lainnya. Ketersediaan modal kerja yang memadai sangat penting untuk memastikan proses produksi dapat berlangsung secara kontinu, stabil, dan tanpa hambatan.

Tabel 6. 6 *Working Capital Investment*

Type of Working Capital	**Biaya ($)**	**Biaya (Rp)**
Raw Material Inventory	$ 2.933.254	Rp 50.493.188.451
Inprocess Inventory	$ 2.563.690	Rp 44.131.480.972
Product Inventory	$ 5.127.379	Rp 88.262.961.945
Extended Credit	$ 8.942.192	Rp 153.931.337.841
Available cash	$ 5.127.379	Rp 88.262.961.945
Total	**$ 24.693.894**	**Rp 425.081.931.153**

6.3.2 Biaya Produksi

Manufacturing Cost merupakan keseluruhan biaya yang diperlukan dalam kegiatan produksi suatu produk pada pabrik Maleat Anhidrida. Komponen biaya ini mencakup seluruh pengeluaran yang secara langsung maupun tidak langsung berkaitan dengan proses manufaktur, mulai dari pengolahan bahan baku hingga menjadi produk akhir.

a. Biaya Produksi Langsung (*Direct Manufacturing Cost*)

Biaya produksi langsung adalah biaya yang secara langsung terlibat dalam proses pembuatan produk. Komponen ini meliputi pengadaan bahan baku utama, upah tenaga kerja yang terlibat langsung dalam proses produksi, serta biaya operasional peralatan dan mesin yang digunakan selama proses berlangsung. Biaya ini sangat berpengaruh terhadap total biaya produksi karena berkaitan langsung dengan volume produksi yang dihasilkan.

Tabel 6. 7 *Direct Manufacturing Cost*

Type of Manufacturing Cost	**Biaya ($)**	**Biaya (Rp)**
Raw Material	$ 10.755.266,25	Rp 185.141.690.985
Labor	$ 844.194,13	Rp 14.532.000.000
Supervision	$ 126.629,12	Rp 2.179.800.000
Maintenance	$ 277.789,16	Rp 4.781.876.570
Plant Supplies	$ 41.668,37	Rp 717.281.485
Utilities	$ 3.051.140,39	Rp 52.522.483.304
Total	**$ 15.096.687,44**	**Rp 259.875.132.344**

b. Biaya Produksi Tidak Langsung (*Indirect Manufacturing Cost*)

Biaya produksi tidak langsung merupakan biaya yang timbul sebagai konsekuensi dari kegiatan operasional pabrik, namun tidak berhubungan

secara langsung dengan proses pembuatan produk. Komponen ini mencakup berbagai pengeluaran pendukung seperti biaya pemeliharaan, utilitas, supervisi, serta kebutuhan operasional lainnya yang menunjang kelancaran proses produksi secara keseluruhan.

Tabel 6. 8 *Indirect Manufacturing Cost*

Type of Manufacturing Cost	**Biaya ($)**	**Biaya (Rp)**
Payroll Overhead	$ 126.629,12	Rp 2.179.800.000
Laboratory	$ 126.629,12	Rp 2.179.800.000
Plant Overhead	$ 422.097,07	Rp 7.266.000.000
Packaging and Shipping	$ 1.639.401,84	Rp 28.220.745.271
Total	**$ 2.314.757,15**	**Rp 39.846.345.271**

c. Biaya Produksi Tetap (*Fixed Manufacturing Cost*)

Biaya produksi tetap adalah biaya yang harus tetap dikeluarkan oleh pabrik tanpa dipengaruhi oleh tingkat produksi maupun kondisi operasional. Artinya, baik pabrik dalam kondisi beroperasi maupun berhenti sementara, biaya ini tetap ada. Contohnya meliputi biaya penyusutan peralatan, gaji tenaga kerja tetap, serta biaya asuransi.

Tabel 6. 9 *Fixed Manufacturing Cost*

Type of Manufacturing Cost	**Biaya ($)**	**Biaya (Rp)**
Depreciation	$ 1.111.156,66	Rp 19.127.506.279
Property Taxes	$ 138.894,58	Rp 2.390.938.285
Insurance	$ 138.894,58	Rp 2.390.938.285
Total	**$ 1.388.945,82**	**Rp 23.909.382.849**

Tabel 6. 10 *Total Manufacturing Cost*

Type of Manufacturing Cost	**Biaya ($)**	**Biaya (Rp)**
Direct Cost	$ 15.096.687,44	Rp 259.875.132.344
Indirect Cost	$ 2.314.757,15	Rp 39.846.345.271
Fixed Cost	$ 1.388.945,82	Rp 23.909.382.849
Total	**$ 18.800.390,41**	**Rp 323.630.860.464**

6.3.3 Pengeluaran Umum (*General Expenses*)

Pengeluaran umum merupakan biaya yang berkaitan dengan aktivitas perusahaan di luar kegiatan produksi. Komponen ini mencakup biaya administrasi, pemasaran, manajemen, serta berbagai pengeluaran lain yang mendukung operasional perusahaan secara keseluruhan, namun tidak termasuk ke dalam kategori biaya manufaktur.

Tabel 6. 11 *General Expenses*

Type of Expenses	**Biaya ($)**	**Biaya (Rp)**
Administration	$ 376.007,81	Rp 6.472.617.209
Sales	$ 1.504.031,23	Rp 25.890.468.837
Research	$ 376.007,81	Rp 6.472.617.209
Finance	$ 771.667,05	Rp 13.283.515.193
Total	**$ 3.027.713,90**	**Rp 52.119.218.448**

Tabel 6. 12 *Total Production Cost*

Type of Production Cost	**Biaya ($)**	**Biaya (Rp)**
Manufacturing Cost	$ 18.800.390,41	Rp 323.630.860.464
General Expense	$ 3.027.713,90	Rp 52.119.218.448
Total	**$ 21.828.104,31**	**Rp 375.750.078.912**

6.3.4 Analisis Keuntungan

a. Keuntungan sebelum pajak

Total Penjualan	:	Rp 564.414.905.418
Total Production Cost	:	Rp 375.750.078.912
Keuntungan	:	Total Penjualan – *Total Production Cost*
	:	Rp 564.414.905.418 - Rp 375.750.078.912
	:	Rp 188.664.826.505,33

Total Penjualan (tanpa penjualan CO_2)	:	Rp 414.842.968.072
Total Production Cost (tanpa penjualan CO_2)	:	Rp 366.456.222.624
Keuntungan (tanpa penjualan CO_2)	:	Rp 48.386.745.447,96

b. Keuntungan Setelah Pajak

Pajak 22 % dari keuntungan	:	Rp 41.506.261.831
Pajak 22 % dari keuntungan (tanpa penjualan CO_2)	:	Rp 10.645.083.999
Keuntungan	:	Keuntungan sebelum pajak – Pajak
	:	Rp 188.664.826.505,33 – Rp 41.506.261.831
	:	Rp147.158.564.674,2

Keuntungan (tanpa penjualan CO_2)	:	Keuntungan sebelum pajak – Pajak
	:	Rp 48.386.745.447,96 - Rp 10.645.083.999
	:	Rp37.741.661.449,4

6.3.5 Analisis Kelayakan

Analisis kelayakan ekonomi dilakukan untuk menilai tingkat keuntungan yang dapat diperoleh dari pendirian pabrik, sehingga dapat ditentukan apakah proyek tersebut layak secara finansial untuk direalisasikan. Evaluasi ini bertujuan untuk mengidentifikasi besarnya potensi keuntungan serta risiko yang mungkin terjadi, sehingga pabrik dapat dikategorikan sebagai proyek yang ekonomis dan prospektif. Beberapa parameter yang umum digunakan dalam analisis kelayakan ekonomi adalah sebagai berikut:

a. *Return on Investment* (ROI)

Return on Investment (ROI) merupakan indikator yang menunjukkan besarnya keuntungan tahunan yang diperoleh terhadap total investasi yang ditanamkan, khususnya modal tetap. Parameter ini digunakan untuk menilai efisiensi penggunaan modal dalam menghasilkan laba. Pada industri kimia, nilai ROI minimum yang disyaratkan umumnya sebesar 44% sebelum pajak untuk kategori risiko tinggi, dan sekitar 11% sebelum pajak untuk kategori risiko rendah (Aries dan Newton, 1955).

$$ROI = \frac{Profit}{Fixed\ Capital\ Investment}\ x\ 100\% \text{.....(6.4)}$$

$$ROI\ b = \frac{Keuntungan\ sebelum\ pajak}{Fixed\ Capital\ Investment}\ x\ 100\% \text{.....(6.5)}$$

$$ROI\ a = \frac{Keuntungan\ sesudah\ pajak}{Fixed\ Capital\ Investment}\ x\ 100\% \text{.....(6.6)}$$

ROI b = ROI sebelum pajak

= 78,908 %

ROI a = ROI sesudah pajak

= 61,584 %

ROI b (tanpa penjualan CO_2) = ROI sebelum pajak

= 20,238 %

ROI a (tanpa penjualan CO_2) = ROI sesudah pajak

= 15,785 %

b. Pay Out Time (POT)

Pay Out Time (POT) adalah waktu yang diperlukan untuk mengembalikan seluruh modal investasi yang telah ditanamkan melalui keuntungan yang diperoleh dari operasi pabrik. Parameter ini memberikan gambaran mengenai periode pengembalian investasi, sehingga dapat diketahui seberapa cepat modal kembali dan mulai menghasilkan keuntungan bersih.

$$POT\ b = \frac{Fix\ Capital\ Investment}{Keuntungan\ sebelum\ pajak + Depresiasi} \quad \text{.....(6.7)}$$

$$POT\ a = \frac{Fix\ Capital\ Investment}{Keuntungan\ setelah\ pajak + Depresiasi} \quad \text{.....(6.8)}$$

POT b = POT sebelum pajak

= 1,150 tahun

POT a = POT sesudah pajak

= 1,437 tahun

POT b (tanpa penjualan CO_2) = POT sebelum pajak

= 3,54 tahun

POT a (tanpa penjualan CO_2) = POT sesudah pajak

= 4,20 tahun

c. *Break Even Point* (BEP)

Break Even Point (BEP) merupakan kondisi di mana total pendapatan sama dengan total biaya produksi, sehingga pabrik tidak mengalami keuntungan maupun kerugian. Analisis BEP digunakan untuk menentukan kapasitas produksi minimum dan harga jual produk agar operasional pabrik tetap berada pada kondisi tidak merugi. Nilai BEP pabrik kimia umumnya berada pada range 40-60%.

$$BEP = \frac{Fa+0,3\ Ra}{Sa-Va-0,7\ Ra}\ x\ 100\% \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots...(6.9)$$

Dimana :

Fa : *Annual Fixed Manufacturing Cost* pada produksi maksimum

Ra : *Annual Regulated Expenses* pada produksi maksimum

Va : *Annual Variable Value* pada produksi maksimum

Sa : *Annual Sales Value* pada produksi maksimum

Tabel 6. 13 *Annual Fixed Manufacturing Cost (Fa)*

Komponen	**Biaya ($)**	**Biaya (Rp)**
Depreciation	$ 1.111.156,66	Rp 19.127.506.279
Insurance	$ 138.894,58	Rp 2.390.938.285
Property Taxes	$ 138.894,58	Rp 2.390.938.285
Total	**$ 1.388.945,82**	**Rp 23.909.382.849**

Tabel 6. 14 *Annual Regulated Expenses (Ra)*

Komponen	**Biaya ($)**	**Biaya (Rp)**
Gaji Karyawan	$ 844.194,13	Rp 14.532.000.000
Payroll Overhead	$ 126.629,12	Rp 2.179.800.000
Supervision	$ 126.629,12	Rp 2.179.800.000
Plant Overhead	$ 422.097,07	Rp 7.266.000.000
Laboratorium	$ 126.629,12	Rp 2.179.800.000
General Expense	$ 3.027.713,90	Rp 52.119.218.448
Maintenance	$ 277.789,16	Rp 4.781.876.570
Plant Supplies	$ 41.668,37	Rp 717.281.485
Total	**$ 4.993.350,00**	**Rp 85.955.776.504**

Tabel 6. 15 *Annual Variable Value (Va)*

Komponen	**Biaya ($)**	**Biaya (Rp)**
Raw Material	$ 10.755.266,25	Rp 185.141.690.985
Packaging and Shipping	$ 1.639.401,84	Rp 28.220.745.271
Utilities	$ 3.051.140,39	Rp 52.522.483.304
Total	**$ 15.445.808,49**	**Rp 265.884.919.560**

Tabel 6. 16 *Annual Sales Value (Sa)*

Komponen	Biaya ($)	Biaya (Rp)
Annual Sales Value	$ 71.264.508	Rp 564.414.905.418
Total	**$ 71.264.508**	**Rp 564.414.905.418**

Nilai *Break Even Point* (BEP) sebesar 20,85% yang berada di bawah rentang ideal industri kimia (40–60%) menunjukkan bahwa pabrik telah mencapai titik impas pada tingkat produksi yang relatif rendah, sehingga mengindikasikan tingkat profitabilitas yang tinggi, risiko kerugian yang rendah, serta kelayakan ekonomi yang sangat baik. Dan juga nilai BEP tanpa penjualan CO_2 di angka 50,39% sudah berada dalam rentang ideal industri kimia

d. *Shut Down Point* (SDP)

Shut Down Point (SDP) adalah kondisi di mana tingkat produksi berada pada batas minimum sehingga pabrik tidak lagi mampu menutupi biaya tetap (*fixed cost*), sehingga secara ekonomis lebih menguntungkan untuk menghentikan operasi. Kondisi ini biasanya terjadi ketika kapasitas produksi berada di bawah titik BEP. Secara umum, nilai SDP pada industri kimia berada pada kisaran 22%–30% dari kapasitas produksi.

$$SDP = \frac{0{,}3\ x\ Ra}{Sa - Va - 0{,}7\ Ra}\ x\ 100\% \quad \text{.....(6.10)}$$

Dimana :

Fa : *Annual Fixed Manufacturing Cost* pada produksi maksimum

Ra : *Annual Regulated Expenses* pada produksi maksimum

Va : *Annual Variable Value* pada produksi maksimum

Sa : *Annual Sales Value* pada produksi maksimum

Maka, nilai SDP yang didapat adalah 10,82%, dan nilai SDP tanpa penjualan CO_2 sebesar 25,88%

e. *Discounted Cash Flow Rate* (DCFR)

Discounted Cash Flow Rate (DCFR) merupakan tingkat suku bunga yang diperoleh berdasarkan analisis arus kas terdiskonto (*discounted cash flow*), di mana seluruh aliran kas masa depan dihitung terhadap nilai sekarang. Parameter ini digunakan untuk menilai tingkat keuntungan investasi dengan mempertimbangkan nilai waktu dari uang. Suatu proyek pabrik dinyatakan layak apabila nilai DCFR yang diperoleh lebih besar dari satu setengah kali tingkat bunga pinjaman bank, yang menunjukkan bahwa investasi tersebut memberikan keuntungan yang cukup signifikan.

$$(FC + WC)(1 + i)^n = C \sum_{n=0}^{n=n-1}(1 + i)^n + WC + SV \text{.....(6.11)}$$

Dimana :

FC : *Fixed Capital*

WC : *Working Capital*

SV : *Salvage Value*

C : *Cash Flow* (*Profit after taxes* + Depresiasi + *Finance*)

N : Umur Pabrik = 10 tahun

i : Nilai DCFR

Discounted cash flow dihitung secara *trial & error* R-S, dengan trial & *error* diperoleh nilai i = 0,2401, sehinga nilai DCFR = 28 %. Dan untuk nilai DCFR untuk penjualan tanpa CO_2 senilai 10,46 %.

6.3.6 Analisis Risiko Pabrik

Analisis kelayakan ekonomi dilakukan untuk menilai tingkat keuntungan yang dapat diperoleh dari pendirian pabrik, sehingga dapat ditentukan apakah proyek tersebut layak secara finansial untuk direalisasikan. Evaluasi ini bertujuan untuk mengidentifikasi besarnya potensi keuntungan serta risiko yang mungkin terjadi, sehingga pabrik dapat dikategorikan sebagai proyek yang ekonomis dan prospektif. Beberapa parameter yang umum digunakan dalam analisis kelayakan ekonomi adalah sebagai berikut:

Tabel 6. 17 Analisis Risiko Pabrik

Parameter Risiko	**Deskripsi**	**Risk**	
		Low	**High**
Kondisi Operasi	Suhu tertinggi dalam proses 357 °C (reaktor oksidasi)		**V**
	Tekanan operasi 1 atm	**V**	
Proses Produksi	Reaksi oksidasi benzena bersifat eksotermis		**V**
	Proses menggunakan Oksigen (O_2) sebagai oksidator	**V**	
	Potensi pembentukan campuran eksplosif Benzena–udara.		**V**
Karakteristik Bahan Baku dan Produk	Benzena: mudah terbakar, karsinogenik		**V**
	Oksigen (O_2): oksidator kuat	**V**	
	Maleat Anhidrida ($C_4H_2O_3$): iritan, reaktif dengan air	**V**	
	Air (H_2O): tidak berbahaya, tidak terbakar	**V**	
	Karbon Monoksida (CO): toksik namun terkendali dalam sistem tertutup		**V**
	Karbon Dioksida (CO_2): tidak toksik, tidak terbakar	**V**	

Tabel 6. 18 Analisis Risiko Pabrik (Lanjutan)

Parameter Risiko	**Deskripsi**	**Risk**	
	Toluena (C_7H_8): mudah terbakar namun jumlah kecil (*impurities*)	**V**	
Regulasi Pemerintah	Benzena termasuk bahan B3 (PP No. 74 Tahun 2001)		**V**
	Emisi gas harus memenuhi baku mutu lingkungan	**V**	
	Proses memenuhi standar K3 industri	**V**	
	Nilai ambang batas CO di udara kerja diatur	**V**	
Keberadaan Pabrik	Proses sudah umum di industri dan tersedia standar desain serta sistem pengaman	**V**	
Total		**11**	**6**

Berdasarkan parameter-parameter evaluasi ekonomi yang telah dianalisis, dapat disimpulkan bahwa perancangan pabrik *Maleat Anhidrida* ini termasuk dalam kategori investasi dengan tingkat risiko rendah (*low risk*).

Tabel 6. 19 Hasil Analisis Kelayakan

Kriteria	**Nilai**	**Persyaratan**	**Layak/Tidak**
ROI (*before tax*)	78,908 %	ROI *before taxes* minimal 11%	Layak
ROI tanpa penjualan CO_2 (*before tax*)	20,23 %		Layak
ROI (*after tax*)	61,548 %		Layak
ROI tanpa penjualan CO_2 (*after tax*)	15,785 %		Layak
POT *(before tax*)	1,150 tahun	POT *before taxes* maximal 5 tahun	Layak
POT tanpa penjualan CO_2 *(before tax*)	3,54 tahun		Layak
POT *(after tax*)	1,437 tahun		Layak
POT tanpa penjualan CO_2 *(after tax*)	4,204 tahun		Layak
BEP	20,85 %	40% - 60%	Layak
BEP (tanpa penjualan CO_2)	50,39 %	40% - 60%	Layak
SDP	10,82 %	-	Layak

Tabel 6. 20 Hasil Analisis Kelayakan (Lanjutan)

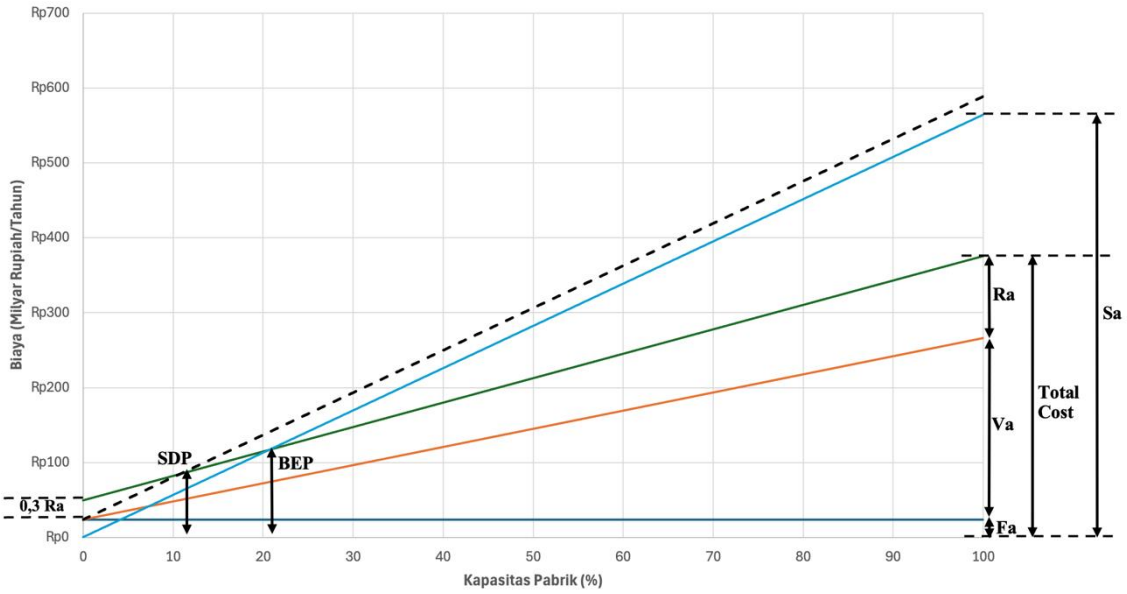
Kriteria	Nilai	Persyaratan	Layak/Tidak
SDP (tanpa penjualan CO_2)	25,88 %	-	Layak
DCFR	28 %	>1,5 x bunga bank minimum (6,2%) = 9,3%	Layak
DCFR (tanpa penjualan CO_2)	10,46 %	>1,5 x bunga bank minimum (6,2%) = 9,3%	Layak

Hasil analisis ekonomi menunjukkan bahwa pabrik *Maleat Anhidrida* yang dirancang memiliki prospek yang menguntungkan dan layak untuk direalisasikan. Nilai *Return on Investment* (ROI) sebelum pajak sebesar 78,908% dan 20,23% telah melampaui batas minimum sebesar 11% untuk industri dengan risiko rendah. Selain itu, nilai *Pay Out Time* (POT) sebelum pajak sebesar 1,150 dan 3,54 tahun menunjukkan periode pengembalian modal yang relatif singkat dan masih berada di bawah batas maksimum yang umumnya ditetapkan, yaitu 5 tahun.

Nilai Break Even Point (BEP) sebesar 20,85% dan 50,39% yang berada di bawah rentang ideal industri kimia (40–60%) menunjukkan bahwa pabrik telah mencapai titik impas pada tingkat produksi yang relatif rendah, sehingga mengindikasikan tingkat profitabilitas yang tinggi, risiko kerugian yang rendah, serta kelayakan ekonomi yang sangat baik. Nilai *Shut Down Point* (SDP) sebesar 10,82% dan 25,88% juga menunjukkan bahwa pabrik masih dapat beroperasi secara ekonomis hingga batas kapasitas tertentu

sebelum mengalami kerugian. Sementara itu, nilai *Discounted Cash Flow Rate* (DCFR) sebesar 28% dan 10,46% melebihi tingkat suku bunga minimum yang diasumsikan sebesar 9,3 %,.

Dengan terpenuhinya seluruh indikator kelayakan ekonomi tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa pendirian pabrik Maleat Anhidrida ini layak untuk dilaksanakan dan memiliki potensi keuntungan yang baik dari sisi finansial.



Gambar 6. 2 Grafik Analisis Kelayakan Penjualan Keseluruhan

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan pabrik Maleat Anhidrida dari Benzena dan Oksigen dengan kapasitas 11.808 ton/tahun, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pendirian pabrik bertujuan mengurangi ketergantungan impor, meningkatkan ekspor, membuka lapangan kerja, serta mendukung industri hilir berbasis *Maleat Anhidrida*.
2. Produk utama adalah Maleat Anhidrida ($C_4H_2O_3$) dengan kemurnian 99,5%, dengan produk samping CO_2, CO, dan H_2O. CO_2 memiliki nilai ekonomis dan berkontribusi terhadap peningkatan pendapatan pabrik.
3. Lokasi pabrik di Tuban, Jawa Timur, dipilih karena dekat sumber Benzena (PT TPPI) dan ketersediaan air laut sebagai utilitas.
4. Berdasarkan analisis ekonomi dengan pemanfaatan CO_2 diperoleh:

   a. Keuntungan

   Laba sebelum pajak Rp 188.664.826.505,33/tahun dan setelah pajak Rp Rp147.158.564.674,2/tahun, meningkat signifikan dibanding tanpa CO_2 (Rp Rp37.741.661.449,4/tahun).

   b. ROI

   ROI sebelum pajak 78,908% dan setelah pajak 61,548% (>11%), meningkat dari kondisi tanpa CO_2 (20,23% dan 15,785%).

c. POT

POT sebelum pajak 1,150 tahun dan setelah pajak 1437 tahun, lebih cepat dibanding tanpa CO_2 (3,54 tahun dan 4,204 tahun).

d. BEP

BEP 20,85%, lebih rendah dari kisaran ideal (40–60%) dan dibanding tanpa CO_2 (50,39%), menunjukkan risiko kerugian lebih kecil.

e. SDP

SDP 10,82%, lebih rendah dari tanpa CO_2 (25,88%), menunjukkan fleksibilitas operasi lebih tinggi.

f. DCFR

DCFR 28% (>9,3%), meningkat dari tanpa CO_2 (10,46%), menunjukkan kelayakan finansial yang kuat.

Secara keseluruhan, pabrik layak untuk dikaji lebih lanjut, dan pemanfaatan CO_2 menjadi faktor kunci peningkatan profitabilitas dan kelayakan ekonomi.

5.2 Saran

Dalam perancangan pabrik kimia, terdapat beberapa aspek penting yang perlu diperhatikan untuk meningkatkan kelayakan teknis dan ekonomis, yaitu:

1. Optimasi Pemilihan Peralatan dan Proses

Pemilihan peralatan dan bahan baku perlu dioptimalkan untuk meningkatkan efisiensi dan profitabilitas.

2. Pemanfaatan Produk Samping (CO_2)

Perlu kajian lanjutan terkait pemurnian dan distribusi CO_2 agar memberikan nilai tambah maksimal.

3. Aspek Lingkungan

Perlu pengendalian emisi dan pengolahan limbah untuk meminimalkan dampak lingkungan.

4. Analisis Sensitivitas Ekonomi

Perlu dilakukan analisis sensitivitas terhadap harga bahan baku, produk, dan kondisi pasar.

DAFTAR PUSTAKA

Airgas USA, LLC. (2025). Safety Data Sheet: Compressed Air.

Aries, R. S., & Newton, R. D. (1995). *Chemical engineering cost estimation*. Butterworth-Heinemann.

Aspen Plus. (2023). Aspen Plus Physical Property Database Documentation (DIPPR 801 / NIST / PURE). Aspen Technology, Inc.

BASF SE. (2024). Safety Data Sheet: Benzena 99.9%.

Chemanalyst. (2024). *PT Justus Sakti Raya Halts Maleat Anhidrida Production in Jakarta.*

ChemOS. (2020). Safety Data Sheet: Maleat Anhidrida.

Chemxplore. (2023). *Clariant's Syndane Catalyst Achieves Performance Milestones at Wanhua Maleat Anhidrida Plant.*

Dmuchovsky, B., Freerks, M. C., Pierron, E. D., Munch, R. H., & Zienty, F. B. (1965). A Study of the Catalytic Oxidation of Benzena to Maleat Anhidrida. Journal of Catalysis, 4, 291–300.

Effendi, A. L., & Restikasari, W. (2023). Analysis of Productivity in the Chemical Industry in Indonesia. *MediatrendStats*, 18(2), 141–154.

Kroschwitz, J. I. (Ed.). (2014). Kirk-Othmer encyclopedia of chemical technology (5th ed.). Wiley.

LTS Research Laboratories, Inc. (2023). Safety Data Sheet: Molybdenum Trioxide (MoO_3).

LTS Research Laboratories, Inc. (2023). Safety Data Sheet: Vanadium Pentoxide (V_2O_5).

NIST. (2023). *Maleat Anhidrida – Thermochemical data*. In P. J. Linstrom & W. G. Mallard (Eds.), *NIST Chemistry WebBook* (SRD 69).

Perry, R. H., & Green, D. W. (2008). Perry's chemical engineers' handbook (8th ed.). McGraw-Hill.

Peters, M. S., & Timmerhaus, K. D. (1991). Plant design and economics for chemical engineers (4th ed.). McGraw-Hill

Rongkang, C. P., Putri, I. S., Kartawidjaja, J. H., & Lestari, P. D. A. (2024). Optimizing Maleat Anhidrida Production from Benzena's Cost by Preheating Inlet Air in Fired Heater and Modifying Distillation Column Operating Condition. *Journal of Chemical Engineering Research Progress*, 1(2), 164–177.

Smith, J.M., and Van Ness, H.C.,"Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics", 8th edition, Mc Graw Hill Book Kogokusha Ltd, Tokyo, 1975.

TPPI. (2021). TPPI Selesaikan OSBL Proyek Revamping Aromatik Sesuai Target. Trans-Pacific Petrochemical Indotama.

Trivedi, B. C. (1982). Production of Maleat Anhidrida. Springer.

Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. (2012). Maleat Anhidrida. Wiley-VCH.

Westerink & Westerterp (1988), Chemical Engineering Science, Vol. 43, pp. 1051–1067.

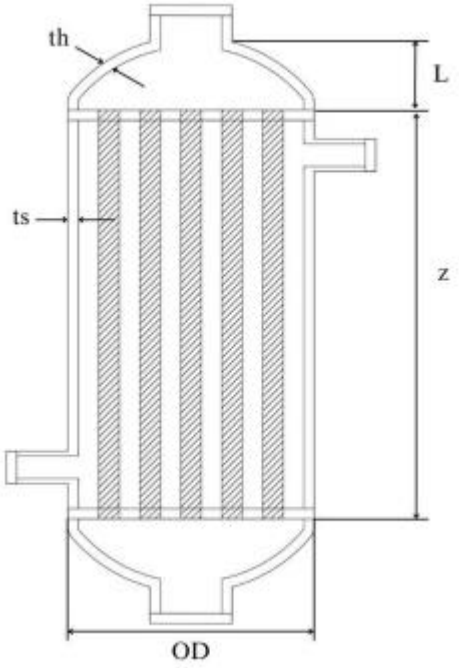
World Bank. (2023). *Indonesia Trade Statistics: Imports of Maleat Anhidrida (HS 291714)*.

Wulandari, R., Prasetyo, A. S., & Susandika, M. D. (2023). Sources of Indonesia's Manufacturing Productivity Growth. *Jurnal Riset Ilmu Ekonomi*, 4(2), 98–110.

LAMPIRAN A

PERANCANGAN REAKTOR

PERANCANGAN REAKTOR



Jenis : *Fixed Bed Multitube*

Fungsi : Mereaksikan C_6H_6 dengan O_2

Suhu : 357 ^oC

Tekanan : 1 atm

Reaksi : Eksotermis

Spesifikasi Katalis : Katalis : V_2O_5-MoO_3

Porositas : 0,8507

Densitas : 3350 kg/m^3

Densitas Bulk : 3350 kg/m^3

Diameter : 0,9 cm

1. Neraca Massa

Komponen	Masuk (kg/jam)	Keluar (kg/jam)
	Arus 8	**Arus 9**
C_6H_6 (g)	2.887,782	473,600
$C_4H_2O_3$ (g)	3,910	1.619,276
O_2 (g)	6.219,781	1.131,889
CO_2 (g)	0	3.220,008
CO (g)	0	1.299,077
C_7H_8 (g)	13,347	13,347
H_2O (g)	0	1.367,623
Total	**9.124,819**	**9.124,819**

2. Neraca Panas

	Masuk (kJ/jam)	Keluar (kJ/jam)
Q umpan	3.574.529,392	0
Q produk	0	3.812.930,421
Q reaksi	106.969.906,815	0
Q pendingin	0	106.731.505,785
Total	**110544436,206**	**110544436,206**

Menentukan Massa Pendingin :

Jenis : *Dowtherm A*

T *in* : 255 ^{o}C

T *out* : 330 ^{o}C

$Cp_{255^{o}C}$: 2,23 kJ/kg.K

$Cp_{330^{o}C}$: 2,45 kJ/kg.K

ΔH : 299 kJ/kg

Massa Pendingin : 356.466,9748 kg/jam

3. Menentukan Spesifikasi Reaktor

Jurnal mengadopsi tiga reaksi utama sebagai model kinetika:

$C_6H_6 + 4\ O_2 \rightarrow C_4H_2O_3 + CO + CO_2 + 2\ H_2O$

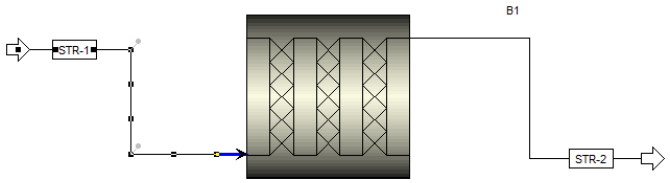
$C_4H_2O_3 + 5/2\ O_2 \rightarrow 3\ CO_2 + CO + H_2O$

$C_6H_6 + 13/2\ O_2 \rightarrow 4\ CO_2 + 2\ CO + 3\ H_2O$

Dikarenakan keterbatasan informasi mengenai konversi ketiga reaksi tersebut, yang diketahui hanya konversi keseluruhan dan *yield*, maka dapat menggunakan *Aspen Plus* untuk mengetahui komponen yang keluar, dengan cara *trial & error* spesifikasi *tube*.

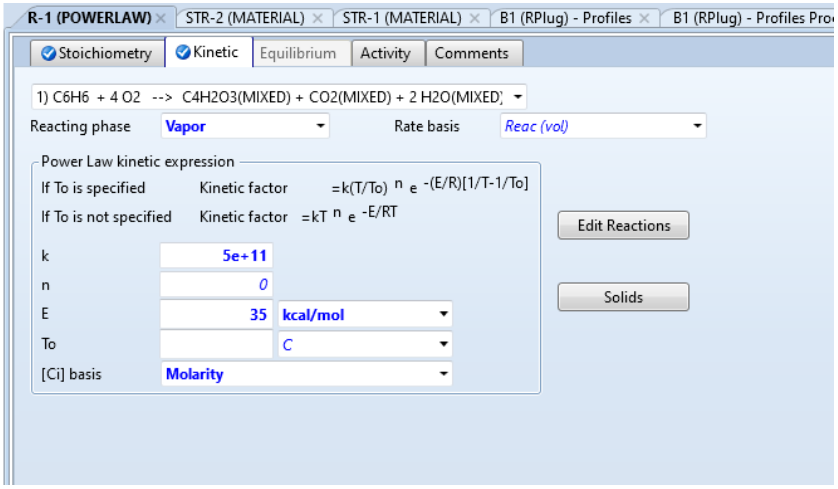
a. Simulasi

1) Flowsheet



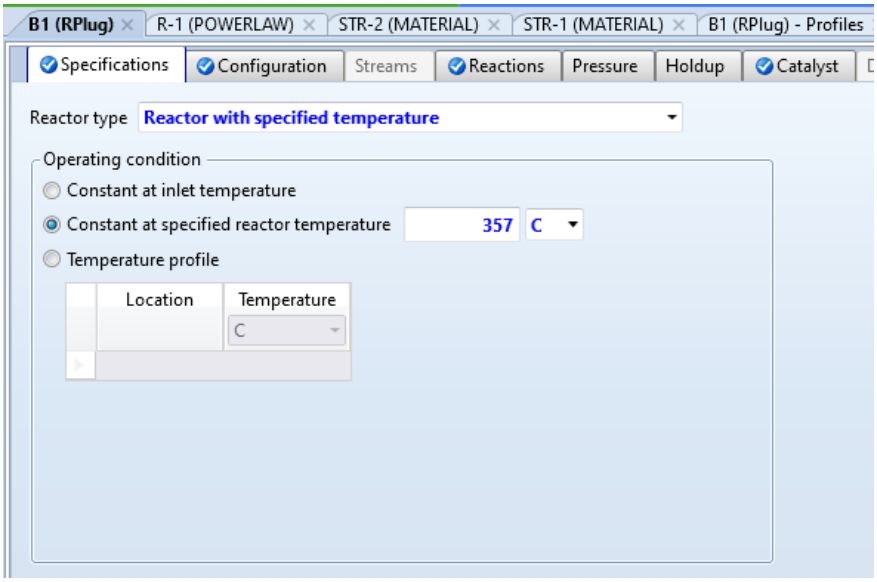
Alat yg dipakai adalah *RPlug* di *Aspen Plus* seperti pada gambar lalu menginputkan umpan dan kondisi operasi

2) Input Reaksi

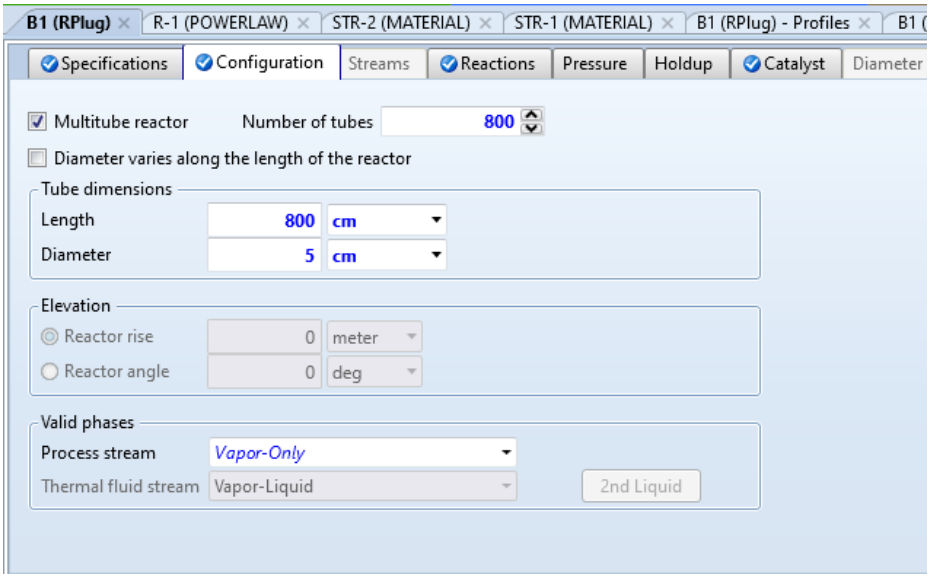


Lalu menginputkan ketiga reaksi (*Powerlaw*) dan juga menginputkan data kinetika yang didapatkan dari jurnal.

3) Konfigurasi Reaktor

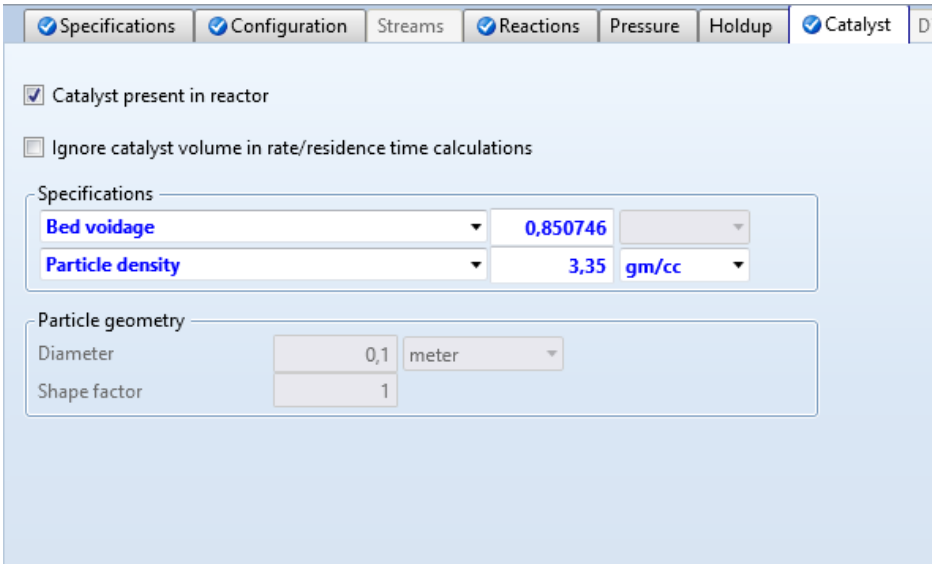


Karena *reactor isothermal*, maka menggunakan *Reactor with specified temperature* dengan suhu 357 ºC



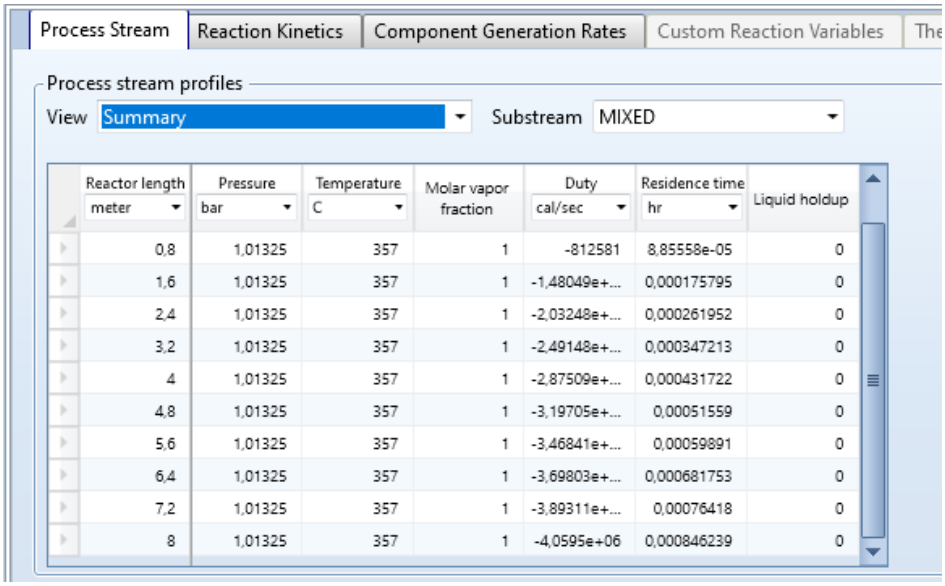
Selanjutnya setelah dilakukan *trial & error*, maka didapatkan jumlah *tube* 800, dengan panjang 800 cm dan diameter 5 cm untuk mencapai konversi dan *yield* yang diinginkan.

4) Input Catalyst



Lalu menginputkan data spesifikasi katalis yang sesuai.

5) Hasil Simulasi

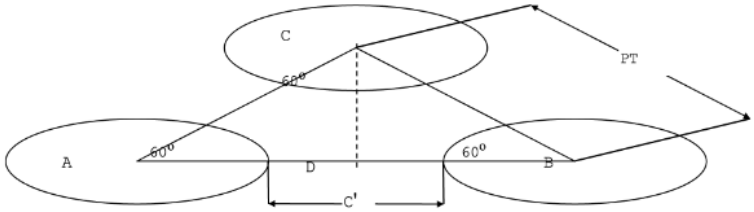


Reactor length (meter)	Pressure (bar)	Temperature (C)	Molar vapor fraction	Duty (cal/sec)	Residence time (hr)	Liquid holdup
0,8	1,01325	357	1	-812581	8,85558e-05	0
1,6	1,01325	357	1	-1,48049e+...	0,000175795	0
2,4	1,01325	357	1	-2,03248e+...	0,000261952	0
3,2	1,01325	357	1	-2,49148e+...	0,000347213	0
4	1,01325	357	1	-2,87509e+...	0,000431722	0
4,8	1,01325	357	1	-3,19705e+...	0,00051559	0
5,6	1,01325	357	1	-3,46841e+...	0,00059891	0
6,4	1,01325	357	1	-3,69803e+...	0,000681753	0
7,2	1,01325	357	1	-3,89311e+...	0,00076418	0
8	1,01325	357	1	-4,0595e+06	0,000846239	0

Didapatkan juga profil Reaktor pada setiap ketinggian reaktor

b. Menentukan Dimensi Reaktor

1) Diameter *Shell*



Susunan *Tube* : *Triangular Pitch*

$$IDs = \sqrt{\frac{4 \cdot Nt \cdot P_T^{\,2} \cdot 0.866}{\pi}}$$

IDs = 224,486 cm

2) *Mechanical Design*

$$TebalTube = \frac{P \times r}{f \times E - 0{,}6P} + C$$

Tebal *Tube* = 0,12 in

$$ts = \frac{Pxr}{fxE - 0.6P} + c$$

Tebal *Shell* = 0,19 in

$$tH = \frac{P.IDs}{2.f.E - 0{,}2\,P} + c$$

Tebal *Head* = 0,19 in

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

$$AB = a - icr$$

$$BC = r - icr$$

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

$$b = r - AC$$

$$OA = th + b + sf$$

Tinggi *Head* = 17,06 in

Tinggi Reaktor = Panjang *tube* + tinggi *head*

= 332,02 in

= 8,43 m

Volume Reaktor = Volume *Head* + Volume *Shell*

= 31,6 m^3

c) Spesifikasi *Nozzle*

1) Diameter Gas Saluran Umpan

$$Di_{Opt} = 260\, G^{0.52}.\rho^{-0.37}$$

where,

Di Opt : diameter optimum, mm

G : flow rate, kg/s

ρ : densities, kg/m³

Di opt = 17,2 in

2) Diameter Gas Saluran Keluar

$$Di_{Opt} = 260\, G^{0.52}.\rho^{-0.37}$$

where,

Di Opt : diameter optimum, mm

G : flow rate, kg/s

ρ : densities, kg/m³

Di opt = 18,9 in

3) Diameter Pendingin Masuk

$$\rho\ p = 1.3644 - (9.7073 x 10^{-4}\ Tin)$$

Di opt = 1,38 in

4) Diameter Pendingin Keluar

$$\rho\ p = 1.3644 - (9.7073 x 10^{-4}\ Tin)$$

Di opt = 1,4 in

4. Menghitung Berat Katalis

Dikarenakan dimensi reaktor sudah diketahui, maka mencari kebutuhan berat katalis menggunakan rumus :

$$V_{tube} = \frac{\pi}{4} D^2 L$$

$$V_{katalis} = V_{total} \times (1 - \varepsilon)$$

$$W = V_{katalis} \times \rho_{bulk}$$

Volume 1 *tube* : 0,0157 m^3

Volume total : 12,56 m^3

V katalis : 1,87 m^3

W katalis : 937,31 kg

: *overdesign* 20% x 937,31 kg

: 1124,776 kg

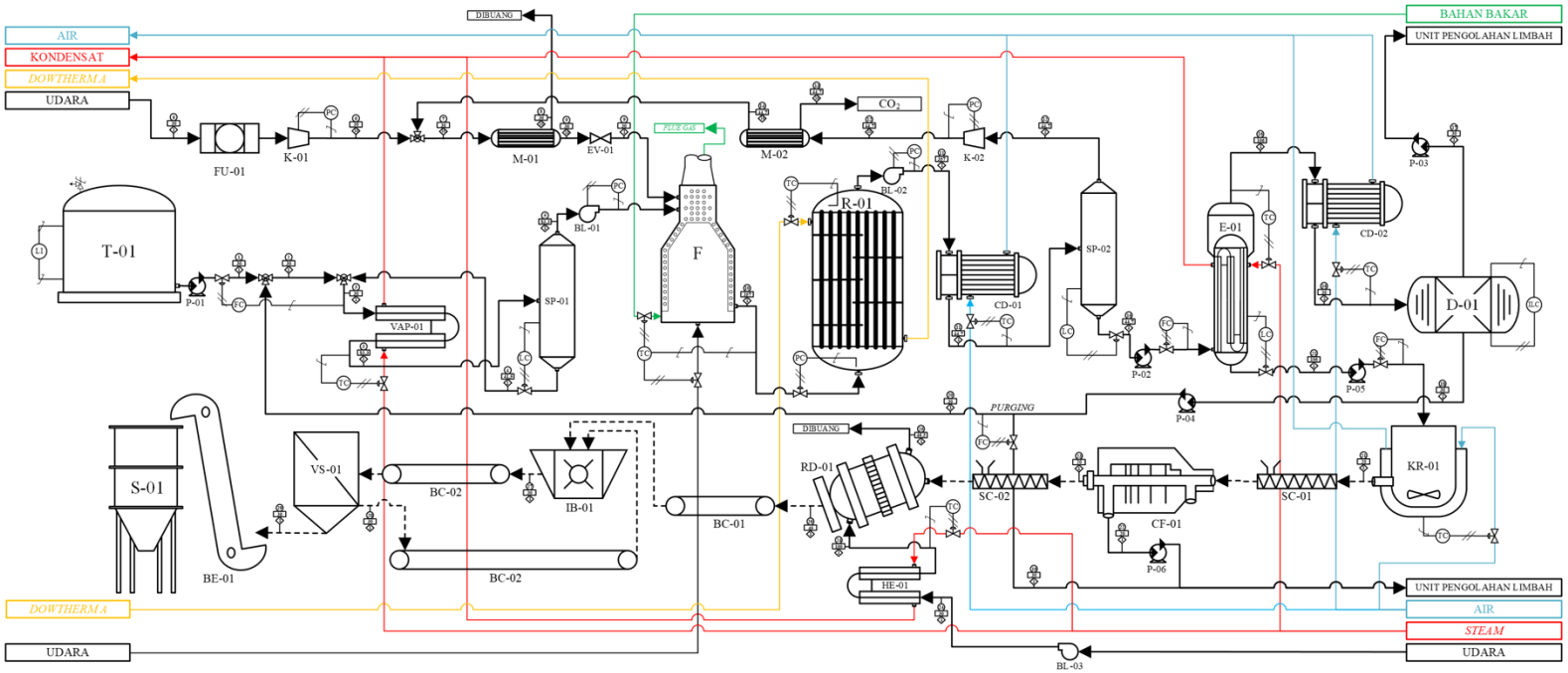
LAMPIRAN B

***PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM* (PEFD)**

PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM

PRA RANCANGAN PABRIK MALEAT ANHIDRIDA DARI BENZENA DAN OKSIGEN

DENGAN KAPASITAS 11.808 TON/TAHUN



Komponen	Arus (kg/jam)																										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
C_6H_6	2655,976	2887,782	3609,727	721,945	2887,782					2887,782	473,6				473,6	463,612		463,612	231,806	231,806	9,988	9,489	0,499		0,499				
$C_4H_2O_3$		3,91	4,888	0,978	3,91					3,91	1619,276				1619,276	57,641	49,82	7,82	3,91014	3,91014	1561,636	74,178	1487,459		3,904	1483,554	1498,54	14,985	1483,554
O_2						5087,892	6219,781		6219,781	6219,781	1131,889	1131,889		1131,889															
N_2						19140,17	19140,17	19140,17																					
CO_2											3220,008	3220,008	3220,008																
CO							1678,361	1678,361			1299,077	1299,077		1299,077															
C_7H_8	6,312	13,347	16,683	3,337	13,347					13,347	13,347				13,347	12,906		12,906	6,45279	6,45279	0,441	0,419	0,022		0,022				
H_2O											1367,623				1367,623	720,962	720,962				646,661	614,328	32,333		24,878	7,455	7,53	0,075	7,455
Udara Panas																								118,8622	118,8622				
Total	2662,29	2905,04	3631,30	726,26	2905,04	24228,06	27038,31	20818,53	6219,78	91124,82	9124,82	5650,97	3220,01	2430,97	3473,85	1255,12	770,78	484,34	242,169	242,169	2218,73	698,41	1520,31	118,86	148,17	1491,01	1506,07	15,06	1491,01

Keterangan Alat	
T	Tangki
VAP	*Vaporizer*
SP	*Separator*
FU	Filter Udara
K	Kompressor
P	Pompa
M	Membran
EV	*Expansion Valve*
BL	*Blower*
F	*Furnace*
R	Reaktor
CD	*Condensor*
E	*Evaporator*
D	Dekanter
KR	Kristalizer
SC	*Screw Conveyor*
CF	*Centrifuge*
HE	*Heat Exchanger*
RD	*Rotary Dryer*
BC	*Belt Conveyor*
IB	*Impact Breaker*
VS	*Vibrating Screen*
BE	*Bucket Elevator*
S	Silo

Keterangan Alat Kontrol	
LI	*Level Indicator*
FC	*Flow Controller*
TC	*Temperature Controller*
LC	*Level Controller*
PC	*Pressure Controller*
ILC	*Interface Level Controller*

Keterangan Alat Kontrol	
	Nomor Arus
	Suhu
	Tekanan
	Control Valve
	Mixing Valve
	Pipa
	Transfer Padatan
	Sinyal Pneumatik
	Sinyal Elektrik

PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA

PRA RANCANGAN PABRIK MALEAT ANHIDRIDA DARI BENZENA DAN OKSIGEN KAPASITAS 11.808 TON/TAHUN

Disusun Oleh :
Hasan Syafiq Kodhafi (22521026)
Najwa Alifa Noer (22521063)

Dosen Pembimbing :
Venitalitya Alethea Sari Augustia, S.T., M.Eng.

LAMPIRAN C

KARTU KONSULTASI BIMBINGAN PRA RANCANGAN PABRIK

KARTU KONSULTASI BIMBINGAN PRA RANCANGAN PABRIK

Nama Mahasiswa 1 : Hamas Syafiq Kadhafi
No. Mahasiswa 1 : 22521026
Nama Mahasiswa 2 : Najwa Alifa Noer
No. Mahasiswa 2 : 22521063
Judul Pra rancangan Pabrik : PRA RANCANGAN PABRIK MALEIC ANHYDRIDE DARI BENZENE DAN UDARA DENGAN KAPASITAS 13.061 TON/TAHUN
Mulai Masa Bimbingan : September 2025
Selesai Masa Bimbingan : Mei 2026

No	Tanggal	Materi Bimbingan	Paraf Dosen
1.	26-09-2025	Studi kinetika Maleic Anhydride	
2.	10-10-2025	Peluang kapasitas pabrik	
3.	5-11-2025	Pembuatan diagram alir	
4.	18-12-2025	Neraca massa	
5.	24-12-2025	Konversi reaksi	
6.	15-01-2026	Neraca massa per alat	
7.	22-01-2026	Neraca massa reaktor	
8.	3-02-2026	Perhitungan jumlah O2	
9.	11-02-2026	Impurities	
10.	12-02-2026	Simulasi Aspen Plus	
11.	20-02-2026	Recycle pada neraca massa	
12.	25-02-2026	Penentuan suhu alat	
13.	8-03-2026	Dimensi & beban panas reaktor	
14.	1-04-2026	Penentuan alat transportasi bahan	
15.	10-04-2026	Pemilihan jenis crusher	
16.	15-04-2026	Spesifikasi alat	
17.	23-04-2026	PEFD	
18.			

Disetujui Draft Penulisan :
Yogyakarta, 30 April 2026
Pembimbing,

(VENITALITYA A-S-A., S.T., M.Eng.)

Catatan:
- Kartu Konsultasi Bimbingan dilampirkan pada Laporan Pra Rancangan Pabrik
- Kartu Konsultasi Bimbingan dapat difotocopy