PRARANCANGAN PABRIK ETILEN GLIKOL DARI ETILEN OKSIDA DAN AIR KAPASITAS 50.000 TON/TAHUN

PRA RANCANGAN PABRIK

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat

Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Kimia

Oleh:

Nama	**: Maslahatun Henas K.**	**Nama**	**: Firyaal Aurora Y.**
No. Mahasiswa	**: 21521069**	**No. Mahasiswa**	**: 21521110**

PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

YOGYAKARTA

2026

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN HASIL

PRA RANCANGAN PABRIK ETILEN GLIKOL DARI ETILEN OKSIDA DAN AIR KAPASITAS 50.000 TON/TAHUN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : **Maslahatun Henas K.**

No. Mahasiswa : **21521069**

Yogyakarta, 25 Mei 2026

Menyatakan bahwa seluruh hasil pra rancangan pabrik ini adalah hasil karya saya sendiri. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa ada beberapa bagian dari karya ini adalah bukan hasil karya sendiri, maka saya siap menanggung risiko dan konsekuensi apapun.

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

Tanda Tangan



Maslahatun Henas Kemala

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

PRARANCANGAN PABRIK ETILEN GLIKOL DARI ETILEN OKSIDA DAN AIR KAPASITAS 50.000 TON/TAHUN

PraRancangan Pabrik

Oleh :

Nama : Maslahatun Henas K.
No. Mahasiswa : 21521069

Nama : Firyaal Aurora Y.
No. Mahasiswa : 21521110

Yogyakarta, Mei 2026

Pembimbing,

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

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

PRARANCANGAN PABRIK ETILEN GLIKOL DARI ETILEN OKSIDA DAN AIR

KAPASITAS 50.000 TON/TAHUN

OLEH :

Nama : Maslahatun Henas Kemala

No. Mahasiswa : 21521069

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, Juni 2026

Tim Penguji,

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

Dr. Khamdan Cahyari, S.T., M.Sc.
Penguji 1

Cholila Tamyzi, S.T., M.Eng., Ph.D.
Penguji 2

Mengetahui:
Ketua Program Studi Teknik Kimia
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia

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

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh,

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan karunia-Nya, kami dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Tugas Akhir yang berjudul PraRancangan Pabrik Kimia Etilen Glikol dari Etilen Oksida dan Air Kapasitas 50.000 ton/tahun ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.

Kami menyadari bahwa penyusunan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan, serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini kami ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT, yang telah memberikan kelancaran, kesehatan, kekuatan, dan petunjuk kepada penulis sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan lancar.
2. Kedua orang tua tercinta serta seluruh keluarga besar, yang tiada hentinya memberikan doa yang tulus, dukungan moral maupun material, serta kasih sayang yang luar biasa menjadi motivasi terbesar kami.
3. Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M.T., IPU., ASEAN Eng., selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Sholeh Ma'mun, S.T., M.T., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Program Studi Sarjana Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri,

Universitas Islam Indonesia.

5. Ibu Tintin Mutiara, S.T., M.Eng., Dr., selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan bimbingan, arahan, dan masukan yang sangat berharga dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
6. Seluruh Dosen dan Staf Administrasi Program Studi Sarjana Teknik Kimia yang telah membekali penulis dengan ilmu pengetahuan dan bantuan selama masa perkuliahan.
7. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, yang telah memberikan bantuan baik langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian dokumen ini.

kami menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan karena keterbatasan kemampuan dan pengetahuan yang dimiliki. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak demi perbaikan di masa yang akan datang.

Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan bagi perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang Teknik Kimia.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

LEMBAR PERSEMBAHAN

Alhamdulillahi rabbil 'aalamiin, puji dan syukur tiada henti saya panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala ruang, waktu, dan kemudahan yang telah diberikan-Nya. Di balik lembaran pra rancangan pabrik yang berhasil diselesaikan, ada sebuah perjalanan panjang penuh perjuangan yang akhirnya menemui muara. Tugas akhir ini adalah akhir dari kisah masa kuliah saya, sekaligus gerbang pembuka menuju dunia baru yang siap saya tapaki. Dengan penuh rasa bangga dan takzim, saya persembahkan karya ini kepada orang-orang yang sangat saya sayangi dan kasihi, yaitu:

1. Kedua Orang Tua Tercinta, Ayah Asrul Sani dan Bunda Heni Suryati, dua orang paling berharga yang menjadi pilar terkuat, pelabuhan terbaik, serta sumber inspirasi dan kekuatan terbesar dalam hidup saya. Tugas akhir prarancangan pabrik ini adalah balasan kecil yang belum seberapa atas setiap tetes keringat Ayah yang mengalir demi biaya kuliah saya, dan setiap untaian doa Bunda yang menembus langit di sepertiga malam. Terima kasih yang tak terhingga atas pengorbanan yang tiada batas, kesabaran yang luar biasa, serta dukungan moril maupun materiil yang tak pernah putus sepanjang perjalanan kuliah saya. Terima kasih karena selalu percaya pada kemampuan saya, bahkan di saat saya meragukan diri sendiri. Lembar persembahan ini adalah wujud rasa takzim dan hadiah kecil dari anakmu untuk mengukir senyum bahagia di wajah Ayah dan Bunda, sekaligus sebagai bukti bahwa anakmu tidak menyia-nyiakan harapan yang dititipkan di pundak saya. Gelar dan

keberhasilan ini sepenuhnya adalah milik Ayah dan Bunda. Saya sangat menyayangi kalian.

2. Adikku Tersayang Kaysa Diva, yang selalu menjadi sumber keceriaan dan warna tersendiri di rumah. Terima kasih ya sudah selalu menghibur, memberikan semangat dengan caramu sendiri, dan menjadi alasan bagi Kakak untuk terus memberikan contoh terbaik. Tugas akhir ini juga Kakak persembahkan untukmu sebagai motivasi agar kamu bisa melangkah lebih jauh dan lebih sukses ke depannya.
3. Ibu Tintin Mutiara, S.T., M.Eng., Dr., yang telah bertindak sebagai orang tua kedua di kampus. Terima kasih banyak atas kesabaran, waktu yang diluangkan, serta curahan ilmu dan arahan berharga yang telah menuntun penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Tante Tersayang Anis Hidayah, terima kasih yang tak terhingga atas segala kasih sayang, perhatian, dan kebaikan yang selalu Tante curahkan kepada saya. Terima kasih karena selalu ikut mendoakan, memberikan nasihat berharga, dan menjadi salah satu orang yang selalu menanyakan kabar kelancaran kuliah saya dengan penuh ketulusan. Dukungan Tante sangat berarti dalam perjalanan saya menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Seluruh Keluarga Besar, yang selalu menjadi *support system* yang luar biasa, memberikan doa-doa baik, serta dorongan semangat di setiap langkah perjalanan akademik saya.
6. Firyaal Aurora Yaasmiin, terima kasih yang tak terhingga atas segala kerja keras, kesabaran, dan semangat yang selalu kamu curahkan selama kita

berjuang bersama. Terima kasih karena selalu bersedia membagi beban, saling menguatkan saat simulasi dan revisi terasa buntu, serta menjadi rekan diskusi yang luar biasa dengan penuh ketulusan. Kehadiran dan dukunganmu bukan sekadar rekan kerja, melainkan sahabat terbaik yang membuat perjalanan panjang menyelesaikan tugas akhir ini terasa jauh lebih ringan. *We finally did it!*

7. Kepada omucin dan okta sahabat terbaik yang selalu ada di barisan paling depan dalam setiap fase pasang surutnya masa kuliah saya. Terima kasih banyak ya sudah bersedia menjadi tempat penampung segala keluh kesah, membagi pundak di masa-masa sulit, dan selalu memberikan solusi di saat saya mulai buntu menghadapi tugas akhir ini. Pertemanan ini adalah salah satu hal terbaik yang saya miliki selama di kampus.
8. untuk Sela manusia random yang nggak pernah bosan mendengarkan segala jenis curhatan stres saya selama pengerjaan prarancangan pabrik ini. Terima kasih atas kopi-kopi penenang di malam hari, candaan yang selalu berhasil mencairkan suasana pusing karena revisi, dan segala bentuk dukunganmu yang luar biasa. *Thank you* sudah jadi teman berjuang yang sesungguhnya!
9. Teman-Teman Seangkatan, rekan-rekan seperjuangan yang telah mengukir memori indah bersama. Terima kasih atas solidaritas, diskusi malam, saling berbagi informasi, dan semangat untuk berjuang lulus bersama di almamater tercinta, Universitas Islam Indonesia.
10. Diriku Sendiri, terima kasih atas segala peluh, air mata, dan malam-malam panjang yang kamu korbankan untuk menyelesaikan tugas akhir ini. Terima

kasih telah memeluk erat mimpimu sendiri di saat keadaan terasa sangat berat. Langkah ini adalah pembuktian atas kedewasaan dan ketangguhanmu. Kamu telah tumbuh menjadi pribadi yang jauh lebih kuat, dan hari ini, kamu berhak merayakan keberhasilanmu dengan penuh rasa bangga.

Maslahatun Henas Kemala

Teknik Kimia UII 2021

DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN ..... **i**

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING ..... **ii**

KATA PENGANTAR ..... **iii**

LEMBAR PERSEMBAHAN ..... **iv**

DAFTAR ISI ..... **ix**

DAFTAR TABEL ..... **xiv**

DAFTAR GAMBAR ..... **xx**

DAFTAR LAMPIRAN ..... **xxi**

DAFTAR LAMBANG/NOTASI/SINGKATAN ..... **xxii**

ABSTRAK ..... **xxiv**

ABSTRACT ..... **xxv**

BAB I **1**

PENDAHULUAN **1**

1. 1 Latar Belakang 1

1. 2 Penentuan Kapasitas 3

1.2.1 Ketersediaan Bahan Baku 4

1.2.2 Kebutuhan Etilen Glikol di Indonesia 5

1.2.3 Kapasitas Pabrik Etilen Glikol di Indonesia 9

1. 3 Tinjauan Pustaka 10

1.3.1 Etilen Oksida 10

1.3.2 Etilen Glikol 12

1.3.3 Proses Pembuatan Etilen Glikol 13

1. 4 Tinjauan Kinetika dan Termodinamika 19

1.4.1 Tinjauan Kinetika 19
1.4.2 Tinjauan Termodinamika 20

BAB II **24**

PERANCANGAN PRODUK **24**

2.1 Spesifikasi Produk 24
2.1.1 Sifat Fisis dan Kimia Produk 24
2.2 Spesifikasi Bahan Baku 25
2.2.1 Sifat Fisis dan Kimia Bahan Baku 25
2.3 Pengendalian Kualitas 27
2.3.1 Pengendalian Kualitas Bahan Baku 28
2.3.2 Pengendalian Kualitas Produksi 29
2.3.3 Pengendalian Kualitas Produk 31

BAB III **35**

PERANCANGAN PROSES **35**

3.1 Diagram Alir Proses dan Material 35
3.2 Uraian Proses 36
3.3 Spesifikasi Alat 38
3.3.1 Spesifikasi Alat Pereaksi 38
3.3.2 Spesifikasi Alat Pemisah 42
3.3.3 Spesifikasi Alat Penyimpanan Bahan 44
3.3.4 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan 47
3.3.5 Spesifikasi Alat Penukar Panas 54
3.4 Neraca Massa 62

3.4.1 Neraca Massa *Overall* 62
3.4.2 Neraca Massa Masing-Masing Alat 63
3.5 Neraca Panas 65
BAB IV **69**
PERANCANGAN PABRIK **69**
4.1 Lokasi Pabrik 69
4.1.1 Pemilihan Lokasi 69
4.1.2 Keunggulan Pemilihan Lokasi 72
4.2 Tata Letak Pabrik (*Plant Layout*) 74
4.2.1 Tata Letak Pabrik 74
4.2.2 Tata Letak Mesin/Alat Proses (*Machines Layout*) 78
4.3 Organisasi Perusahaan 80
4.4.1 Bentuk Perusahaan 80
4.4.2 Struktur Organisasi dan Deskripsi Tugas 84
4.4.3 Jumlah Karyawan dan Gaji 94
4.4.4 Jam Kerja Karyawan 100
4.4.5 Hak dan Fasilitas Karyawan 102
BAB V **105**
UTILITAS **105**
5.1 Unit Penyediaan Air dan Pengolahan Air 106
5.5.1 Unit Penyediaan Air 106
5.5.2 Unit Pengolahan Air 113
5.5.3 Kebutuhan Air 119

5.2 Unit Pembangkit Steam 122
5.3 Unit Pembangkit Listrik 122
5.4 Unit Penyedia Udara Tekan 126
5.5 Unit Penyedia Bahan Bakar 126
5.6 Unit Pengolahan Limbah 127
5.7 Spesifikasi Alat Utilitas 129

BAB VI 137

EVALUASI EKONOMI 137

6.1 Penaksiran Harga 138
6.2 Dasar Perhitungan 144
6.3 Komponen Biaya 144
6.3.1 Modal (*Capital Invesrment*) 144
6.3.2 Biaya Produk (*Manufacturing Cost*) 148
6.3.3 Pengeluaran Umum (*General Expenses*) 150
6.4 Analisa Keuangan 151
6.5 Analisa Kelayakan 152
6.5.1 Return On Investment (ROT) 153
6.5.2 Pay Out Time (POT) 154
6.5.3 Break Event Point (BEP) 154
6.5.4 Shut Down Point (SDP) 157
6.5.5 Discounted Cash Flow Rate of Return (DCFR) 157
6.5.6 Analisa Risiko Pabrik 159

BAB VII 163

KESIMPULAN DAN SARAN 163

7.1 Kesimpulan..... 163

7.2 Saran..... 164

DAFTAR PUSTAKA..... **167**

LAMPIRAN A **171**

LAMPIRAN B **208**

LAMPIRAN C **210**

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Kapasitas Pabrik *Etilen Oksida* di ASEAN 4

Tabel 1.2 Data Impor Etilen Glikol di Indonesia 5

Tabel 1.3 Data Ekspor Etilen Glikol di Indonesia 7

Tabel 1.4 Kapasitas Pabrik Etilen Glikol Indonesia 10

Tabel 1.5 Perbandingan Proses Pembuatan Etilen Glikol 15

Tabel 1.6 Daftar Harga Masing-Masing Senyawa 16

Tabel 1.7 Harga $\Delta H^{\circ}f$ Masing-Masing Komponen 20

Tabel 1.8 Harga $\Delta G^{\circ}f$ Masing-Masing Komponen 22

Tabel 3.1 Spesifikasi Reaktor 1 38

Tabel 3.2 Spesifikasi Reaktor 1 (Lanjutan) 39

Tabel 3.3 Spesifikasi Reaktor 2 39

Tabel 3.4 Spesifikasi Reaktor 2 (Lanjutan) 40

Tabel 3.5 Spesifikasi Reaktor 3 41

Tabel 3.6 Spesifikasi Reaktor 3 (Lanjutan) 42

Tabel 3.7 Spesifikasi Menara Distilasi 42

Tabel 3.7 Spesifikasi Menara Distilasi (Lanjutan) 43

Tabel 3.9 Spesifikasi Akumulator 43

Tabel 3.10 Spesifikasi Akumulator (Lanjutan) 44

Tabel 3.11 Spesifikasi Tangki Penyimpanan C_2H_4O 44

Tabel 3.12 Spesifikasi Tangki C_2H_4O (Lanjutan) 45

Tabel 3.13 Spesifikasi Tangki Penyimpanan H_2O 45

Tabel 3.14 Spesifikasi Tangki H_2O (Lanjutan) 46

Tabel 3.15 Spesifikasi Tangki Penyimpanan $C_2H_6O_2$ 46
Tabel 3.16 Spesifikasi Tangki $C_2H_6O_2$ 47
Tabel 3.17 Spesifikasi Pompa 1 47
Tabel 3.18 Spesifikasi Pompa 1 (Lanjutan) 48
Tabel 3.19 Spesifikasi Pompa 2 48
Tabel 3.19 Spesifikasi Pompa 2 (Lanjutan) 49
Tabel 3.21 Spesifikasi Pompa 3 49
Tabel 3.22 Spesifikasi Pompa 3 (Lanjutan) 50
Tabel 3.23 Spesifikasi Pompa 4 50
Tabel 3.24 Spesifikasi Pompa 4 (Lanjutan) 51
Tabel 3.25 Spesifikasi Pompa 5 51
Tabel 3.26 Spesifikasi Pompa 5 (Lanjutan) 52
Tabel 3.27 Spesifikasi Pompa 6 52
Tabel 3.28 Spesifikasi Pompa 6 (Lanjutan) 53
Tabel 3.29 Spesifikasi Pompa 7 53
Tabel 3.30 Spesifikasi Pompa 7 (Lanjutan) 54
Tabel 3.31 Spesifikasi Condensor 54
Tabel 3.32 Spesifikasi Condensor (Lanjutan) 55
Tabel 3.33 Spesifikasi Reboiler 56
Tabel 3.34 Spesifikasi Reboiler (Lanjutan) 57
Tabel 3.35 Spesifikasi Cooler 1 57
Tabel 3.36 Spesifikasi Cooler 1 (Lanjutan) 58
Tabel 3.37 Spesifikasi Heater 1 58

Tabel 3.38 Spesifikasi Heater 1 (Lanjutan) 59
Tabel 3.39 Spesifikasi Heater 2 59
Tabel 3.40 Spesifikasi Heater 2 (Lanjutan) 60
Tabel 3.41 Spesifikasi Cooler 2 61
Tabel 3.42 Spesifikasi Cooler 2 (Lanjutan) 62
Tabel 3.43 Neraca Massa Total 62
Tabel 3.44 Neraca Massa Reaktor 1 63
Tabel 3.45 Neraca Massa Reaktor 2 63
Tabel 3.46 Neraca Massa Reaktor 3 64
Tabel 3.47 Neraca Massa Menara Distilasi 64
Tabel 3.48 Neraca Panas Reaktor 1 65
Tabel 3.49 Neraca Panas Reaktor 2 65
Tabel 3.50 Neraca Panas Reaktor 3 65
Tabel 3.51 Neraca Panas Reaktor 3 (Lanjutan) 66
Tabel 3.52 Neraca Panas Menara Distilasi 66
Tabel 3.53 Neraca Panas Condensor 66
Tabel 3.54 Neraca Panas Reboiler 67
Tabel 3.55 Neraca Panas Cooler 1 67
Tabel 3.56 Neraca Panas Heater 1 67
Tabel 3.57 Neraca Panas Heater 2 67
Tabel 3.58 Neraca Panas Cooler 2 68
Tabel 4.1 Spesifikasi Seluruh Bangunan Pabrik 75
Tabel 4.2 Spesifikasi Seluruh Bangunan Pabrik (Lanjutan) 76

Tabel 4.3 Kelebihan dan Kekurangan Pendirian Pabrik 83
Tabel 4.4 Jumlah Karyawan 95
Tabel 4.5 Jumlah Karyawan (Lanjutan) 96
Tabel 4.6 Jumlah Gaji Karyawan 97
Tabel 4.7 Jumlah Gaji Karyawan (Lanjutan) 98
Tabel 4.8 Jumlah Gaji Karyawan (Lanjutan) 99
Tabel 4.9 Jam Kerja Karyawan Shift 101
Tabel 4.10 Jadwal Kerja Karyawan Shift 102
Tabel 5.1 Kualitas Air Proses 108
Tabel 5.1 Kualitas Air Proses (Lanjutan) 108
Tabel 5.3 Kualitas Air Pendingin 109
Tabel 5.4 Syarat Umpan Boiler 110
Tabel 5.5 Kebutuhan Air Pendingin 119
Tabel 5.6 Kebutuhan Air Pemanas 120
Tabel 5.7 Kebutuhan Domestik dan Lainnya 121
Tabel 5.8 Total Kebutuhan Air 121
Tabel 5.9 Kebutuhan Listrik Unit Proses 123
Tabel 5.10 Kebutuhan Listrik Unit Utilitas 123
Tabel 5.11 Kebutuhan Listrik Unit Utilitas (Lanjutan) 124
Tabel 5.12 Kebutuhan Listrik Total 125
Tabel 5.13 Kebutuhan Listrik Total (Lanjutan) 126
Tabel 5.14 Spesifikasi Pompa Utilitas 129
Tabel 5.15 Spesifikasi Pompa Utilitas (Lanjutan) 130

Tabel 5.16 Spesifikasi Pompa Utilitas (Lanjutan)..... 131
Tabel 5.17 Spesifikasi Bak Utilitas..... 132
Tabel 5.18 Spesifikasi Tangki Utilitas..... 132
Tabel 5.19 Spesifikasi Tangki Utilitas (Lanjutan)..... 133
Tabel 5.20 Spesifikasi Tangki Utilitas (Lanjutan)..... 134
Tabel 5.21 Spesifikasi Clarifier..... 134
Tabel 5.22 Saringan Pasir Utilitas..... 135
Tabel 5.23 Spesifikasi Cooling Tower..... 136
Tabel 6.1 Indeks Harga..... 138
Tabel 6.2 Cost Engineering Plant..... 140
Tabel 6.3 Harga Alat Proses..... 141
Tabel 6.4 Harga Alat Utilitas dari dalam negeri..... 141
Tabel 6.5 Harga Utilitas dari luar negeri..... 144
Tabel 6.6 Physical Plant Cost (PPC)..... 145
Tabel 6.7 Direct Plant Cost (DPC)..... 146
Tabel 6.8 Fixed Capital Investment (FCI)..... 146
Tabel 6.9 Working Capital Investment (WCI)..... 147
Tabel 6.10 Direct Manufacturing Cost (DMC)..... 148
Tabel 6.11 Indirect Manufacturing Cost (IMC)..... 149
Tabel 6.12 Fixed Manufacturing Cost (FMC)..... 150
Tabel 6.13 Total Manufacturing Cost..... 150
Tabel 6.14 General Expense (GE)..... 151
Tabel 6.15 Total Production Cost..... 151

Tabel 6.16 Annual Fixed Manufacturing Cost (Fa) 155

Tabel 6.17 Annual Regulated Expenses (Ra)..... 155

Tabel 6.18 Annual Variable Value (Va)..... 156

Tabel 6.19 Annual Sales Value (Sa) 156

Tabel 6.20 Analisa Risiko Pabrik..... 159

Tabel 6.21 Hasil Analisa Kelayakan 161

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Grafik Data Impor Etilen Glikol..... 6

Gambar 1.2 Grafik Data Ekspor Etilen Glikol..... 8

Gambar 1.3 Struktur Kimia Etilen Oksida..... 12

Gambar 1.4 Struktur Kimia Etilen Glikol..... 13

Gambar 3.1Diagram Alir Kualitatif Etilen Glikol..... 35

Gambar 3.2 Diagram Alir Kuantitatif Etilen Glikol..... 35

Gambar 4.1 Tata Letak Pabrik..... 77

Gambar 4.2 Tata Letak Area Proses..... 80

Gambar 4.3 Struktur Organisasi Pabrik..... 86

Gambar 5.1 Diagram Alir Utilitas..... 106

Gambar 6.1 Grafik Indeks CEPCI..... 139

Gambar 6.2 Grafik Evaluasi Ekonomi..... 158

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A Perancangan Pabrik **171**

LAMPIRAN B Process Engineering Flow Diagram **208**

LAMPIRAN C Kartu Konsultasi Bimbingan..... **210**

DAFTAR LAMBANG/NOTASI/SINGKATAN

T = Temperatur, ˚C

P = Tekanan, atm

ID = Inside Diameter, in

OD = Outside Diameter, in

ts = Tebal Shell, in

th = Tebal Head, in

D = Diameter, m

H = Tinggi, m

Vt = Volume Tangki, m^3

Vs = Volume Shell, m^3

Vh = Volume Head, m^3

E = Efisiensi Pengelasan

f = Allowable Stress, psia

icr = Inside Corner Radius, in

r = Jari-jari Dish, in

Re = Bilangan Reynold

Sg = Specific Gravity

P = Power Motor, hP

η = Efisiensi, %

Wf = Total Head, ft

V = Laju Alir Volumetrik, m^3/jam

m = Laju Alir Massa, kg/jam

ρ = Densitas, kg/m^3

μ = Viskositas, cP

A = Luas Penampang, ft^2

t = Waktu, jam

X = Konversi, %

Qs = Kebutuhan Steam, kg

Qc = Kebutuhan Air Pendingin, kg

Ms = Massa Steam, kg

Di = Diameter Pengaduk, m

Zi = Jarak Pengaduk dari Dasar Tangki, in

L = Lebar Pengaduk, in

N = Kecepatan Putaran, rpm

UD = Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh Desain, Btu/jam.ft^2.K

UC = Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh Bersih, Btu/jam.ft^2.K

Rd = Faktor Pengotor, Btu/jam.ft^2.K

p = Panjang, m

l = Lebar, m

k = Konduktivitas Termal, Btu/jam.ft^2.K

c = Panas Spesifik, Btu/lb.K

JH = Faktor Perpindahan Panas

hi = Inside Film Coefficient, Btu/jam.ft^2.K

ho = Outside Film Coefficient, Btu/jam.ft^2.K

LMTD = Log Mean Temperature Difference, ˚C

ABSTRAK

Pabrik etilen glikol berkapasitas 50.000 ton/tahun direncanakan berdiri di Kawasan Industri Cilegon, Banten, pada tahun 2031 untuk memenuhi kebutuhan industri tekstil dan plastik domestik serta mengurangi ketergantungan impor. Pabrik ini dikategorikan sebagai industri berisiko rendah hingga menengah. Proses produksi menggunakan metode hidrasi langsung etilen oksida dengan air fase cair secara termal tanpa katalis pada temperatur 191,9°C dan tekanan 4,55 atm. Pemurnian produk dilakukan menggunakan evaporator efek majemuk dan kolom distilasi fraksinasi vakum untuk memisahkan kandungan air secara efisien. Secara ekonomi, pabrik ini membutuhkan modal tetap sebesar Rp305.228.461.485 dan modal kerja sebesar Rp361.303.495.000. Analisis kelayakan menunjukkan nilai ROI sebelum pajak 29% dan setelah pajak 22%, dengan POT 2,58 tahun (sebelum pajak) dan 3,08 tahun (setelah pajak). Nilai BEP diperoleh sebesar 43,45%, SDP 28,36%, serta DCFR sebesar 25,36%. Berdasarkan parameter tersebut, pabrik etilen glikol ini dinyatakan layak untuk didirikan.

Kata Kunci: Etilen Glikol, Hidrasi Langsung, Etilen Oksida, Pra-rancangan Pabrik, Evaluasi Ekonomi, Cilegon Banten

ABSTRACT

An ethylene glycol plant with a capacity of 50,000 tons/year is planned to be established in the Cilegon Industrial Estate, Banten, in 2031 to meet domestic textile and plastic industry demands and reduce import dependence. This plant is categorized as a low-to-medium-risk industry. The production process utilizes the direct hydration method of ethylene oxide with liquid-phase water thermally without a catalyst at a temperature of 191.9°C and a pressure of 4.55 atm. Product purification is carried out using a multiple-effect evaporator and a vacuum fractional distillation column to separate the water content efficiently. Economically, this plant requires a fixed capital investment of IDR 305,228,461,485 and a working capital investment of IDR 361,303,495,000. Feasibility analysis shows a Return on Investment (ROI) of 29% before tax and 22% after tax, with a Pay Out Time (POT) of 2.58 years (before tax) and 3.08 years (after tax). The Break-Even Point (BEP) is obtained at 43.45%, the Shut-Down Point (SDP) at 28.36%, and the Discounted Cash Flow Rate (DCFR) at 25.36%. Based on these parameters, this ethylene glycol plant is declared feasible to be established.

Keywords: Ethylene Glycol, Direct Hydration, Ethylene Oxide, Plant Design, Economic Evaluation, Cilegon Banten

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan aktivitas pada sektor industri serta pertumbuhan populasi konsumen di Indonesia berdampak langsung terhadap melonjaknya kebutuhan bahan kimia nasional. Sebagian besar industri manufaktur menempatkan senyawa kimia spesifik sebagai bahan baku pembantu maupun bahan penunjang untuk menjamin kelangsungan proses produksinya. Salah satu komoditas penunjang yang memiliki peran penting dalam struktur industri kimia saat ini adalah etilen glikol (EG). Etilen glikol bertindak sebagai senyawa antara (*intermediate chemical*) yang banyak diserap oleh industri petrokimia serta berbagai sektor industri hilir. Berdasarkan data alokasi komersial, mayoritas pemanfaatan etilen glikol—yaitu sebesar 97,34% diserap sebagai bahan baku utama pada industri tekstil dan plastik, khususnya untuk sintesis serat poliester serta pembuatan *polyethylene terephthalate* (PET). Sementara itu, 2,66% sisa dari total konsumsi nasional dialokasikan untuk bahan baku tambahan pada pembuatan perekat, pelarut (*solvent*), alkil resin, cat, tinta cetak, kosmetik, serta sebagai agen antibeku dan cairan pendingin (*coolant*) (McKetta, 1984).

Untuk meminimalkan volume impor dan mengamankan pasokan bahan baku dalam negeri, pendirian pabrik etilen glikol baru di Indonesia menjadi prioritas yang nyata. Selain berfungsi sebagai langkah substitusi impor untuk

menekan laju keluarnya devisa negara, pengembangan industri ini juga ditujukan untuk meningkatkan nilai tambah komoditas pada rantai petrokimia nasional, memperkuat struktur manufaktur domestik, mendorong pertumbuhan ekonomi, serta menciptakan lapangan kerja baru bagi tenaga kerja lokal. Di samping pemenuhan target pasar domestik, keberadaan pabrik ini juga ditargetkan dapat memperkuat posisi Indonesia sebagai eksportir penunjang kebutuhan etilen glikol di pasar regional, terutama untuk wilayah ASEAN.

Secara komersial, etilen glikol diproduksi melalui reaksi hidrasi etilen oksida dengan air. Berdasarkan tinjauan perancangan proses oleh Towler & Sinnott (2013), proses hidrasi komersial ini dipilih karena memiliki tingkat konversi yang sangat tinggi mendekati 100% terhadap etilen oksida serta teknologinya yang telah mapan (*mature technology*). Namun, tantangan utama dalam perancangan reaktor proses ini adalah menjaga selektivitas produk utama (monoetilen glikol) agar tetap tinggi dan menekan pembentukan produk samping seperti dietilen glikol (DEG) dan trietilen glikol (TEG). Untuk mencapai hal tersebut, reaksi dijalankan dengan menggunakan umpan air yang sangat berlebih (*large excess of water*) dengan rasio molar air terhadap etilen oksida yang besar.

Konsekuensi dari penggunaan air yang berlebih ini menjadikan pabrik etilen glikol sebagai proses yang intensif energi, khususnya pada bagian pemisahan dan pemurnian produk hilir (*downstream purification*). Oleh karena itu, perancangan sistem pemurnian memerlukan integrasi evaporator

efek majemuk (*multiple-effect evaporators*) untuk menguapkan kandungan air secara efisien sebelum produk dimurnikan lebih lanjut menggunakan menara distilasi fraksinasi yang dioperasikan pada kondisi vakum guna mencegah degradasi termal. Selain itu, karena reaksi hidrasi bersifat eksotermik, aspek integrasi energi (*energy integration*) menjadi sangat krusial agar panas reaksi dapat dimanfaatkan kembali di dalam sistem proses untuk meminimalkan biaya operasi (*operating costs*), mengingat etilen glikol merupakan produk kimia komoditas volume besar (*bulk chemical*) yang profitabilitasnya sangat bergantung pada efisiensi konversi bahan baku dan konsumsi energi pabrik (Towler & Sinnott, 2013).

Dengan mempertimbangkan ketersediaan bahan baku, prospek pasar yang menjanjikan, serta urgensi pengembangan industri petrokimia nasional berbasis efisiensi proses tersebut, maka dilakukan pra-rancangan pabrik etilen glikol dari etilen oksida dan air. Pra-rancangan pabrik ini disusun secara komprehensif berdasarkan bidang keilmuan Teknik Kimia, yang mencakup perhitungan neraca massa dan energi, perancangan serta spesifikasi peralatan utama (reaktor, evaporator, dan kolom distilasi), peninjauan aspek keselamatan (*plant safety*), analisis dampak lingkungan, hingga evaluasi keekonomian untuk menguji kelayakan pendirian pabrik secara utuh.

1.2 Penentuan Kapasitas

Penentuan kapasitas rancangan pabrik etilen glikol merupakan tahapan krusial karena akan memengaruhi aspek teknis, ekonomis, serta finansial dalam perancangan secara keseluruhan. Kapasitas pabrik ini ditentukan

melalui analisis pasokan (*supply*) dan permintaan (*demand*). Data pasokan diperoleh dari akumulasi volume produksi dalam negeri dan impor, sedangkan data permintaan diestimasi berdasarkan volume ekspor serta konsumsi domestik. Berdasarkan hasil analisis dan proyeksi kebutuhan hingga tahun 2031, dilakukan perhitungan nilai pasokan (*supply*) dan permintaan (*demand*) akumulatif sebagai dasar pertimbangan dalam menetapkan kapasitas rancangan pabrik etilen glikol. Adapun rincian tahapan penentuan kapasitas perancangan pabrik etilen glikol adalah sebagai berikut:

1.2.1 Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku utama yang digunakan dalam proses produksi etilen glikol adalah etilen oksida dan air sebagai reaktan. Di Indonesia, terdapat satu perusahaan manufaktur yang memproduksi etilen oksida, yaitu PT Polychem Indonesia Tbk yang memiliki kapasitas produksi mencapai 210.000 ton/tahun. Dalam perencanaan pabrik ini, pasokan etilen oksida direncanakan akan dipenuhi melalui kerja sama dengan PT Polychem Indonesia Tbk sebagai mitra penyedia bahan baku utama.

Tabel 1.1 Kapasitas Pabrik Etilen Oksida di ASEAN

Nama Perusahaan	Lokasi	Kapasitas Ton/Tahun
PT Polychem Indonesia Tbk	Indonesia	210.000
Lotte Chemical Corporation	Korea	150.000
Indorama Venture Public Company Ltd	Thailand	1.300.000

(Icis,1996)

1.2.2 Kebutuhan Etilen Glikol di Indonesia

Rencana pendirian pabrik etilen glikol dijadwalkan pada tahun 2031. Oleh karena itu, proyeksi kebutuhan etilen glikol dalam negeri disusun berdasarkan data yang dirilis oleh Badan Pusat Statistik untuk periode 2021-2025. Data tersebut mencakup informasi mengenai volume impor, ekspor, produksi, serta tingkat konsumsi etilen glikol di Indonesia. Adapun data impor etilen glikol dapat dilihat pada Tabel 1.2

Tabel 1.2 Data Impor Etilen Glikol di Indonesia

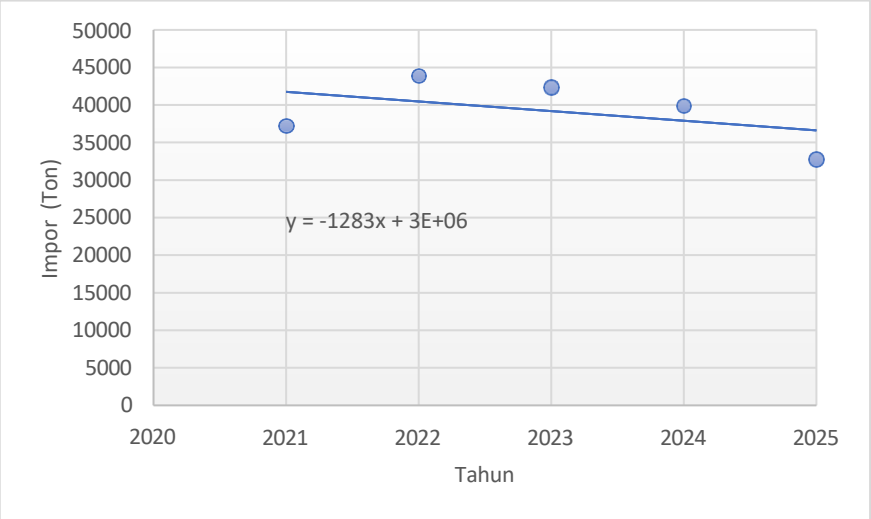
No.	Tahun	Impor
		Ton/Tahun
1	2021	37.188,215
2	2022	43.822,594
3	2023	42.304,479
4	2024	39.872,575
5	2025	32.748,04204

(Badan Pusat Statistika, 2026)

Berdasarkan data impor etilen glikol periode 2021-2025, terlihat bahwa data impor etilen glikol menunjukkan tren yang berfluktuasi. Setelah mengalami kenaikan signifikan sebesar 17,84% pada tahun 2022 dengan volume sebesar 43.822,594 ton/tahun, kemudian cenderung mengalami penurunan hingga mencapai 32.748,042 ton/tahun pada tahun 2025. Secara keseluruhan (2021-2025), laju penurunan rata-rata akumulatif (*Compound Annual Growth Rate*)

menunjukkan penurunan sekitar 3,13% setiap tahunnya. Namun, jika ditinjau sejak titik puncak pada tahun 2022 hingga 2025, laju penurunan tren jauh lebih signifikan, yaitu rata-rata sebesar 9,25% setiap tahunnya.

Dari Tabel 1.2 dapat digunakan sebagai acuan untuk membuat grafik yang menujukan proyeksi kebutuhan Etilen Glikol di Indonesia pada tahun 2031.



Gambar 1.1 Grafik Data Impor Etilen Glikol

Berdasarkan Gambar 1.1 dapat diketahui kebutuhan impor etilen glikol di Indonesia, di mana pada tahun 2031 sebesar:

y = -12830x + 3E+06

Di mana :

x = tahun

y = kebutuhan produk pada tahun ke-x (ton/tahun)

y = -12830x + 3E+06

y = -12830 (2031) + 3E+06

y = 394.227 ton/tahun

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, dapat disimpulkan bahwa kebutuhan impor etilen glikol di Indonesia pada tahun 2031 diproyeksikan sebesar 394.227 ton/tahun. Data proyeksi ini selanjutnya akan digunakan sebagai basis data fundamental dalam menentukan kapasitas rancangan pabrik etilen glikol yang akan didirikan.

Selain meninjau pemenuhan kebutuhan dari sektor impor, analisis terhadap data ekspor etilen glikol juga diperlukan untuk memahami posisi dan kontribusi industri domestik di pasar global. Melalui integrasi kedua data perdagangan ini, potensi pasar dan urgensi peningkatan kapasitas produksi dalam negeri dapat dipetakan secara lebih komprehensif.

Sebagaimana halnya data impor, data ekspor etilen glikol Indonesia pada periode yang sama juga dianalisis menggunakan metode regresi linear untuk menentukan tren serta besarnya perubahan volume penjualan ke luar negeri dari waktu ke waktu. Hasil pengolahan data ekspor tersebut disajikan secara detail pada Tabel 1.3 dan diilustrasikan melalui grafik pada Gambar 1.2 berikut.

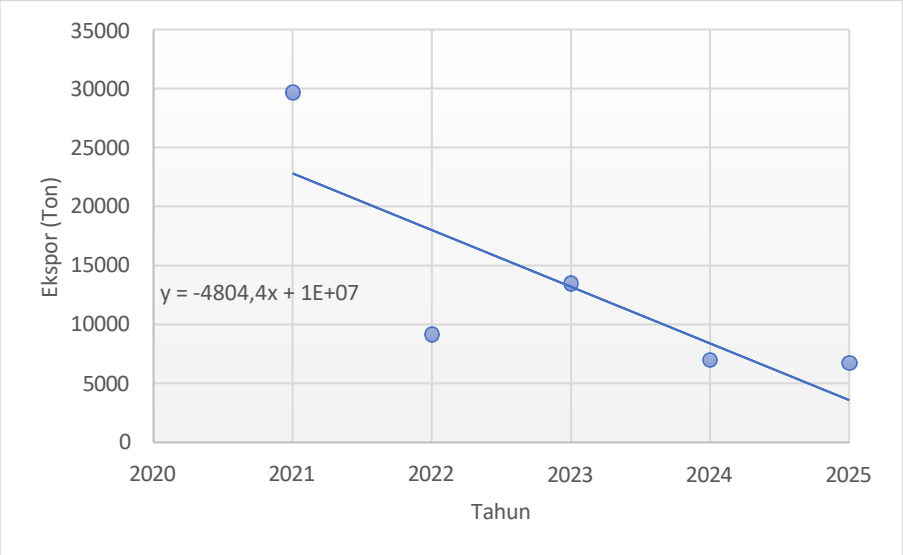
Tabel 1.3 Data Ekspor Etilen Glikol di Indonesia

No.	Tahun	Ekspor
		Ton/Tahun
1	2021	29.670,832

Tabel 1.3 Data Ekspor EG (Lanjutan)

2	2022	9.124,5635
3	2023	13.478,1
4	2024	6.997,82535
5	2025	6.712,351

(Badan Pusat Statistika, 2026)



Gambar 1.2 Grafik Data Ekspor Etilen Glikol

Berdasarkan Gambar 1.2 di atas dapat diketahui kebutuhan ekspor Etilen Glikol di Indonesia, di mana pada tahun 2031 sebesar:

y = -4804,4x + 1E+07

Di mana :

x = tahun

y = kebutuhan produk pada tahun ke-x (ton/tahun)

y = -4804,4x + 1E+07

y = -4804,4 (2031) + 1E+07

y = 242.263,6 ton/tahun

Informasi di atas dapat digunakan untuk mengetahui jumlah kebutuhan etilen glikol sebagai perhitungan lanjutan dalam menentukan kapasitas pabrik yang akan didirikan.

Jumlah Kebutuhan = *Demand – Supply*

= (Konsumsi + Ekspor) – (Produksi + Impor)

= (265.576,9565 + 242.263,6) – (0 + 393.227)

= 113.613,5565 ton/tahun

Range Kapasitas 60% per tahun

= 60% x 113613,5565 ton/tahun

= 68.168,1339 ton/tahun

Pabrik yang akan didirikan tentunya perlu mempertimbangkan ketersediaan bahan baku yang melimpah supaya *supply* bahan baku *sustainable*. Produsen etilen oksida di Indonesia adalah PT Polychem Indonesia dengan kapasitas 210.000 ton/tahun.

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan dengan mempertimbangkan hasil perhitungan perkiraan impor etilen glikol pada tahun 2031, maka akan diperoleh kapasitas produksi etilen glikol yang direncanakan adalah 50.000 ton/tahun.

1.2.3 Kapasitas Pabrik Etilen Glikol di Indonesia

Penentuan kapasitas pabrik etilen glikol juga dipertimbangkan berdasarkan kapasitas etilen glikol yang telah berjalan. Daftar pabrik etilen glikol di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 1.4 berikut

Tabel 1.4 Kapasitas Pabrik Etilen Glikol Indonesia

Pabrik	Kapasitas (ton/tahun)
PT Polychem Indonesia	233.600

Berdasarkan beberapa pertimbangan dari data di atas, direncanakan pada tahun 2031 akan dibangun pabrik etilen glikol dengan kapasitas 50.000 ton/tahun. Hal tersebut didasari dengan alasan karena proyeksi kebutuhan etilen glikol pada tahun 2031 yaitu 68.168,1339 ton/tahun. Sehingga pabrik etilen glikol dengan kapasitas 50.000 ton/tahun ini layak dan menguntungkan untuk didirikan. Selain itu, ada beberapa alasan lain kenapa pabrik etilen glikol perlu ada lagi di Indonesia, dengan alasan sebagai berikut :

a Pendirian pabrik etilen glikol dapat membantu memenuhi kebutuhan dalam negeri.

b Dapat mengekspor ke negara lain.

c Mengurangi ketergantungan terhadap impor etilen glikol.

d Menambah devisa negara.

e Membuka lapangan pekerjaan baru.

f Mendorong didirikannya pabrik baru yang mengolah lebih lanjut etilen glikol menjadi produk yang siap dipasarkan.

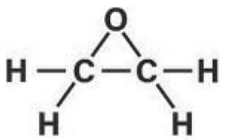
1.3 Tinjauan Pustaka

1.3.1 Etilen Oksida

Etilen oksida dengan rumus molekul C_2H_4O merupakan senyawa basa yang berisomer dengan asetaldehida dan vinil alkohol. Sementara

itu, etilen glikol pertama kali ditemukan oleh ahli kimia asal Prancis, Charles-Adolphe Wurtz, pada tahun 1859. Pada Perang Dunia I, etilen glikol mulai digunakan sebagai bahan baku senjata kimia gas beracun (*mustard gas*). Secara fisik, etilen oksida berbentuk gas tidak berwarna, sangat mudah terbakar, bersifat karsinogenik, dan memiliki bau yang agak manis. Dalam industri dan kehidupan sehari-hari, etilen oksida diproduksi untuk menghasilkan detergen, pengental, plastik, dan pelarut, serta digunakan sebagai bahan baku senyawa kimia organik seperti etilen glikol, etanolamina, dan glikol sederhana (Rebsdat & Mayer, 2012).

Pada skala industri modern, etilen oksida utamanya diproduksi melalui proses oksidasi parsial fase gas dari etilen dengan menggunakan katalis berbasis perak (Ag) (Rebsdat & Mayer, 2012). Lebih dari sebagian besar produksi etilen oksida global kemudian dihidrasi lebih lanjut menjadi etilen glikol. Senyawa turunan ini memegang peranan yang sangat krusial sebagai bahan baku utama dalam industri pembuatan serat poliester atau *Polyethylene Terephthalate* (PET) serta digunakan secara luas sebagai agen antibeku dalam berbagai aplikasi teknik (Smith, 2005).



Gambar 1. 3 Struktur Kimia Etilen Oksida

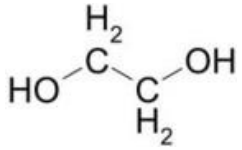
1.3.2 Etilen Glikol

Etilen glikol (1,2-etandiol) dengan rumus molekul $C_2H_6O_2$ yang biasanya disebut dengan glikol merupakan senyawa organik golongan diol, yaitu senyawa kimia yang mengandung dua gugus fungsi hidroksil (–OH) pada rantai karbonnya. Secara historis, etilen glikol pertama kali ditemukan oleh ahli kimia asal Prancis bernama Charles-Adolphe Wurtz pada tahun 1859. Penemuan ini dilakukan melalui perlakuan reaksi antara 1,2-dibromoetan dengan perak asetat yang menghasilkan etilen glikol diasetat, yang kemudian dilanjutkan dengan proses hidrolisis untuk memperoleh produk akhir berupa etilen glikol (Kirk & Othmer, 1985).

Pada masa Perang Dunia I, etilen glikol disintesis dari etilen klorohidrin dan digunakan pertama kali dalam skala praktis untuk memproduksi bahan peledak berupa etilen glikol di nitrat. Seiring dengan perkembangan teknologi proses, etilen glikol komersial saat ini diproduksi melalui proses hidrasi etilen oksida. Konversi industri ini juga menghasilkan beberapa produk sampingan bernilai ekonomi seperti dietilen glikol (DEG), trietilen glikol (TEG), dan polietilen glikol (McKetta, 1984). Pada rute modern, proses hidrasi tersebut umumnya dilangsungkan secara termal fase cair tanpa bantuan katalis pada kondisi temperatur tinggi (Rebsdat & Mayer, 2012).

Dalam kehidupan sehari-hari dan sektor industri, etilen glikol paling luas dimanfaatkan sebagai bahan baku utama dalam industri

tekstil dan plastik, khususnya pada manufaktur poliester. Senyawa ini dikonversi menjadi serat polimer yang kemudian dipintal menjadi benang filamen untuk produk kain. Selain aplikasi utama tersebut, etilen glikol juga digunakan secara luas sebagai bahan baku tambahan dalam formulasi cairan perekat (lem), solven industri, resin, cat, tinta cetak, tinta pulpen, produk kosmetik, serta sebagai agen antibeku (*antifreeze*) (McKetta, 1984).



Gambar 1.4 Struktur Kimia Etilen Glikol

1.3.3 Proses Pembuatan Etilen Glikol

a Pembuatan Etilen Glikol dari Etilen Oksida dan Air

Proses ini merupakan proses yang paling umum digunakan dalam industri. Reaksi dilakukan dengan mereaksikan etilen oksida (EO) dengan air pada kondisi temperatur dan tekanan tertentu. Reaksi tersebut bersifat eksotermik dan menghasilkan etilen glikol (EG) sebagai produk utama, dengan kemungkinan terbentuknya produk samping berupa dietilen glikol (DEG) dan trietilen glikol (TEG). Reaksi utama yang terjadi adalah sebagai berikut:

C_2H_4O (l) + H_2O (l) → HO–CH_2–CH_2–OH ..... (1)

Etilen Oksida Air Etilen Glikol

Reaksi biasanya berlangsung pada temperatur 50–70°C dan tekanan 1–3 MPa, dengan rasio mol air terhadap etilen oksida yang tinggi (20–25:1) untuk menekan pembentukan produk samping. Setelah reaksi, campuran produk dipisahkan melalui serangkaian unit evaporasi dan distilasi untuk memperoleh etilen glikol dengan kemurnian tinggi. Air berlebih disirkulasikan kembali (*recycle*) ke reaktor untuk meningkatkan efisiensi proses.

b Pembuatan Etilen Glikol dari Etilen Oksida dan Katalis

Pada proses ini, reaksi hidrasi etilen oksida dilakukan dengan bantuan katalis, seperti katalis asam atau katalis berbasis logam. Penggunaan katalis memungkinkan rasio air yang lebih rendah dibandingkan proses non-katalitik, sehingga mengurangi konsumsi energi pada tahap pemisahan. Reaksi yang terjadi secara umum sama dengan reaksi (1), namun dengan tingkat selektivitas yang lebih tinggi terhadap monoetilen glikol. Proses ini beroperasi pada temperatur 150–200 °C dan tekanan 2–3 MPa. Meskipun lebih kompleks, proses katalitik ini mampu meningkatkan perolehan (*yield*) etilen glikol serta menurunkan pembentukan produk samping berupa dietilen glikol (DEG) dan trietilen glikol (TEG).

c Pembuatan Etilen Glikol dari Etilen Carbonate

Alternatif lain adalah proses tidak langsung melalui pembentukan etilen karbonat sebagai produk antara

(*intermediate*). Etilen oksida direaksikan terlebih dahulu dengan CO_2 untuk membentuk etilen karbonat, yang kemudian dihidrolisis menjadi etilen glikol. Tahapan reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:

$C_2H_4O + CO_2 \rightarrow C_3H_4O_3$ ..... (2)

Etilen Oksida Karbon dioksida Etilen Carbonate

$C_3H_4O_3 + H_2O \rightarrow C_2H_6O + CO_2$ ..... (3)

Etilen Glikol Air Etilen Glikol Karbon dioksida

Proses ini memiliki keunggulan dari sisi pemanfaatan CO_2, namun secara industri masih terbatas karena kebutuhan unit tambahan dan biaya investasi yang lebih tinggi.

Tabel 1.5 Perbandingan Proses Pembuatan Etilen Glikol

No.	Parameter	Proses Pembuatan Etilen Glikol		
		Hidrasi Non Katalitik	Hidrasi Katalitik	Proses Etilen Carbonate
1	Bahan Baku	Etilen Oxide, Air	Etilen Oxide, Air, Katalis	Etilen Oxide, CO2, Air
2	Reaktor	CSTR / PFR	Fixed Bed Reactor	CSTR / PFR
3	Temperature	50–70 °C	150–200 °C	80–150 °C

Tabel 1.5 Perbandingan Proses Pembuatan Etilen Glikol (Lanjutan)

4	Tekanan	1–3 MPa	2–3 MPa	1–3 MPa
5	Konversi	98%	99%	99%
6	Yield	92%	90%	97%

Pemilihan proses pembuatan etil en glikol tidak hanya didasarkan pada aspek teknis, tetapi juga mempertimbangkan aspek ekonomi, ketersediaan bahan baku, dan kematangan teknologi. Berdasarkan perbandingan rute proses di atas, proses hidrasi langsung etilen oksida dengan air dipilih sebagai proses yang paling sesuai untuk perancangan pabrik etilen glikol.

Proses ini dipilih karena teknologinya yang telah mapan (*proven technology*), kemudahan dalam pengendalian operasi, serta keandalannya yang tinggi dalam skala industri besar. Meskipun memerlukan konsumsi energi pemisahan yang relatif tinggi, hal tersebut masih dapat dioptimalkan melalui perancangan sistem sirkulasi kembali (*recycle*) air dan penerapan prinsip integrasi energi. Oleh karena itu, proses hidrasi langsung etilen oksida dengan air direkomendasikan sebagai dasar perancangan pabrik etilen glikol.

Tabel 1.6 Daftar Harga Masing-Masing Senyawa

Senyawa	Mr	Harga/Ton
C_2H_4O	44	Rp 16.740.000
H_2O	18	Rp 50.000

Tabel 1.6 Daftar Harga Senyawa (Lanjutan)

$C_2H_6O_2$	62	Rp 25.000.000
CO_2	106	Rp 3.780.000
$C_2H_4O_2$	150	Rp 9.720.000

Berdasarkan Tabel 1.6 nilai potensi ekonomi dapat dihitung menggunakan rumus berikut :

Potensi Ekonomi = ∑Produk - ∑Reaktan

Potensi Ekonomi =

Reaksi 1

PE = (Etilen Glikol) – (Etilen Oksida + Air)

= Rp. 1.551.750.000,00 – Rp. 738.297.000,00

= Rp. 813.453.000,00

Reaksi 2

PE = (Etilen Glikol) – (Etilen Oksida + Katalis)

= Rp. 1.551.750.000,00 – Rp. 1.322.002.440,00

= Rp. 229.747.560,00

Reaksi 3

PE = (Etilen Glikol) – (Etilen Oksida + Air + CO_2)

= Rp. 1.551.750.000,00 – Rp. 904.654.800,00

= Rp. 647.095.200,00

Berdasarkan hasil perhitungan potensi ekonomi yang telah dilakukan, diperoleh bahwa reaksi 1 (proses hidrasi non katalitik) memberikan nilai potensi ekonomi paling besar, diikuti oleh reaksi 3 (proses etilen karbonat), dan reaksi 2 (proses hidrasi katalitik). Nilai potensi ekonomi yang lebih tinggi ini menunjukkan bahwa selisih antara nilai jual produk dan biaya pembelian bahan baku utama pada rute reaksi tersebut semakin besar.

Meskipun demikian, pemilihan proses pembuatan etilen glikol tidak hanya didasarkan pada besarnya potensi ekonomi secara teoritis semata. Rute reaksi 2 dan reaksi 3 memerlukan konfigurasi sistem proses yang jauh lebih kompleks, melibatkan penggunaan katalis, serta membutuhkan unit peralatan tambahan yang berdampak signifikan pada peningkatan biaya investasi awal (*Capital Expenditure*) dan biaya operasi (*Operational Expenditure*). Selain itu, proses etilen karbonat hingga saat ini masih memiliki keterbatasan dalam penerapannya secara komersial serta membawa risiko kegagalan teknologi (*technology risk*) yang lebih tinggi.

Oleh karena itu, setelah mempertimbangkan aspek ekonomi, teknis, dan kematangan teknologi secara menyeluruh, reaksi 1 yaitu proses hidrasi langsung etilen oksida dengan air tetap direkomendasikan sebagai basis proses yang digunakan dalam perancangan pabrik etilen glikol. Keputusan ini didasarkan pada prinsip optimalisasi ekonomi secara total, yaitu memilih rute proses yang tidak

hanya memberikan margin keuntungan finansial yang memadai, tetapi juga menjamin keandalan operasi, kemudahan dalam pengendalian proses (*process controllability*), serta memiliki profil risiko yang paling rendah dalam implementasi skala industri besar.

1.4 Tinjauan Kinetika dan Termodinamika

1.4.1 Tinjauan Kinetika

Berdasarkan buku karya Fogler yang berjudul *Elements of Chemical Reaction Engineering* edisi ke-5 (Prentice Hall, 2016, hlm. 148–151), data konstanta laju reaksi dan pemodelan kinetika hidrasi etilen oksida diperoleh menggunakan orde 1 yaitu :

$$-rA = k.\,CA.\,CB \tag{4}$$

Sehingga persamaan laju reaksinya adalah :

$$-rA = k.\,CA \tag{5}$$

Di mana,

-rA= Kecepatan reaksi Etilen Okisda, (mol/m3.jam)

K = Konstanta Kecepatan Reaksi, (1/jam)

CA = Konsentrasi Etilen Oksida, (mol/m3)

CB = Konsentrasi Air, (mol/m3)

Sehingga diperoleh konstanta laju reaksi (k) sebesar 0,311/menit atau 0,0051833/s.

1.4.2 Tinjauan Termodinamika

Tinjauan secara termodinamika ditujukan untuk mengetahui sifat termal reaksi (eksotermik atau endotermik), spontanitas reaksi (spontan atau tidak spontan), serta arah kesetimbangan reaksi (*reversible* atau *irreversible*). Reaksi pembentukan etilen glikol dari etilen oksida dan air dilangsungkan pada kondisi standar, yaitu temperatur 25°C (298,15 K) dan tekanan 1 atm, dengan persamaan reaksi kimia sebagai berikut:

$$C_2H_4O + H_2O \rightarrow C_2H_6O_2 \quad (6)$$

Penentuan sifat termal reaksi tersebut dapat diketahui melalui perhitungan entalpi reaksi standar (ΔH°_r) menggunakan data energi panas pembentukan standar (ΔH°_f) dari masing-masing komponen yang bersumber dari *Yaw's Handbook of Thermodynamic and Physical Properties of Chemical Compounds*. Nilai ΔH°_f untuk setiap senyawa pada temperatur 25°C (298,15 K) dapat dilihat pada Tabel 1.7 berikut:

Tabel 1.7 Harga $\Delta H^\circ f$ Masing-Masing Komponen

No.	Komponen	Harga ΔHf (kJ/mol)
1	C_2H_4O	-52,6
2	H_2O	-241,8
3	$C_2H_6O_2$	-389,3

(Yaws, 2003)

$$\Delta H^\circ f_{(298\ K)} = \sum \Delta H^\circ f \text{ produk} - \sum \Delta H^\circ f \text{ reaktan}$$

$$= (\Delta H^\circ f\ C_2H_6O_2) - (\Delta H^\circ f\ C_2H_4O + \Delta H^\circ f\ H_2O)$$

= -389,32 – ((-52,630) + (-241,80))

= -94,89 kJ/mol

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai entalpi reaksi standar (ΔH°_{f}) yang bernilai negatif (-). Hal tersebut menunjukkan bahwa reaksi berlangsung secara eksotermis atau melepas panas, sehingga diperlukan sistem pendingin pada reaktor untuk menjaga temperatur operasi agar tetap berada pada kondisi optimalnya. Nilai negatif ini menandakan bahwa energi yang dilepaskan dari pembentukan ikatan produk lebih besar daripada energi yang dibutuhkan untuk memutus ikatan reaktan, yang secara praktis berarti reaktor akan mengalami kenaikan suhu jika panas tersebut tidak dialirkan keluar.

Untuk mengetahui apakah reaksi tersebut dapat berlangsung secara spontan atau tidak pada kondisi standar, parameter yang digunakan adalah perubahan energi bebas Gibbs standar reaksi (ΔG°_{f}). Penentuan nilai ini dilakukan dengan menghitung selisih antara total energi bebas Gibbs pembentukan standar (ΔG°_{f}) dari produk dan reaktan. Nilai ΔG°_{f} untuk masing-masing komponen yang terlibat di dalam reaksi tersebut disajikan secara rinci sebagai berikut:

Tabel 1.8 Harga ΔG˚f Masing-Masing Komponen

No.	Komponen	Harga Δ*Gf* (kJ/kmol)
1	C_2H_4O	-13,1
2	H_2O	-228,6
3	$C_2H_6O_2$	-304,47

(Yaws, 2003)

$\Delta G^\circ f_{(298\ K)} = \sum \Delta G^\circ f$ produk - $\sum \Delta G^\circ f$ reaktan

$= (\Delta G^\circ f\ C_2H_6O_2) - (\Delta G^\circ f\ C_2H_4O + \Delta G^\circ f\ H_2O)$

$= -304,47 - ((-228,6) + (-13,1))$

$= -62,77$ kJ/mol

Dari hasil perhitungan diperoleh nilai negatif (-) yang menunjukkan reaksi tersebut berlangsung secara spontan.

$\Delta G^\circ r_{(298\ K)} = -\ R.T.lnK_{(298K)}$

$$\ln K\ (298) = \frac{\Delta^\circ Gf}{-R.T}$$

$$\ln K\ (298) = \frac{-62,77\ kJ/mol}{-\left(\frac{8,314}{1000}\right) kJ/mol\ x\ 298K}$$

$K_{(298)} = exp(25,335)$

$K_{(298)} = 1,006 \times 10^{11}$

Untuk mengetahui arah reaksi (*reversible* atau *irreversible*) dapat ditentukan dengan cara menghitung konstanta kesetimbangan pada suhu operasi 207˚C (480K) menggunakan persamaan Van Hoff sebagai berikut :

$$\ln\left(\frac{K}{K298}\right) = \frac{\Delta H298\ K}{R}\ x\ \left(\frac{1}{Treff} - \frac{1}{T}\right)$$

$$\ln\ \left(\frac{K}{1{,}006\ x\ 10^{11}}\right) = \frac{-94{,}89\ kJ/mol}{8{,}314\ x\ 10^{-3}}\ x\ \left(\frac{1}{298} - \frac{1}{480}\right)$$

$$\ln\ \left(\frac{K}{1{,}006\ x\ 10^{11}}\right) = \ exp(14{,}522)$$

$$\ln\ \left(\frac{K}{1{,}006\ x\ 10^{11}}\right) = \ 2{,}02686\ x\ 10^{6}$$

K = 2,03902 x 10^{17}

Berdasarkan perhitungan di atas diperoleh konstanta kesetimbangan sebesar 2,03902 x 10^{17}. Di mana dapat dikatakan bahwa reaksi dari pembuatan etilen glikol berlangsung secara *irreversible* (searah) karena konstanta dihasilkan lebih besar dari 1 (K>1).

BAB II

PERANCANGAN PRODUK

Untuk mencapai spesifikasi produk yang ditargetkan, perancangan proses pembuatan Etilen Glikol ini didasarkan pada tiga pilar utama, yaitu: kesesuaian spesifikasi bahan baku, optimalisasi parameter operasi proses, dan sistem pengendalian kualitas (*quality control*).

2.1 Spesifikasi Produk

Etilen glikol yang dihasilkan memiliki kemurnian sebesar 99% dengan kandungan impuritas maksimal sebesar 1%.

2.1.1 Sifat Fisis dan Kimia Produk

a Etilen Glikol

Nama Lain	: Glikol Industri ; Monoetilen Glikol (MEG)
Rumus Molekul	: $C_2H_6O_2$; $HOCH_2CH_2OH$
Berat Molekul	: 62 g/mol
Warna	: Jernih, tidak berwarna
Bau	: tidak berbau
Kemurnian	: 99%
Bentuk	: *Liquid*
Melting Point	: -13˚C
Boiling Point	: 197˚C
Solubility, Water	: *Miscible* (Larut Sempurna)
Tekanan Operasi	: 1,5 atm

Tekanan Kritis : 74,295 atm

Suhu : 30˚C

Density : 1,11336 g/ml

Temperature : 645,2˚C

Viskositas : 19,83 cP

(Mc Ketta, 1984)

2.2 Spesifikasi Bahan Baku

2.2.1 Sifat Fisis dan Kimia Bahan Baku

a Etilen Oksida

Proses pembuatan Etilen Oksida dilakukan dengan mereaksikan etilen yang memiliki kemurnian 99% berat dan udara (21% mol Oksigen dan 79% mol Nitrogen). Tahap kedua adalah reaksi hidrasi antara Etilen Oksida yang terbentuk dengan Air untuk menghasilkan produk utama berupa Etilen Glikol.

Nama Lain : Oxirane; ETO; Etana Oksida

Rumus Molekul : C_2H_4O

Berat Molekul : 44,054 g/mol

Warna : Bening, tidak berwarna

Bau : Manis seperti eter

Kemurnian : 99,5% (dengan 0,5% CH_3CHO)

Bentuk : Vapor

Melting Point : -112,2˚C

Boiling Point : 10,3˚C

Solubility, Water : *Miscible* (Larut Sempurna)

Tekanan Kritis : 71,9 bar

Suhu : 30˚C

Density : 899 kg/m^3 cairan

Temperature : 469K

(Mc Ketta, 1984)

Etilen Oksida merupakan senyawa kimia yang sangat reaktif. Tingginya reaktivitas ini disebabkan oleh besarnya tegangan cincin tiga anggotanya, sehingga sangat mudah mengalami reaksi pembukaan cincin (*ring-opening reaction*) yang bersifat sangat eksotermis. Selain itu, etilen oksida dalam fase uap sangat tidak stabil; pemanasan yang berlebihan dapat memicu reaksi dekomposisi termal swadaya (*runaway reaction*) yang berpotensi menimbulkan ledakan hebat, bahkan tanpa kehadiran udara atau oksigen.

b Air

Nama Lain : Oksidana; Akuades; Aquabides

Rumus Molekul : H_2O

Berat Molekul : 18,015 g/mol

Warna : Tidak berwarna

Bau : tidak berbau

Bentuk : *Liquid*

Melting Point : 0˚C

Boiling Point	: 100˚C
Tekanan Kritis	: 220 bar
Suhu	: 30˚C
Density	: 997,05 kg/m^3
Temperature	: 25˚C
Viskositas	: 0,891 cP

(Mc Ketta, 1984)

2.3 Pengendalian Kualitas

Pengendalian kualitas (*quality control*) di dalam pabrik bertujuan untuk menjamin bahwa seluruh tahapan proses mulai dari penerimaan bahan baku, keberlangsungan operasi di unit pencampuran dan reaktor, hingga pemurnian akhir berjalan sesuai dengan basis perancangan (*design basis*). Langkah ini sangat krusial untuk menjaga efisiensi proses, memastikan keselamatan kerja di seluruh area operasi, serta memastikan produk akhir memenuhi standar komersial industri yang ketat. Melalui sistem pemantauan yang terintegrasi, potensi penyimpangan proses dapat dideteksi secara dini sehingga kualitas produk tetap konsisten berada pada batas toleransi yang diizinkan. Pengendalian ini dilakukan dengan mengombinasikan sistem pemantauan otomatis berbasis instrumen di lapangan (*online control*) dan analisis laboratorium secara berkala (*offline analysis*) untuk meminimalkan risiko kegagalan operasi.

2.3.1 Pengendalian Kualitas Bahan Baku

Pengendalian kualitas bahan baku dilakukan secara ketat sebelum fluida umpan dialirkan menuju unit pemrosesan utama untuk memastikan tidak ada kontaminan yang mengganggu jalannya reaksi. Bahan baku etilen wajib dijaga pada tingkat kemurnian minimal 99% berat, di mana kandungan gas pengotor seperti asetilen, air, dan sulfur harus ditekan hingga skala bagian per juta atau *parts per million* (ppm) menggunakan instrumen kromatografi gas (*gas chromatography*) yang dipasang langsung pada pipa penerimaan. Pembatasan sulfur dan asetilen ini bersifat mutlak karena senyawa tersebut bertindak sebagai racun permanen bagi katalis perak (*silver-based catalyst*) yang digunakan di dalam reaktor. Kontaminasi tersebut dapat menurunkan aktivitas katalis secara drastis dan merusak keekonomian pabrik.

Sementara itu, udara umpan yang digunakan sebagai agen pengoksidasi dikendalikan secara konstan pada komposisi 21% mol oksigen dan 79% mol nitrogen. Udara ini harus melewati unit penyaringan multi-tahap (*air filter*) untuk menghilangkan partikulat debu yang dapat menyumbat pori-pori katalis, serta dialirkan melalui unit pengering (*desiccant dryer*) guna mengeliminasi kandungan uap air. Kandungan air dalam fase gas harus dihindari karena dapat memicu pembentukan asam korosif saat bercampur dengan gas oksida. Di sisi lain, air proses yang diaplikasikan pada tahap hidrasi lanjutan harus menggunakan air bebas mineral (*demineralized water*) yang diproduksi

dari unit utilitas. Kualitas air demineralisasi ini dipantau secara kontinu menggunakan sensor konduktivitas listrik untuk memastikan nilainya tetap di bawah 0,1 μS/cm dengan nilai total padatan terlarut atau *total dissolved solids* (TDS) mendekati 0 ppm, sehingga risiko pengerakan (*scaling*) dan korosi pada pipa penukar panas (*heat exchanger*) dapat sepenuhnya dieliminasi.

2.3.2 Pengendalian Kualitas Produksi

Untuk menjaga kelancaran proses, maka perlu diadakan pengawasan dan pengendalian bahan selama proses berlangsung. Pengendalian proses produksi pabrik ini meliputi alat sistem kontrol dan aliran sistem kontrol. Agar proses selalu stabil dibutuhkan instalasi alat-alat pengendalian. Alat-alat pengendali berpusat di *control room*, dilakukan dengan cara *automatic control* dengan menggunakan indikator. Apabila prosesnya terjadi penyimpangan indikator yang telah ditetapkan atau diset baik itu *flow rate* bahan baku, produk, *level control*, maupun *temperature control* dapat diketahui dari sinyal atau tanda yang diberikan seperti nyala lampu dan bunyi alarm. Beberapa alat kontrol yang harus diatur pada kondisi operasi baik tekanan maupun suhu. Alat kontrol yang harus diatur pada kondisi tertentu antara lain:

a *Temperature Control* (TC)

Pengendalian suhu sangat krusial untuk menjaga stabilitas reaksi kimia yang bersifat eksotermis dan mencegah terjadinya

panas berlebih yang tidak terkendali. Jika suhu operasi melebihi atau belum sesuai dengan batas aman yang ditetapkan, maka akan menimbulkan tanda/isyarat berupa suara dan nyala lampu alarm agar sistem penyerapan atau penambahan panas dapat segera disesuaikan.

b ***Pressure Control*** **(PC)**

Tekanan operasi merupakan parameter yang digunakan untuk memantau dan mengendalikan kekuatan desakan gas atau cairan di dalam sistem pembentukan produk dan pemisahan. Kestabilan tekanan berfungsi menjaga sistem tetap berada dalam koridor aman dan mencegah terjadinya akumulasi fasa uap yang berbahaya. Jika terjadi lonjakan tekanan yang tidak sesuai dengan kondisi yang ditetapkan, maka sistem akan mengirimkan tanda/isyarat berupa suara dan nyala lampu untuk menghindari bahaya tekanan berlebih.

c ***Flow Control*** **(FC)**

Laju alir merupakan parameter yang diatur pada aliran masuk bahan baku, aliran antar unit proses, serta aliran keluar produk. Pengaturan ini berfungsi memastikan perbandingan jumlah umpan yang masuk ke dalam sistem selalu konstan dan berada pada rasio stoikiometri yang aman. Jika terjadi fluktuasi laju alir yang belum sesuai dengan kondisi yang ditetapkan, maka akan menimbulkan tanda/isyarat berupa suara dan nyala lampu

agar pasokan aliran dapat diseimbangkan kembali secara otomatis.

d ***Level Control*** **(LC)**

Ketinggian cairan merupakan parameter yang dijaga pada unit penampung serta unit pemisahan untuk mengendalikan volume cairan yang tertahan di dalam sistem. Pengendalian ini penting untuk menjaga kontinuitas proses, efisiensi pemisahan, serta mencegah terjadinya luapan atau kekosongan cairan yang dapat mengganggu jalannya operasi. Jika ketinggian cairan belum sesuai dengan kondisi yang ditetapkan, maka akan menimbulkan tanda/isyarat berupa suara dan nyala lampu agar laju pengeluaran cairan dapat disesuaikan.

Jika pengendalian proses dilakukan terhadap kerja pada suatu harga tertentu supaya dihasilkan produk yang memenuhi standar, maka pengendalian mutu dilakukan untuk mengetahui apakah bahan baku dan produk telah sesuai dengan spesifikasi. Setelah perencanaan produksi disusun dan proses produksi dijalankan perlu adanya pengawasan pengendalian produksi agar proses berjalan dengan baik.

2.3.3 Pengendalian Kualitas Produk

Saat perencanaan produksi dijalankan, perlu adanya pengawasan dan pengendalian produk akhir agar distribusi dan penyimpanan berjalan dengan baik. Meskipun dari setiap hasil pemurnian tidak memiliki keseragaman kualitas yang mutlak, tetapi pada dasarnya

produk akhir itu mempunyai standar komersial yang telah ditetapkan. Dengan adanya standar kualitas dapat memperoleh mutu produk yang sesuai spesifikasi pasar, jumlah kemurnian senyawa utama yang sesuai dengan rencana, serta penekanan kadar zat pengotor (*impurities*) yang tepat sesuai jadwal.

Oleh karena itu, diperlukan pengawasan serta pengendalian terhadap produk yang keluar dari sistem dengan cara *system control* fase cair, sehingga didapatkan produk yang berkualitas tinggi, mengurangi adanya kontaminasi atau kerusakan pada tangki penyimpanan, dapat meningkatkan nilai jual serta efisiensi kerja kilang, dan dapat dipasarkan secara global. Pengendalian kualitas produk akhir ini berpusat di *control room* menggunakan sistem indikator otomatis. Apabila terjadi penyimpangan mutu produk yang berada di luar batas toleransi yang telah diset—baik itu nilai kemurnian produk utama, batas maksimal kandungan air, kandungan senyawa samping, maupun kestabilan sifat fisik seperti densitas produk—maka dapat diketahui dari sinyal atau tanda yang diberikan seperti nyala lampu dan bunyi alarm.

Beberapa parameter kualitas produk yang harus diatur pada kondisi tertentu antara lain:

a Tingkat Kemurnian Komponen Utama

Parameter mutu yang dipatok pada batasan nilai persentase minimal yang telah diset di dalam sistem pengeluaran akhir.

Pengendalian kemurnian ini sangat krusial untuk menjamin bahwa produk yang dihasilkan memenuhi kualifikasi standar perdagangan industri. Jika kadar komponen utama menurun atau belum sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan, maka akan menimbulkan tanda/isyarat berupa suara dan nyala lampu alarm agar aliran produk dapat dialihkan dari tangki utama untuk mencegah penurunan mutu massal.

b Batas Maksimal Kandungan Air (*Water Content*)

Parameter yang digunakan untuk memantau dan membatasi jumlah fraksi air yang ikut terbawa di dalam produk akhir. Kestabilan kadar air berfungsi menjaga kualitas fisik senyawa agar tidak menurunkan daya guna produk saat diaplikasikan oleh konsumen di industri hilir. Jika terjadi lonjakan kandungan air yang melebihi kondisi yang ditetapkan, maka sistem akan mengirimkan tanda/isyarat berupa suara dan nyala lampu agar proses pemurnian ulang dapat segera dilakukan.

c Batas Maksimal Produk Samping Dan Pengotor

Parameter yang diatur untuk membatasi kemunculan senyawa-senyawa lain yang terbentuk selama proses berlangsung. Pengaturan ini berfungsi memastikan bahwa akumulasi zat pengotor tetap berada dalam skala minimal yang aman dan tidak merusak sifat kimia khas dari produk utama. Jika terjadi fluktuasi kadar pengotor yang belum sesuai dengan

kondisi yang ditetapkan, maka akan menimbulkan tanda/isyarat berupa suara dan nyala lampu agar sistem dapat mengisolasi produk tersebut secara otomatis.

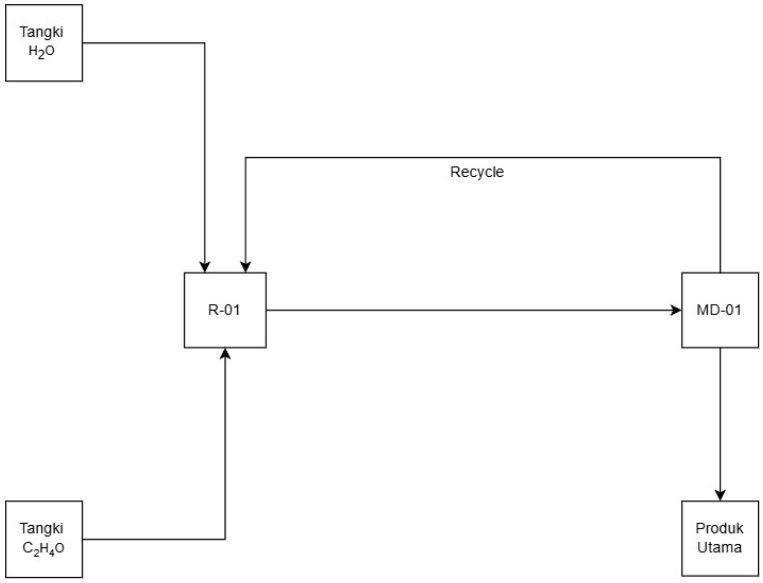
d Kestabilan Sifat Fisik (Densitas)

Parameter fisik yang dijaga pada aliran produk akhir sebagai indikator cepat untuk menilai konsistensi mutu fase cair sebelum memasuki tahapan pengemasan atau penyimpanan. Pengendalian densitas penting untuk memastikan tidak adanya gelembung gas atau fase asing yang terperangkap di dalam cairan produk. Jika nilai densitas yang terukur menyimpang atau belum sesuai dengan kondisi standar yang ditetapkan, maka akan menimbulkan tanda/isyarat berupa suara dan nyala lampu agar laju pengeluaran produk menuju tangki penyimpanan dapat disesuaikan.

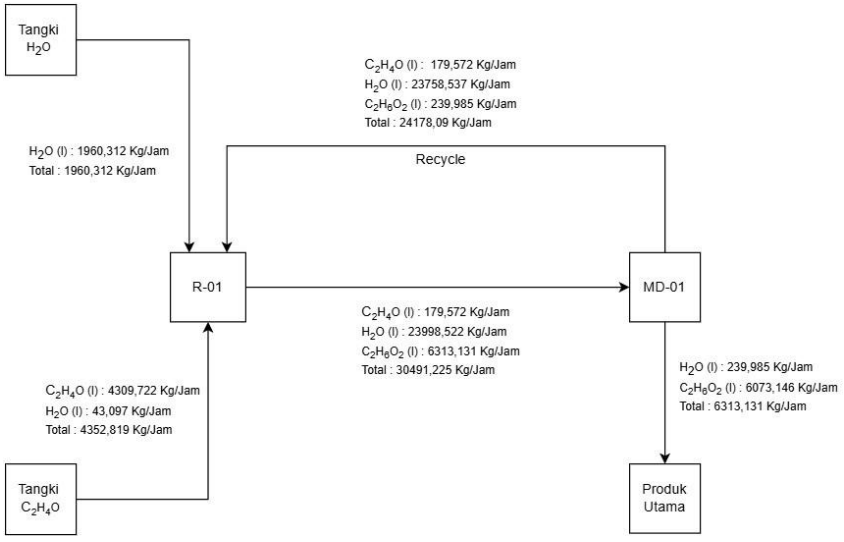
BAB III

PERANCANGAN PROSES

3.1 Diagram Alir Proses dan Material



Gambar 3. 1 Diagram Alir Kualitatif Etilen Glikol



Gambar 3. 2 Diagram Alir Kuantitatif Etilen Glikol

3.2 Uraian Proses

Proses pembuatan etilen glikol dengan proses hidrasi langsung menggunakan bahan baku etilen oksida dan air. Bahan baku etilen oksida dengan kemurnian 99,5% yang disimpan dalam wujud cair dengan tekanan 2,04 atm dan suhu 30˚C. Bahan baku kedua berupa air disimpan dalam wujud cair dengan tekanan 1 atm dan suhu 30˚C. Kemudian etilen oksida dan air dengan perbandingan 1:14 berat, dipompa menggunakan pompa masing-masing yaitu P-02 dan P-01, yang sekaligus menaikkan tekanannya menjadi 4,55 atm menuju sistem reaksi. Sebelum memasuki reaktor, aliran etilen oksida dari tangki T-01 dilewatkan terlebih dahulu ke dalam penukar panas HE-01 untuk dinaikkan suhunya dari 30˚C hingga mencapai suhu operasi reaktor sebesar 55˚C.

Sementara itu, aliran hasil pemisahan dari menara distilasi MD-01 yang didominasi oleh air sisa reaksi dikembalikan ke sistem reaksi sebagai aliran *recycle*. Aliran *recycle* kemudian didinginkan bersama air umpan dari T-02 di dalam *Cooler* CL-02 untuk mencapai suhu masuk R-01. Campuran umpan tersebut selanjutnya dialirkan masuk ke dalam sistem reaksi yang terdiri dari 3 buah reaktor alir tangki berpengaduk yang disusun seri, meliputi R-01, R-02, dan R-03 yang seluruhnya dijaga konstan pada suhu 55˚C dengan tekanan 4,55 atm. Di dalam reaktor pertama (R-01), etilen oksida langsung bereaksi secara eksotermis dengan air membentuk etilen glikol. Campuran produk yang keluar dari dasar R-01 dialirkan oleh Pompa P-03 menuju reaktor kedua (R-02) untuk melanjutkan konversi, dan dialirkan kembali oleh Pompa P-04

menuju reaktor ketiga (R-03) guna menyempurnakan reaksi hidrasi tersebut. Campuran produk akhir yang keluar dari bagian bawah R-03 mengalir dengan laju total 30.491,225 kg/jam dan membawa produk utama yang telah terbentuk sebesar 6.098,041 kg/jam bersama dengan sisa air berlebih.

Memasuki tahap pemurnian, campuran produk dari R-03 dipompa oleh P-05 melewati penukar panas HE-02 untuk penyesuaian suhu umpan menara. Sebelum memasuki kolom distilasi, tekanan aliran diturunkan secara drastis dari tekanan operasi reaktor 4,55 atm menjadi tekanan sebesar 1,03 atm melalui katup penurun tekanan *Pressure Reducer* (PR-01). Campuran fase cair-uap tersebut kemudian dimasukkan ke dalam Menara Distilasi MD-01 untuk dipisahkan berdasarkan perbedaan titik didih komponennya. Komponen dengan titik didih lebih rendah, yakni sisa air dan sedikit etilen oksida, akan menguap menuju bagian atas kolom, dikondensasikan di Kondensor CD-01, dan ditampung di dalam Akumulator AC-01. Sebagian kecil cairan dari akumulator dikembalikan ke menara sebagai *refluks*, sedangkan sebagian besar lainnya dialirkan kembali menuju unit Pendingin CL-01 untuk di*recycle* ke reaktor R-01.

Sementara itu, komponen dengan titik didih tinggi yang kaya akan MEG akan terakumulasi di dasar menara distilasi, di mana sebagian cairan diuapkan kembali oleh Reboiler RB-01 untuk menyuplai panas ke dalam kolom. Produk utama murni etilen glikol yang lolos dari dasar menara keluar pada temperatur tinggi 191,9˚C dengan laju alir produk sebesar 6,073,146 kg/jam. Aliran produk panas ini selanjutnya dipompa oleh P-07 melewati unit

pendingin CL-02 untuk diturunkan temperaturnya menuju kondisi penyimpanan yang aman sebelum akhirnya dialirkan ke dalam Tangki Penyimpanan produk utama (T-03).

3.3 Spesifikasi Alat

3.3.1 Spesifikasi Alat Pereaksi

a Reaktor (R-01)

Tabel 3. 1 Spesifikasi Reaktor 1

Spesifikasi Reaktor	
Kode	R-01
Fungsi	Tempat berlangsungnya reaksi etilen oksida dan air menjadi etilen glikol.
Jenis	Reaktor Alir Berpengaduk (RATB) dengan Jaket pendingin.
Jumlah	1
Harga	$ 86.100
Suhu, ˚C	55
Tekanan, atm	4,55
Waktu, jam	1,286
Bahan Konstruksi	Stainless Steel, 316 SS
Mechanical Design	
Reaktor	
Volume, m^3	1,7375
Tinggi, m	1,2954

Tabel 3. 2 Spesifikasi Reaktor 1 (Lanjutan)

Diameter, m	1,3716
Head	
Tinggi, m	0,269
Tebal, m	0,00635
Bahan	Stainless Steel, 316 SS
Pengaduk	
Jenis	*Flat blade turbine impeller*
Diameter, m	0,4672
Lebar blade, m	0,05715
Lebar baffle, m	0,1143
Putaran, rpm	106,1
Power, hP	0,72

b Reaktor (R-02)

Tabel 3.3 Spesifikasi Reaktor 2

Spesifikasi Reaktor	
Kode	R-02
Fungsi	Tempat berlangsungnya reaksi etilen oksida dan air menjadi etilen glikol.
Jenis	Reaktor Alir Berpengaduk (RATB) dengan Jaket pendingin.
Jumlah	1

Tabel 3.4 Spesifikasi Reaktor 2 (Lanjutan)

Harga	$ 86.100
Suhu, ˚C	55
Tekanan, atm	4,55
Waktu, jam	1,286
Bahan Konstruksi	Stainless Steel, 316 SS
Mechanical Design	
Reaktor	
Volume, m^3	1,7375
Tinggi, m	1,2954
Diameter, m	1,3716
Head	
Tinggi, m	0,269
Tebal, m	0,00635
Bahan	Stainless Steel, 316 SS
Pengaduk	
Jenis	*Flat blade turbine impeller*
Diameter, m	0,4672
Lebar blade, m	0,05715
Lebar baffle, m	0,1143
Putaran, rpm	106,1
Power, hP	0,72

c Reaktor (R-03)

Tabel 3.5 Spesifikasi Reaktor 3

Spesifikasi Reaktor	
Kode	R-03
Fungsi	Tempat berlangsungnya reaksi etilen oksida dan air menjadi etilen glikol.
Jenis	Reaktor Alir Berpengaduk (RATB) dengan Jaket pendingin.
Jumlah	1
Harga	$ 86.100
Suhu, ˚C	55
Tekanan, atm	4,55
Waktu, jam	1,286
Bahan Konstruksi	Stainless Steel, 316 SS
Mechanical Design	
Reaktor	
Volume, m^3	1,7375
Tinggi, m	1,2954
Diameter, m	1,3716
Head	
Tinggi, m	0,269
Tebal, m	0,00635
Bahan	Stainless Steel, 316 SS

Tabel 3.6 Spesifikasi Reaktor 3 (Lanjutan)

Pengaduk	
Jenis	*Flat blade turbine impeller*
Diameter, m	0,4672
Lebar blade, m	0,05715
Lebar baffle, m	0,1143
Putaran, rpm	106,1
Power, hP	0,72

3.3.2 Spesifikasi Alat Pemisah

a Menara Distilasi (MD-01)

Tabel 3.7 Spesifikasi Menara Distilasi

	Spesifikasi
Kode	MD-01
Fungsi	Memisahkan hasil atas (Etilen Okside, Air, dan sedikit Etilen Glikol) dan hasil bawah (Produk Utama = Etilen Glikol)
Jenis	*Tray Tower (sieve tray)*
Jumlah	1
Harga	$ 3.000
Bahan	*Carbon Steel*
	Kondisi Operasi
Tekanan, bar	

Tabel 3.8 Spesifikasi Menara Distilasi (Lanjutan)

Puncak Menara	1,013
Umpan	1,0359
Dasar Menara	1,049
Suhu, K	
Puncak Menara	372,178
Umpan	374,128
Dasar Menara	465,071
Mechanical Design	
Plate	
Jumlah minimum	4
Reflux minimum	0,0216
Reflux operasi	0,0269
Plate teoritis	12
Plate aktual	20
Umpan masuk	15
Menara	
Diameter, m	3,81
Tinggi, m	15,05

b Akumulator (AC-01)

Tabel 3.9 Spesifikasi Akumulator

Spesifikasi

Tabel 3.10 Spesifikasi Akumulator (Lanjutan)

Kode	AC-01
Fungsi	Menampung embunan yang berasal dari kondensor.
Jenis	*Cylinder tank horizontal*
Jumlah	1
Harga	$ 13.900
Bahan	*Carbon Steel*
Kondisi Operasi	
Tekanan, bar	1,013
Suhu, K	372,0967
Waktu tinggal, menit	10
Mechanical Design	
Volume, m^3	79,173
Diameter, m	2,6162
Tinggi, m	7,8486

3.3.3 Spesifikasi Alat Penyimpanan Bahan

a Tangki C_2H_4O (T-01)

Tabel 3.11 Spesifikasi Tangki Penyimpanan C2H4O

Spesifikasi Tangki C_2H_4O	
Kode	T-01

Tabel 3.12 Spesifikasi Tangki C2H4O (Lanjutan)

Fungsi	Menyimpan Kebutuhan C_2H_4O
Fasa	Cair
Jenis	Tangki Silinder Horizontal
Jumlah	1
Harga	$ 215.800
Bahan	*Carbon Steel*
Kondisi Operasi	
Tekanan, atm	2,04
Suhu, ˚C	30
Waktu tinggal, hari	15
Mechanical Design	
Volume, m^3	4390,793
Diameter, m	23
Panjang, m	69

b Tangki H_2O (T-02)

Tabel 3.13 Spesifikasi Tangki Penyimpanan H2O

Spesifikasi Tangki H_2O	
Kode	T-02
Fungsi	Menyimpan Kebutuhan H_2O
Fasa	Cair
Jenis	Tangki Silinder Tegak

Tabel 3.14 Spesifikasi Tangki H2O (Lanjutan)

Jumlah	1
Harga	$ 111.300
Bahan	*Stainless Steel* SA-240 type 304
Kondisi Operasi	
Tekanan, atm	1
Suhu, ˚C	30
Waktu tinggal, hari	15
Mechanical Design	
Volume, m^3	1655,82
Diameter, m	15,24
Tinggi, m	9,144

c Tangki $C_2H_6O_2$ (T-03)

Tabel 3.15 Spesifikasi Tangki Penyimpanan C2H6O2

Spesifikasi Tangki $C_2H_6O_2$	
Kode	T-03
Fungsi	Menyimpan Kebutuhan $C_2H_6O_2$
Fasa	Cair
Jenis	Tangki Silinder Tegak
Jumlah	1
Harga	$ 215.300
Bahan	*Stainless Steel* SA-240 type 304

Tabel 3.16 Spesifikasi Tangki C2H6O2 (Lanjutan)

Kondisi Operasi	
Tekanan, atm	1
Suhu, ˚C	30
Waktu tinggal, hari	30
Mechanical Design	
Volume, m^3	4479,92
Diameter, m	21,336
Tinggi, m	12,802

3.3.4 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan

a Pompa 1 (P-01)

Tabel 3.17 Spesifikasi Pompa 1

Spesifikasi Pompa 1	
Kode	P-01
Fungsi	Memompa bahan baku Air dari tangki Penyimpanan 2 (T-02) ke Reaktor 1 (R-01)
Jenis	*Centrifugal Pump*
Jumlah	1
Harga	$ 5.200
Suhu, ˚C	30
Bahan Konstruksi	*Commercial Steel*

Tabel 3.18 Spesifikasi Pompa 1 (Lanjutan)

Dimensi	
Ukuran Pipa, in	1,781
ID, in	1,939
OD, in	2,375
NPS, in	2
Flow Area, in^2	2,953
Sch. No.	80 ST, 80 S
Efisiensi Pompa %	53
Power Pompa, hP	1,67
Power Motor, hP	3

b Pompa 2 (P-02)

Tabel 3.19 Spesifikasi Pompa 2

Spesifikasi Pompa 2	
Kode	P-02
Fungsi	Memompa bahan baku C_2H_4O dari Tangki 1 (T-01) ke Reaktor 1 (R-01)
Jenis	*Centrifugal Pump*
Jumlah	1
Harga	$ 10.200
Suhu, ˚C	30
Bahan Konstruksi	*Commercial Steel*

Tabel 3.20 Spesifikasi Pompa 2 (Lanjutan)

Dimensi	
Ukuran Pipa, in	2,628
ID, in	2,635
OD, in	2,875
NPS, in	2 1/2
Flow Area, in^2	5,453
Sch. No.	10 S
Efisiensi Pompa %	68
Power Pompa, hP	0,74
Power Motor, hP	1

c Pompa 3 (P-03)

Tabel 3.21 Spesifikasi Pompa 3

Spesifikasi Pompa 3	
Kode	P-03
Fungsi	Memompa hasil reaksi dari Reaktor 1 (R-01) ke Reaktor 2 (R-02)
Jenis	*Centrifugal Pump*
Jumlah	1
Harga	$ 10.200
Suhu, ˚C	55
Bahan Konstruksi	*Commercial Steel*

Tabel 3.22 Spesifikasi Pompa 3 (Lanjutan)

Dimensi	
Ukuran Pipa, in	2,628
ID, in	2,635
OD, in	2,875
NPS, in	2 1/2
Flow Area, in^2	5,453
Sch. No.	10 S
Efisiensi Pompa %	68
Power Pompa, hP	0,74
Power Motor, hP	1

d Pompa 4 (P-04)

Tabel 3.23 Spesifikasi Pompa 4

Spesifikasi Pompa 4	
Kode	P-04
Fungsi	Memompa hasil reaksi dari Reaktor 2 (R-02) ke Reaktor 3 (R-03)
Jenis	*Centrifugal Pump*
Jumlah	1
Harga	$ 10.200
Suhu, ˚C	55
Bahan Konstruksi	*Commercial Steel*

Tabel 3.24 Spesifikasi Pompa 4 (Lanjutan)

Dimensi	
Ukuran Pipa, in	6,072
ID, in	6,357
OD, in	6,625
NPS, in	6
Flow Area, in^2	31,739
Sch. No.	10 S
Efisiensi Pompa %	82
Power Pompa, hP	0,34
Power Motor, hP	0,5

e Pompa 5 (P-05)

Tabel 3.25 Spesifikasi Pompa 5

Spesifikasi Pompa 5	
Kode	P-05
Fungsi	Memompa hasil reaksi dari Reaktor 3 (R-03) ke Menara Distilasi (MD-01)
Jenis	*Centrifugal Pump*
Jumlah	1
Harga	$ 10.200
Suhu, ˚C	55
Bahan Konstruksi	*Commercial Steel*

Tabel 3.26 Spesifikasi Pompa 5 (Lanjutan)

Dimensi	
Ukuran Pipa, in	6,038
ID, in	6,357
OD, in	6,625
NPS, in	6
Flow Area, in^2	31,739
Sch. No.	10 S
Efisiensi Pompa %	82
Power Pompa, hP	2,22
Power Motor, hP	3

f Pompa 6 (P-06)

Tabel 3.27 Spesifikasi Pompa 6

Spesifikasi Pompa 6	
Kode	P-06
Fungsi	Memompa hasil tampungan embun dari Akumulator (AC-01) ke puncak Menara Distilasi (MD-01) dan merecycle sisanya.
Jenis	*Centrifugal Pump*
Jumlah	1
Harga	$ 9.100

Tabel 3.28 Spesifikasi Pompa 6 (Lanjutan)

Suhu, ˚C	99
Bahan Konstruksi	*Commercial Steel*
Dimensi	
Ukuran Pipa, in	5,511
ID, in	5,761
OD, in	6,625
NPS, in	6
Flow Area, in^2	26,066
Sch. No.	80 XS, 80 S
Efisiensi Pompa %	81
Power Pompa, hP	13,31
Power Motor, hP	20

g Pompa 7 (P-07)

Tabel 3.29 Spesifikasi Pompa 7

Spesifikasi Pompa 7	
Kode	P-07
Fungsi	Memompa hasil bawah dari Reboiler (RB-01) ke Tangki Penyimpanan 3 (T-03)
Jenis	*Centrifugal Pump*
Jumlah	1

Tabel 3.30 Spesifikasi Pompa 7 (Lanjutan)

Harga	$ 5.200
Suhu, ˚C	191,9
Bahan Konstruksi	*Commercial Steel*
	Dimensi
Ukuran Pipa, in	2,767
ID, in	2,900
OD, in	3,500
NPS, in	3
Flow Area, in^2	6,605
Sch. No.	80 XS, 80 S
Efisiensi Pompa %	73
Power Pompa, hP	0,42
Power Motor, hP	1

3.3.5 Spesifikasi Alat Penukar Panas

a Condensor (CD-01)

Tabel 3.31 Spesifikasi Condensor

Spesifikasi Condensor	
Kode	CD-01
Fungsi	Mengembunkan uap yang keluar puncak Menara Distilasi MD-01 dengan media pendingin air.

Tabel 3.32 Spesifikasi Condensor (Lanjutan)

Jenis	*Shell and Tube*
Jumlah	1
Harga	$ 77.500
Tekanan, atm	1
Bahan Konstruksi	*Carbon Steel*

Mechanical Design

Shell		Tube	
IDs, in	24	BWG	14
Pitch, m	0,0238	IDt, in	0,58
Baffle Spaces, m	0,1219	ODt, in	0,75
		Nt	421
ΔP terhitung, pa	2.867,155	Passes	1
		ΔP terhitung, pa	36.649,2
ΔP diizinkan, pa	34.464,286		
		ΔP diizinkan, pa	68.928,6

Rd terhitung, m^2.s.K/kJ	0,746
Rd min, m^2.s.K/kJ	0,529
L, m	7,315
Ud, kJ/m^2.s.K	1,191
Uc, kJ/m^2.s.K	10,677

b Reboiler (RB-01)

Tabel 3.33 Spesifikasi Reboiler

Spesifikasi Reboiler	
Kode	RB-01
Fungsi	Menguapkan sebagian cairan yang berasal dari dasar menara distilasi (MD-01).
Jenis	*Kettle Reboiler*
Jumlah	1
Harga	$ 102.800
Tekanan, atm	1
Bahan Konstruksi	*Carbon Steel*
Mechanical Design	
BWG	14
IDt, in	0,584
ODt, in	0,75
Nt	649
Passes	1
IDs, in	28
Pitch, m	0,0238
De, m	0,0140
Rd terhitung, m^2.s.K/kJ	0,571
Rd min, m^2.s.K/kJ	0,529

Tabel 3.34 Spesifikasi Reboiler (Lanjutan)

L, m	2,4384
Ud, kJ/m^2.s.K	1,011
Uc, kJ/m^2.s.K	1,315
ΔP terhitung, pa	184,67
ΔP diizinkan, pa	34.013,605

c Cooler 1 (CL-01)

Tabel 3.35 Spesifikasi Cooler 1

Spesifikasi Cooler 1	
Kode	CL-01
Fungsi	Mendinginkan cairan hasil bawah Menara Distilasi dan H_2O dari tangki 02.
Jenis	*Shell and Tube*
Jumlah	1
Harga	$ 25.000
Suhu. ˚C	55
Tekanan, atm	1
Bahan Konstruksi	*Carbon Steel*
Mechanical Design	
Shell	Tube

Tabel 3.36 Spesifikasi Cooler 1 (Lanjutan)

IDs, in	14	BWG	14
Pitch, m	0,0238	IDt, in	0,58
Baffle Spaces, m	0,0711	ODt, in	0,75
		Nt	121
ΔP terhitung, pa	2.867,155	Passes	1
		ΔP terhitung, pa	36.649,2
ΔP diizinkan, pa	34.464,286		
		ΔP diizinkan, pa	68.928,6
Rd terhitung, m^2.s.K/kJ		1,448	
Rd min, m^2.s.K/kJ		0,529	
L, m		4,877	
Ud, kJ/m^2.s.K		0,785	
Uc, kJ/m^2.s.K		7,798	

d Heater 1 (HE-01)

Tabel 3.37 Spesifikasi Heater 1

Spesifikasi Heater 1	
Kode	HE-01
Fungsi	Memanaskan C_2H_4O dati tangki 01
Jenis	*Double Pipe*
Jumlah	1

Tabel 3.38 Spesifikasi Heater 1 (Lanjutan)

Harga	$ 1.000
Suhu. ˚C	55
Tekanan, atm	1
Bahan Konstruksi	*Carbon Steel*

Mechanical Design			
Annulus		Inner Pipe	
OD, Sch	2”, 40	OD, Sch	1,25”, 40
ODa, in	1,66	IDi, in	2,38
IDa, in	1,38	ODi, in	2,07
ΔP terhitung, pa	11.244,6	ΔP terhitung, pa	1.014,7
ΔP diizinkan, pa	34.464,3	ΔP diizinkan, pa	68.928,6
Rd terhitung, m^2.s.K/kJ		1,625	
Rd min, m^2.s.K/kJ		0,529	
L, m		3,658	
Ud, kJ/m^2.s.K		0,445	
Uc, kJ/m^2.s.K		1,603	

e Heater 2 (HE-02)

Tabel 3.39 Spesifikasi Heater 2

Spesifikasi Heater 2

Tabel 3.40 Spesifikasi Heater 2 (Lanjutan)

Kode	HE-02
Fungsi	Memanaskan hasil reaksi dari Reaktor 3
Jenis	*Double Pipe*
Jumlah	1
Harga	$ 22.200
Suhu. ˚C	101
Tekanan, atm	1
Bahan Konstruksi	*Carbon Steel*

Mechanical Design

Annulus		Inner Pipe	
OD, Sch	2”, 40	OD, Sch	1,25”, 40
ODa, in	1,66	IDi, in	2,38
IDa, in	1,38	ODi, in	2,07
ΔP terhitung, pa	16.604,1	ΔP terhitung, pa	26.170,3
ΔP diizinkan, pa	34.464,3	ΔP diizinkan, pa	68.928,6
Rd terhitung, m^2.s.K/kJ		1,303	
Rd min, m^2.s.K/kJ		0,529	
L, m		3,658	
Ud, kJ/m^2.s.K		0,698	
Uc, kJ/m^2.s.K		7,646	

f Cooler 2 (CL-02)

Tabel 3.41 Spesifikasi Cooler 2

Spesifikasi Cooler 2			
Kode	CL-02		
Fungsi	Mendinginkan cairan hasil bawah Menara Distilasi (MD-01) sebelum masuk Tangki 3 (T-03).		
Jenis	*Shell and Tube*		
Jumlah	1		
Harga	$ 9.800		
Suhu. ˚C	30		
Tekanan, atm	1		
Bahan Konstruksi	*Carbon Steel*		
Mechanical Design			
Shell		Tube	
IDs, in	10	BWG	14
Pitch, m	0,0238	IDt, in	0,58
Baffle, m	0,0508	ODt, in	0,75
ΔP terhitung, pa	4.872,188	Nt	61
		ΔP terhitung, pa	4.437,508
ΔP diizinkan, pa	34.464,286		
		ΔP diizinkan, pa	68.928,6

Tabel 3.42 Spesifikasi Cooler 2 (Lanjutan)

Rd terhitung, m^2.s.K/kJ	1,338
Rd min, m^2.s.K/kJ	0,529
L, m	4,877
Ud, kJ/m^2.s.K	0,576
Uc, kJ/m^2.s.K	2,514

3.4 Neraca Massa

Basis perhitungan neraca massa

Kapasitas produk : 50.000 ton/tahun

Diambil dalam 1 tahun : 330 hari kerja

Basis perhitungan : 1 jam

$= (\frac{50.000\ ton}{1\ tahun})\ x\ (\frac{1000\ kg}{1\ ton})\ x\ (\frac{1\ tahun}{330\ hari})\ x\ (\frac{1\ hari}{24\ jam})$

= 6313,131 kg/jam

3.4.1 Neraca Massa Total

Tabel 3.43 Neraca Massa Total

Komponen	Masuk (kg/Jam)		Keluar (kg/Jam)	
	Arus 2	Arus 3	Arus 7	Arus 8
C_2H_4O	4309,722	179,572	179,572	
H_2O	43,097	25718,849	23758,537	239,985
$C_2H_6O_2$		239,985	239,985	6073,146
Total	4370,504	26120,721	24178,094	6313,131
	30491,225		30491,225	

3.4.2 Neraca Massa Masing-Masing Alat

a Reaktor 1 (R-01)

Tabel 3.44 Neraca Massa Reaktor 1

Komponen	Masuk (kg/Jam)		Keluar (kg/Jam)
	Arus 3	Arus 2	Arus 4
C_2H_4O	179,572	4309,722	2415,240
H_2O	25718,849	43,097	24913,298
$C_2H_6O_2$	239,985		3162,687
Total	26120,721	4370,504	30491,225
	30491,225		30491,225

b Reaktor 2 (R-02)

Tabel 3.45 Neraca Massa Reaktor 2

Komponen	Masuk (kg/Jam)	Keluar (kg/Jam)
	Arus 4	Arus 5
C_2H_4O	2415,240	332,208
H_2O	24913,298	24060,977
$C_2H_6O_2$	3162,687	6098,131
Total	30491,225	30491,225
	30491,225	30491,225

c Reaktor 3 (R-03)

Tabel 3.46 Neraca Massa Reaktor 3

Komponen	Masuk (kg/Jam)	Keluar (kg/Jam)
	Arus 5	Arus 6
C_2H_4O	332,208	179,572
H_2O	24060,977	23998,522
$C_2H_6O_2$	6098,131	6313,131
Total	30491,225	30491,225
	30491,225	30491,225

d Menara Distilasi (MD-01)

Tabel 3.47 Neraca Massa Menara Distilasi

Komponen	Masuk (kg/Jam)	Keluar (kg/Jam)	
	Arus 6	Arus 7	Arus 8
C_2H_4O	179,572	179,572	
H_2O	23998,522	23758,537	239,985
$C_2H_6O_2$	6313,131	239,985	6073,146
Total	30491,225	24178,094	6313,131
	30491,225	30491,225	

3.5 Neraca Panas

a Reaktor 1 (R-01)

Tabel 3.48 Neraca Panas Reaktor 1

Komponen	Q Masuk (kJ/Jam)	Q Keluar (kJ/Jam)
Q in	135418,6844	
Q Reaksi	1241,3397	
Q Out		132623,5434
Q Pendingin		4036,4807
Total	136660,0241	136660,0241

b Reaktor 2 (R-02)

Tabel 3.49 Neraca Panas Reaktor 2

Komponen	Q Masuk (kJ/Jam)	Q Keluar (kJ/Jam)
Q in	132623,5434	
Q Reaksi	32,6893	
Q Out		129816,3022
Q Pendingin		2839,9305
Total	132656,2327	132656,2327

c Reaktor 3 (R-03)

Tabel 3.50 Neraca Panas Reaktor 3

Komponen	Q Masuk (kJ/Jam)	Q Keluar (kJ/Jam)
Q in	129816,3022	
Q Reaksi	2,4833	

Tabel 3.51 Neraca Panas Reaktor 3 (Lanjutan)

Q Out		129610,5992
Q Pendingin		208,1863
Total	129818,7855	129818,7855

d Menara Distilasi (MD-01)

Tabel 3.52 Neraca Panas Menara Distilasi

Komponen	Q Masuk (kJ/Jam)	Q Keluar (kJ/Jam)
Q Umpan	12939450,2	
Q Reboiler	5438300,5	
Q Distilat		11420914,6
Q Bottom		2951762,9
Q Condensor		112140,9
Panas Hilang		3892932,3
Total	18377750,7	18377750,7

e Condensor (CD-01)

Tabel 3.53 Neraca Panas Condensor

Komponen	Q Masuk (kJ/Jam)	Q Keluar (kJ/Jam)
Q in	10365641,2	
Q Out		10253500,2
Q Pendingin		112141
Total	10365641,2	10365641,2

f Reboiler (RB-01)

Tabel 3.54 Neraca Panas Reboiler

Komponen	Q Masuk (kJ/Jam)	Q Keluar (kJ/Jam)
Q in	21943964,4	
Q Out		27382264,9
Q Pemanas	5438300,5	
Total	27382264,9	27382264,9

g Cooler 1 (CL-01)

Tabel 3.55 Neraca Panas Cooler 1

Komponen	Q Masuk (kJ/Jam)	Q Keluar (kJ/Jam)
Q in	49001343	
Q Out		43763820
Q Pendingin		5237523
Total	49001343	49001343

h Heater 1 (HE-01)

Tabel 3.56 Neraca Panas Heater 1

Komponen	Q Masuk (kJ/Jam)	Q Keluar (kJ/Jam)
Q in	142819,815	
Q Out		261836,327
Q Pemanas	119016,512	
Total	261836,327	261836,327

i Heater 2 (HE-02)

Tabel 3.57 Neraca Panas Heater 2

Komponen	Q Masuk (kJ/Jam)	Q Keluar (kJ/Jam)
Q in	7161883,164	
Q Out		13151821,810
Q Pemanas	5989938,646	
Total	13151821,810	13151821,810

j Cooler 2 (CL-02)

Tabel 3.58 Neraca Panas Cooler 2

Komponen	Q Masuk (kJ/Jam)	Q Keluar (kJ/Jam)
Q in	2910406,994	
Q Out		454937,877
Q Pendingin		2455469,117
Total	2910406,994	2910406,994

BAB IV

PERANCANGAN PABRIK

4.1 Lokasi Pabrik

4.1.1 Pemilihan Lokasi

Penentuan lokasi pabrik merupakan langkah krusial dalam tahap pra-rancangan karena sangat mempengaruhi aspek teknis, ekonomi, dan operasional dari suatu fasilitas produksi. Pemilihan lokasi yang tepat akan menentukan efisiensi transportasi bahan baku dan produk, kebutuhan utilitas, biaya konstruksi maupun operasional, serta kepatuhan terhadap regulasi lingkungan dan keselamatan. Pada perancangan pabrik Etilen Glikol yang menggunakan bahan baku Air dan Etilen Okside, pemilihan lokasi harus mempertimbangkan berbagai faktor seperti penempatan alat-alat pabrik, aksesibilitas, ketersediaan infrastruktur industri, kondisi lingkungan, serta risiko keselamatan proses. Selain itu, ada beberapa bangunan fisis seperti kantor, laboratorium, kantin, *fire safety*, mushala dan pos penjagaan yang ditempatkan pada bagian yang tidak mengganggu ditinjau dari segi lalu lintas dan *control* keamanan. Oleh karena itu, proses evaluasi lokasi harus dilakukan secara komprehensif untuk memastikan pabrik dapat beroperasi secara optimal dan berkelanjutan. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam perancangan dan tata letak pabrik adalah:

a Sumber Bahan Baku

Bahan baku pembuatan produk etilen glikol yaitu etilen oksida dan air. Bahan baku etilen oksida akan bekerja sama dengan PT. Polychem Indonesia yang berada di Cilegon, Banten dengan kapasitas produksi sebesar 50.000 ton/tahun. Pemilihan Lokasi yang dekat dengan pemasokan bahan baku dan Pelabuhan dapat menghemat biaya.

b Sarana Transportasi

Tata letak suatu pabrik harus memperhatikan kelancaran distribusi bahan baku, proses, dan produk. Transportasi bahan baku sebelum diolah dan produk sudah jadi harus diperhatikan tata letaknya sesuai dengan jangkauan alat produksi dan efektifitas dari luas area yang akan dipakai. Sarana transportasi dapat digunakan melalui jalur darat (jalan), jalur laut (Pelabuhan), dan jalur udara (bandara).

c Pemasaran Produk

Pendirian pabrik Etilen Glikol bertujuan agar mampu memenuhi kebutuhan konsumsi Etilen Glikol. Produk Etilen Glikol jenis Polyester Grade ditujukan terutama untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri. Pabrik-pabrik yang memanfaatkan Etilen Glikol sebagai bahan bakunya antara lain pabrik Polyester Staple Fiber (PSF), Polyester Filament Yarn (PSY), dan Polyester Terephtalat Resin (PET) untuk membuat plastik. Konsumen

produk etilen glikol hampir seluruhnya berada di Jawa Barat dan Banten. Oleh karena itu, pendirian pabrik etilen glikol lebih baik berada di daerah Jawa Barat atau Banten untuk mempermudah pendistribusian Etilen Glikol ke konsumen.

d Ketersediaan Tenaga Kerja

Tenaga kerja juga merupakan aspek yang penting dimana akan direkrut Sumber Daya Manusia (SDM) yang berpengalaman dibidangnya dan diperoleh dari penduduk yang bertempat tinggal disekitar pabrik maupun dari daerah lain yang sesuai dengan kebutuhan, sehingga diharapkan dapat mengurangi pengangguran di Indonesia.

e Kondisi Geografi dan *Social*

Kondisi geografi dan social juga merupakan factor yang penting dengan mempertimbangkan Lokasi yang luas, struktur tanah yang datar, dan tidak rawan bencana akan sangat menguntungkan. Pemilihan Lokasi yang akan didirikan di Kawasan industri di kota Cilegon, Indonesia sehingga pengaturan dan penanggulangan mengenai dampak lingkungan dapat dilaksanakan dengan baik serta kota Cilegon memiliki iklim yang stabil sepanjang tahun.

f Ketersediaan Energi dan Air

Pengoperasian pabrik juga membutuhkan bahan-bahan penunjang seperti ketersediaan air dan energi dalam unit utilitas

dimana harus mempertimbangkan terkait sumber utilitas yang memadai.

g Keamanan

Keamanan dalam proses industri tidak menutup kemungkinan dapat terjadi kecelakaan kerja atau bahaya yang mengancam seperti kebakaran, ledakan, asap, dan gas beracun yang menguap sehingga perlu adanya perencanaan tata letak pabrik yang strategis. Peralatan pemadam kebakaran maupun *safety station* dengan lengkap dan memadai sangatlah diperlukan dalam penanggulangan bahaya. Bangunan perkantoran hendaknya berjauhan dengan instalasi proses, hal ini didasarkan pada faktor keamanan (untuk mencegah akibat yang buruk apabila terjadi ledakan maupun kebakaran).

4.1.2 Keunggulan Pemilihan Lokasi

Cilegon, Banten, dipilih sebagai lokasi optimal untuk pabrik etilen glikol karena menawarkan kombinasi keunggulan industri, logistik, dan infrastruktur yang terintegrasi. Keunggulan utama Cilegon meliputi:

a Infrastruktur dan Karyawan Industri

Kota ini menyediakan lingkungan industri yang mapan, khususnya melalui Krakatau Industrial Estate. Kawasan ini menawarkan lahan siap pakai, utilitas terpusat (listrik dan air

industri), fasilitas pengelolaan limbah, serta sistem keamanan yang lengkap.

b Logistik

Lokasi Cilegon sangat strategis berkat kedekatannya dengan Jalan Tol Jakarta–Merak dan akses langsung ke Pelabuhan Merak. Hal ini memastikan kemudahan distribusi dan kelancaran pengiriman baik untuk bahan baku maupun produk jadi.

c Dukungan Utilitas dan Regulasi

Ketersediaan pasokan utilitas yang stabil dari penyedia lokal sangat mendukung proses produksi kimia. Selain itu, proses perizinan lingkungan, seperti pengurusan AMDAL atau UKL-UPL melalui Dinas Lingkungan Hidup Kota Cilegon, dinilai relatif lebih efisien dan terstruktur.

d Aspek Keselamatan

Kawasan industri di Cilegon umumnya telah menerapkan zonasi yang memisahkan area produksi dari permukiman, sehingga potensi risiko dan dampak lingkungan terhadap masyarakat dapat diminimalisasi.

Meskipun demikian, analisis risiko lebih lanjut terkait bencana, potensi bahaya dari industri tetangga, dan kebutuhan fasilitas cadangan (seperti cadangan daya) tetap harus dipertimbangkan dalam tahap desain detail. Secara keseluruhan, evaluasi komprehensif menggunakan

matriks pembobotan yang menilai faktor-faktor seperti penyedia bahan baku yakni PT Polychem Indonesia, bahan baku air proses, air utilitas, air laboratorium, dan air sanitasi yang akan diperoleh dari Sungai Cidanau Cilegon dan PT Krakatau Tirta Industri. Selain itu, Kawasan tersebut dekat dengan sarana dan prasarana seperti Jalan Tol Jakarta-Merak, Bandara Soekarno-Hatta, dan sarana pengangkutan kereta api. Aspek tersebut akan memudahkan dalam pengiriman produk, operasional administrasi dan pengolahan manajemen Perusahaan.

4.2 Tata Letak (*Plant Layout*)

4.2.1 Tata Letak Pabrik

Tata letak pabrik etilen glikol di kawasan industri Cilegon direncanakan dengan pengelompokan fasilitas ke dalam beberapa zona fungsional yang tersusun secara sistematis. Zona tersebut meliputi area penyimpanan bahan baku etilen oksida dan air, unit proses utama yang mencakup reaktor hidrasi, unit pemisahan dan pemurnian, area utilitas, fasilitas pengolahan limbah, serta area penyimpanan produk akhir. Selain itu, disediakan pula fasilitas penunjang seperti Gedung administrasi, laboratorium, bengkel perawatan, dan pos keamanan. Pengaturan *layout* pabrik dilakukan dengan mempertimbangkan kelancaran aliran proses untuk meminimalkan perpindahan material, pemisahan yang jelas antara area berisiko tinggi dan area non-proses, serta kemudahan akses untuk kegiatan operasi dan pemeliharaan. Aspek keselamatan menjadi perhatian utama mengingat etilen oksida bersifat

mudah menguap, mudah terbakar, dan berpotensi berbahaya, sehingga penempatan peralatan dan jalur transportasi dirancang sesuai dengan standar keselamatan industri kimia.

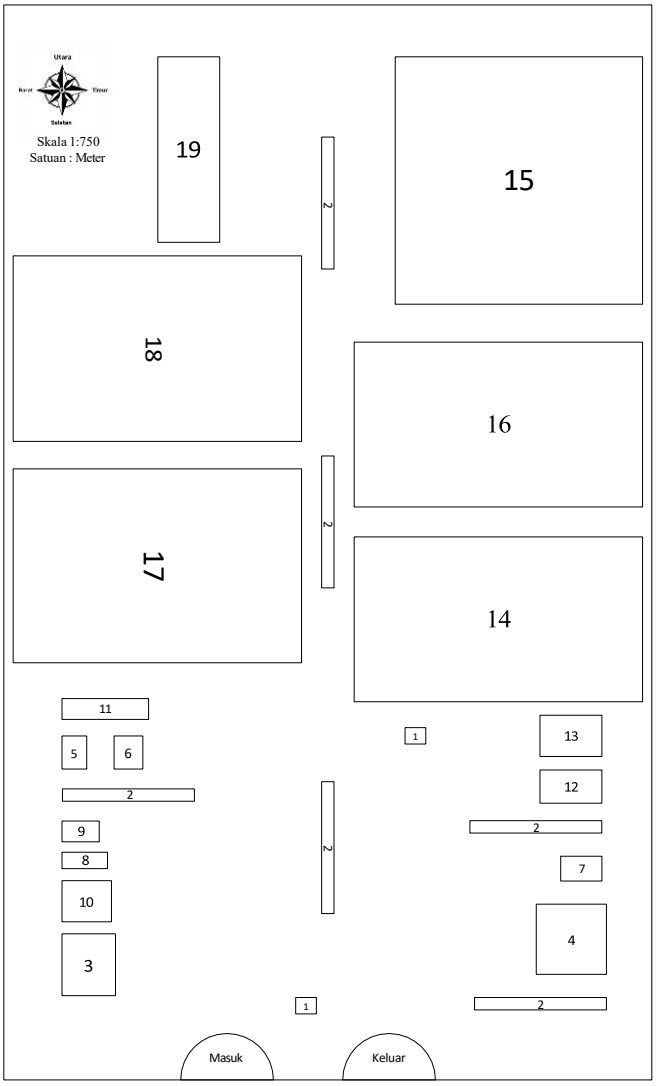
Keberadaan infrastruktur pendukung yang memadai di kawasan industri Cilegon, seperti jaringan transportasi, pasokan utilitas, dan fasilitas Pelabuhan, memungkinkan perancangan tata letak pabrik yang optimal. Hal ini mencakup pengaturan jalur kendaraan, sistem drainase, area tanggap darurat, serta penyediaan lahan cadangan untuk pengembangan kapasitas di masa mendatang. Dengan mempertimbangkan aspek proses, keselamatan, lingkungan, dan operasional secara terpadu, tata letak pabrik yang dirancang diharapkan mampu mendukung efisiensi produksi, menjamin keselamatan kerja, dan memberikan fleksibilitas terhadap pengembangan fasilitas di masa depan.

Tabel 4. 1 Spesifikasi Seluruh Bangunan Pabrik

No.	Jenis Bangunan	Jumlah	Bangunan (m)		Luas (m^2)
			Panjang	Lebar	
1	Pos Keamanan	2	4	5	40
2	Taman	6	3	32	576
3	Lapangan Parkir	1	15	13	195
4	Gedung Kantor Utama	1	17	17	289

Tabel 4. 2 Spesifikasi Bangunan Pabrik (Lanjutan)

5	Kantin	1	8	6	48
6	Musala	1	8	7	56
7	Poliklinik	1	6	10	60
8	Bengkel	1	4	11	44
9	Pemadam Kebakaran	1	5	9	45
10	Parkir Truk	1	10	12	120
11	Gudang	1	5	21	105
12	Laboratorium	1	8	15	120
13	*Control Room*	1	10	15	150
14	Unit Penyimpanan Bahan Baku	1	40	70	2.800
15	Unit Proses	1	60	60	3.600
16	Unit Tangki Penyimpanan Produk	1	40	70	2.800
17	Unit Utilitas	1	70	47	3.290
18	Unit Pengolahan Limbah	1	70	45	3.150
19	Area Perluasan	1	45	15	675
	TOTAL LUAS BANGUNAN		425	448	17.587
	TOTAL LUAS TANAH				25.000



Gambar 4. 1 Tata Letak Pabrik

Keterangan gambar tata letak pabrik :

1. Pos Keamanan
2. Taman
3. Area parkir karyawan dan tamu
4. Gedung kantor utama
5. Kantin
6. Musala
7. Poliklinik
8. Bengkel
9. Pemadam kebakaran

10. Area parkir truk
11. Gudang
12. Laboratorium
13. *Control room*
14. Area penyimpanan bahan baku
15. Unit operasi
16. Area penyimpanan produk
17. Unit utilitas
18. Unit pengolahan limbah
19. Area perluasan

4.2.2 Tata Letak Mesin/Alat Proses

Tata letak untuk alat-alat proses dimaksimalkan selesai dengan urutan kerja dan fungsi masing-masing alat. Dalam perancangan *layout* peralatan proses yang digunakan pada pengoperasian pabrik terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan di antaranya yaitu:

a Aliran Bahan Baku dan Produk

Peletakan aliran bahan baku dan produk yang tepat berpengaruh pada keuntungan nilai ekonomi yang tinggi. Hal tersebut dikarenakan semakin dekat penempatan bahan baku dan produk dengan jalur transportasi. Maka semakin efisien data yang akan dikeluarkan.

b Cahaya

Penerangan pada area pabrik harus memadai terutama pada area-area proses yang berisiko dan berbahaya.

c Aliran Udara

Aliran udara yang ada di dalam dan di sekitar area proses wajib diperhatikan lancar agar proses pengoperasian tidak terhambat.

d Tata Letak Alat Proses

Penataan alat-alat proses yang tepat akan berpengaruh mempercepat jalannya proses sehingga berjalan dengan lancar.

e Tata Letak Area Proses

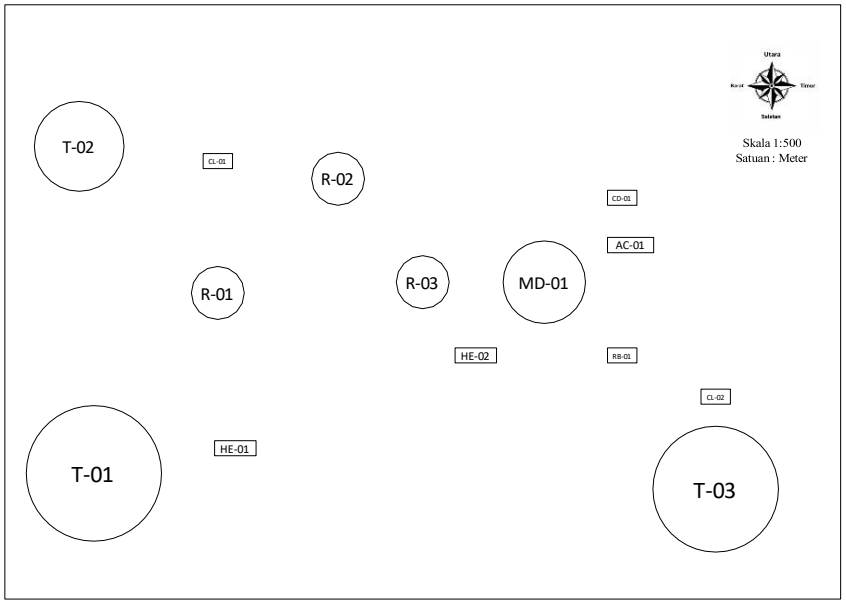
Penataan alat-alat proses pada pabrik dioptimalkan agar dapat menekan biaya operasi yang akan dikeluarkan dan menjamin keamanan produksi pabrik.

f Jarak Antar Alat Proses

Perlu diberi jarak antar alat proses terutama pada alat produksi yang mudah meledak atau terbakar letaknya harap dijauhkan dari peralatan lainnya. Hal ini bertujuan agar apabila terjadi ledakan atau kebakaran tidak membahayakan peralatan lainnya.

g Kelancaran Lalu Lintas

Kelancaran lalu lintas manusia ataupun barang sangat berpengaruh terhadap proses pengoperasian pabrik.



Gambar 4. 2 Tata Letak Area Proses

Keterangan gambar tata letak area proses :

1. R-01: Reaktor 1
2. R-02: Reaktor 2
3. R-03: Reaktor 3
4. T-01: Tangki C_2H_4O
5. T-02: Tangki H_2O
6. T-03: Tangki $C_2H_4O_6$
7. MD-01: Menara Distilasi
8. CL-01: Cooler 1
9. HE-01: Heater 1
10. HE-02: Heater 2
11. CL-02: Cooler 2
12. AC-01: Akumulator
13. RB-01: Reboiler
14. CD-01: Condensor

4.3 Organisasi Perusahaan

4.3.1 Bentuk Perusahaan

Perusahaan harus ditunjang dengan struktur organisasi yang baik sehingga memiliki efisiensi yang tinggi dalam pekerjaan dapat tercapai. Jika kondisi efisiensi dalam perusahaan tinggi maka akan menciptakan produktivitas kerja yang meningkat dan mampu menghasilkan

kuantitas maupun kualitas produk yang optimal. Kondisi tersebut sangat diharapkan oleh perusahaan sehingga aspek-aspek yang harus diperhatikan agar arah dan tujuan sebuah perusahaan dapat tercapai antara lain bergantung pada bentuk, struktur perusahaan, dan manajemen perusahaan. Ketiga unsur tersebut tidak dapat dipisahkan dalam menjalankan sebuah perusahaan agar tujuan Perusahaan tersebut dapat tercapai.

Perancangan pabrik etilen glikol rencana akan didirikan dengan bentuk Perseroan Terbatas (PT) dengan status Perusahaan Terbuka (tbk) yang mendapatkan modal dari penjualan saham ke *Indonesia Stock Exchange* (IDX).

Perseroan Terbatas adalah suatu badan usaha yang umum digunakan pada Perusahaan-perusahaan besar di Indonesia. Dalam Perseroan Terbatas tanggung jawab dari para pemegang saham Perseroan Terbatas berdasarkan pada jumlah saham yang dia miliki tanpa melibatkan harta pribadi atau perseorangan yang ada di dalamnya. Sebagaimana dalam Undang-Undang No.40 Tahun 2007 Tentang Perseroan Terbatas (UUPT) adalah Badan Usaha berbentuk Badan Hukum yang merupakan persekutuan modal, didirikan berdasarkan perjanjian, dan melakukan kegiatan usaha dengan modal dasar yang seluruhnya terbagi dalam saham. Pertimbangan dipilihnya bentuk perusahaan ini dalam membentuk Perseroan Terbatas (PT) menurut budiyono (2011) adalah didasarkan atas beberapa factor

sebagai berikut: Perseroan Terbatas merupakan badan hukum sehingga keseluruhan hidup perusahaan akan terjamin meskipun nantinya terjadi pergantian kepemilikian.

a Efektifitas manajemen. Para pemegang saham dapat memilih orang yang ahli sebagai dewan komisaris dan direktur yang cakap dan berpengalaman.

b Perseroan Terbatas memiliki jangka waktu hidup yang tidak terbatas (*Eternal Live*)

c Wewenang dan tanggung jawab pemegang saham terbatas, sehingga kelancaran produksi hanya dipegang oleh pimpinan Perusahaan.

d Mudah untuk mendapatkan modal. Yaitu dengan menjual saham Perusahaan dan meminta pinjaman dari pihak yang berkepentingan seperti badan usaha atau perseorangan.

e PT memiliki sistem tanggung gugat terbatas, di mana batas pertanggung jabawan seorang pemegang saham pada dasarnya hanya dibatasi sampai dengan jumlah saham yang dimilikinya kecuali memang ada alasan untuk mengubahnya menjadi tanggung jawab pribadi berdasarkan doktrin *Piercing The Corporate Veil.*

f Mudah untuk memindahkan hak milik dengan menjual saham kepada orang lain.

g Memiliki status sebagai badan hukum, sehingga PT merupakan subjek hukum dan mandiri, status sebagai badan hukum juga membuka kemungkinan usaha lebih luas, lebih fleksibel, karena hampir semua bentuk kegiatan ekonomi terbuka bagi PT.

h Pemilik dan pengurus Perusahaan berbeda satu sama lain, sehingga pemusatan manajemen yang memungkinkan segala urusan pengelolaan Perusahaan diserahkan kepada sekelompok orang yang dinilai professional (Direktur) dan pengawasannya juga diserahkan kepada sekelompok orang yang memiliki kompetensi (Dewan Komisaris).

Tabel 4. 3 Kelebihan dan Kekurangan Pendirian Pabrik

No	Kelebihan	Kekurangan
1	Kelangsungan hidup PT lebih terjamin dan dapat dilakukan dalam jangka Panjang, selama perusahan belum mengalami kebangkrutan.	Memerlukan modal yang besar untuk mendirikan dan menjalankan operasional Perusahaan.
2	Lebih mudah untuk melakukan perluasan dan pengembangan usaha.	Pajak Perusahaan menjadi lebih besar.
3	Kemampuan untuk mendapatkan pinjaman kredit sebagai modal usaha dari bank menjadi lebih mudah	Rahasia Perusahaan kurang terjamin karena seluruh kegiatan Perusahaan harus dilaporkan kepada pemilik modal atau saham.

4	Modal yang dikumpulkan lebih besar yaitu melalui penjualan saham.	Saham-sahamnya mudah di perdagangkan sehingga menimbulkan spekulasi.
5	Manajemen dapat dikembangkan dan dilakukan lebih baik.	Keputusan tidak dapat diambil dengan cepat karena perlu dilakukan rapat terlebih dahulu dengan Dewan Direktur.

4.3.2 Struktur Organisasi dan Deskripsi Tugas

Struktur organisasi perusahaan merupakan susunan yang mengatur hubungan kerja antara bagian-bagian dalam perusahaan secara sistematis dan terkoordinasi. Keberadaan struktur organisasi menjadi elemen penting dalam sebuah perusahaan karena memberikan dasar yang kuat untuk membagi tugas, wewenang, dan tanggung jawab secara jelas di antara seluruh elemen yang terlibat. Tanpa adanya struktur organisasi yang terencana dengan baik, operasional perusahaan akan mengalami berbagai kendala seperti tidak jelas peran, tumpang tindih tugas, kesalahan dalam alur komunikasi, serta lambatnya proses pengambilan keputusan. Oleh karena itu, pembentukan struktur organisasi menjadi bagian integral dalam mendukung kelancaran dan keberhasilan pencapaian tujuan perusahaan.

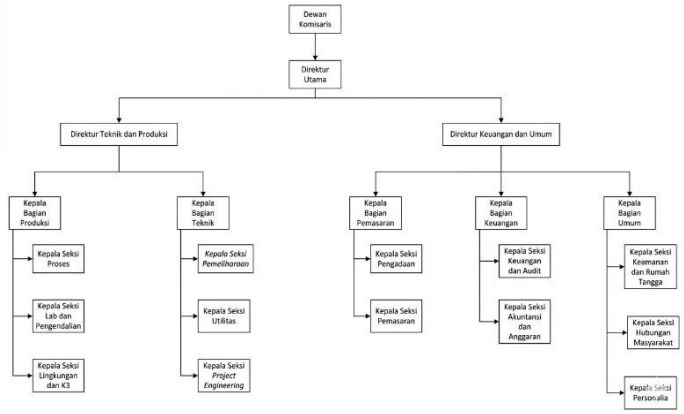
Tujuan utama dari penyusunan organisasi adalah untuk memastikan bahwa setiap individu memahami posisi, fungsi, dan tanggung jawabnya dalam perusahaan. Struktur ini juga memudahkan koordinasi antara departemen-departemen yang ada, mempercepat

aliran informasi dan pengambilan keputusan, serta meningkatkan efisiensi dan produktivitas kerja. Dengan adanya jalur pelaporan yang jelas, manajemen dapat melakukan pengawasan dan evaluasi kinerja karyawan secara lebih efektif, sekaligus mempermudah dalam melakukan perbaikan operasional bila diperlukan. Selian itu, struktur organisasi juga membantu dalam mengoptimalkan penggunaan sumber daya manusia, di mana setiap posisi diisi oleh tenaga kerja yang memiliki kompetensi sesuai bidangnya.

Manfaat dari penerapan struktur organisasi yang baik tidak hanya terbatas pada peningkatan efisiensi internal, tetapi juga berdampak pada stabilitas dan perkembangan perusahaan dalam jangka panjang. Struktur organisasi yang tertata rapi mampu menciptakan ketertiban dalam operasional sehari-hari, meminimalkan potensi konflik antar karyawan, serta memperjelas jalur karir dan peluang pengembangan bagi seluruh anggota perusahaan. Dengan demikian, struktur organisasi tidak hanya menjadi kerangka kerja administratif, tetapi juga berfungsi sebagai alat strategis yang mendorong pertumbuhan, inovasi, dan daya saing perusahaan di tengah persaingan industri yang semakin ketat.

Dengan dipilihnya pendirian pabrik dalam bentuk Perseroan Terbatas (PT), maka kekuasaan tertinggi ditangan Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS) yang memiliki hak untuk menunjuk Dewan Direksi sebagai penanggung jawab kegiatan perusahaan. Struktur manajemen perusahaan rencananya akan dibagi menjadi 4 level

struktural. Pimpinan tertinggi perusahaan adalah Direktur Utama yang akan membawahi 6 Departemen yaitu Teknik, Produksi, Keuangan, Umum, Sumber Daya Manusia dan Dukungan Operasi. Keenam departemen tersebut akan dipimpin oleh masing-masing direktur. Direktur Utama dengan keenam direktur tiap departemen akan disebut Direksi Perusahaan. Tingkatan manajemen yang terendah adalah manajer. Manajer membawahi kelompok-kelompok fungsional multi disiplin. Struktur organisasi secara lengkap akan disajikan dalam bentuk diagram yang dapat pada gambar berikut.



Gambar 4. 3 Struktur Organisasi Pabrik

Berikut merupakan tugas dan tanggung jawab masing-masing jabatan adalah sebagai berikut :

a Dewan Komisaris

Tugas : Melakukan pengawasan terhadap direksi, menetapkan regulasi yang sesuai dengan regulasi pemerintah, menganalisis laporan keuangan,

melindungi kepentingan pemegang saham, dan mengadakan rapat dewan komisaris setiap tahun.

Pendidikan : Sarjana

b Dewan Direksi

1) Direktur Utama

Tugas : Melaksanakan fungsi pimpinan dan penanggung jawab tertinggi dari perusahaan, memimpin seluruh kegiatan pabrik, menentukan dan menerapkan sistem kerja dan arah kebijaksanaan perusahaan, serta bertanggung jawab terhadap kelangsungan pabrik.

Pendidikan : Sarjana Teknik

2) Direktur Teknik dan Produksi

Tugas : Bertanggung jawab terhadap kebijakan perusahaan dalam bidang teknologi pendukung proses dan keberlangsungan operasi perusahaan serta bidang produksi dan keberlangsungan keseluruhan proses produksi baik secara kualitas dan kuantitas.

Pendidikan : Sarjana Teknik

3) Direktur Keuangan dan Umum

Tugas : Bertanggung jawab terhadap kebijakan perusahaan dalam bidang perancangan dan

pengolahan keuangan serta pemasaran dan hubungan masyarakat.

Pendidikan : Sarjana Ekonomi/Akuntansi/Manajemen

c Sekretaris

Tugas : Menyiapkan dan membuat agenda rapat dan janji dengan *clien*, menerima telepon untuk pimpinan, menjadi notulen rapat, menerima surat, mengurus masalah bank, dan melakukan koordinasi.

Pendidikan : Sarjana

d Kepala Bagian

1) Kepala Bagian Produksi

Tugas : Bertanggung jawab kepada direktur teknik dan produksi dalam bidang kualitas dan kuantitas produksi. Kepala bagian produksi membawahi kepala seksi proses, kepala seksi laboratorium dan pengendalian, serta kepala lingkungan dan K3.

Pendidikan : Sarjana Teknik

2) Kepala Bagian Teknik

Tugas : Bertanggung jawab kepada direktur teknik dan produksi dalam pemeliharaan, perbaikan fasilitas, dan keselamatan produksi. Kepala

bagian teknik membawahi kepala seksi pemeliharaan, kepala seksi utilitas, dan kepala seksi *project engineering*.

Pendidikan : Sarjana Teknik

3) Kepala Bagian Pemasaran

Tugas : Bertanggung jawab kepada direktur keuangan dan umum dalam bidang bahan baku dan pemasaran hasil produksi. Kepala bagian pemasaran mengoordinasi kepala seksi pembelian dan kepala seksi penjualan.

Pendidikan : Sarjana Ekonomi/Manajemen

4) Kepala Bagian Keuangan

Tugas : Bertanggung jawab kepada direktur umum dan pemasaran dalam bidang administrasi dan keuangan. Kepala bagian keuangan membawahi seksi administrasi, seksi akuntansi, dan seksi pembelian dan pemasaran.

Pendidikan : Sarjana Ekonomi/Manajemen

5) Kepala Bagian Umum

Tugas : Bertanggung jawab kepada direktur teknik dan produksi dalam bidang personalia, hubungan masyarakat, dan keamanan. Kepala

bagian umum membawahi seksi personalia, seksi hubungan masyarakat, seksi keamanan.

Pendidikan : Sarjana Hukum/Ilmu Sosial

e Kepala Seksi

1) Kepala Seksi Proses

Tugas : Menjalankan dan mengawasi jalannya proses produksi dan mengambil tindakan seperlunya bila ada permasalahan teknis alat proses selama produksi berlangsung.

Pendidikan : Sarjana Teknik

2) Kepala Seksi Laboratorium dan Pengendalian

Tugas : Mengawasi mutu proses hasil produksi, mutu bahan baku utama, dan pendukung serta analisa limbah ataupun hal-hal yang berhubungan dengan buangan pabrik ke lingkungan sekitar.

Pendidikan : Sarjana Teknik Kimia/ Teknik Lingkungan

3) Kepala Seksi Lingkungan dan K3

Tugas : Mengawasi implementasi standar keselamatan kerja di seluruh area operasional, melakukan mitigasi risiko terhadap potensi bahaya bagi personal, serta memastikan

kepatuhan pabrik terhadap regulasi perlindungan tenaga kerja dan keamanan lingkungan.

Pendidikan : Sarjana Teknik Kimia/Teknik Lingkungan/Kesehatan Masyarakat.

4) Kepala Seksi Pemeliharaan

Tugas : Melakukan pemeliharaan dan perbaikan kerusakan peralatan pabrik. Serta memastikan dilakukan pengecekan alat secara berkala. Memelihara semua mesin, peralatan listrik dan instrumentasi agar tetap dalam kondisi layak operasi.

Pendidikan : Sarjana Teknik Kimia/ Teknik Elektro/ Teknik Fisika

5) Kepala Seksi Utilitas

Tugas : Melaksanakan dan mengatur sarana utilitas untuk kelancaran proses produksi, dan memenuhi semua kebutuhan proses (kebutuhan air, *steam*, listrik, dan bahan bakar)

Pendidikan : Sarjana Teknik Kimia

6) **Kepala Seksi *Project Engineering***

Tugas : Melakukan perhitungan desain awal (*Preliminary Design*) ketika akan dilakukan pengembangan alat proses ataupun sistem produksi. Selain itu, merupakan seksi yang berhubungan dengan kontraktor saat proses pendirian *Project* tersebut, sebagai fungsi pengawasan dan kontrol.

Pendidikan : Sarjana Teknik Mesin/ Teknik Elektro

7) Kepala Seksi Hubungan Masyarakat

Tugas : Mengkoordinir seksi dalam mengatur hubungan perusahaan dengan masyarakat di luar perusahaan dan bertanggung jawab terhadap program CSR perusahaan dalam rangka menjaga citra baik perusahaan di masyarakat.

Pendidikan : Sarjana Hukum

8) Kepala Seksi Pemasaran

Tugas : Mengkoordinir seksi dalam mengatur dan merencanakan strategi penjualan hasil produksi kepada konsumen.

Pendidikan : Sarjana Ekonomi/Manajemen/Ilmu Bisnis

9) Kepala Seksi Pengadaan

Tugas : Mengkoordinir seksi dalam membeli bahan baku utama ataupun pendukung dan peralatan yang dibutuhkan perusahaan.

Pendidikan : Sarjana Ekonomi/Manajemen/Ilmu Bisnis

10) Kepala Seksi Keuangan dan Audit

Tugas : Mengkoordinir seksi dalam melakukan pencatatan hutang piutang, penanaman modal, perhitungan prediksi keuntungan perusahaan, dan melakukan audit tentang penggunaan uang di tiap bagian perusahaan.

Pendidikan : Sarjana Ekonomi/Manajemen/Akuntansi

11) Kepala Seksi Akuntansi dan Anggaran

Tugas : Mengkoordinir seksi dalam menghitung semua penggunaan uang perusahaan dalam mengadakan perhitungan gaji dan insentif karyawan, serta pemasukan perusahaan, dan membuat laporan penggunaan kas modal perusahaan secara berkala.

Pendidikan : Sarjana Ekonomi/Akuntansi

12) Kepala Seksi Keamanan dan Rumah Tangga

Tugas : Mengkoordinir seksi dalam menjaga keamanan pabrik dan mengawasi keluar

masuknya orang maupun barang di lingkungan pabrik, serta bertanggung jawab terhadap kebersihan perusahaan dan lingkungan pabrik, serta penyediaan konsumsi bagi para pegawai.

Pendidikan : Sarjana Ekonomi/ Hukum

13) Kepala Seksi Personalia

Tugas : Mengkoordinir seksi dalam melakukan penerimaan dan pembinaan tenaga kerja dan melakukan pendataan secara administratif terhadap data seluruh pegawai serta menyediakan fasilitas *training* pelatihan secara rutin dan berkala kepada seluruh pegawai perusahaan.

Pendidikan : Sarjana Psikologi

4.3.3 Jumlah Karyawan dan Gaji

Jumlah dan gaji karyawan harus ditentukan dengan tepat dengan cara menghitung kumlah karyawan proses berdasarkan jumlah peralatan, jumlah karyawan proses per unit, dan rincian karyawan lain ditentukan sehingga semua pekerjaan yang ada dapat dilakukan dengan baik dan efektif. Berikut perincian jumlah karyawan :

Tabel 4.4 Jumlah Karyawan

No	Jabatan	Jumlah
1	Dewan Komisaris	2
2	Direktur Utama	1
3	Direktur Teknik dan Produksi	1
4	Direktur Keuangan dan Umum	1
5	Sekretaris	2
6	Kepala Bagian Produksi	1
7	Kepala Bagian Teknik	1
8	Kepala Bagian Pemasaran	1
9	Kepala Bagian Keuangan	1
10	Kepala Bagian Umum	1
11	Kepala Seksi Proses	1
12	Kepala Seksi Lab dan Pengendalian	1
13	Kepala Seksi Lingkungan Dan K3	1
14	Kepala Seksi Pemeliharaan	1
15	Kepala Seksi Utilitas	1
16	Kepala Seksi *Project Engineering*	1
17	Kepala Seksi Pengadaan	1
18	Kepala Seksi Pemasaran	1
19	Kepala Seksi Keuangan dan Audit	1
20	Kepala Seksi Akuntansi dan Anggaran	1

Tabel 4.5 Jumlah Karyawan (Lanjutan)

21	Kepala Seksi Keamanan dan Rumah Tangga	1
22	Kepala Seksi Hubungan Masyarakat	1
23	Kepala Seksi Personalia	1
24	Karyawan Proses	20
25	Karyawan Lab dan Pengendalian	8
26	Karyawan Lingkungan dan K3	8
27	Karyawan Pemeliharaan	8
28	Karyawan Utilitas	20
29	Karyawan *Project Engineering*	4
30	Karyawan Pengadaan	2
31	Karyawan Pemasaran	2
32	Karyawan Keuangan dan Audit	2
33	Karyawan Akuntansi dan Anggaran	2
34	Karyawan Keamanan dan Rumah Tangga	16
35	Karyawan Hubungan Masyarakat	2
36	Karyawan Personalia	2
37	Sopir	4
38	*Office Boy*	2
39	*Cleaning Service*	6
	JUMLAH	**133**

Berikut rincian penggajian karyawan adalah seperti tabel berikut :

Tabel 4.6 Jumlah Gaji Karyawan

No.	Jabatan	Jumlah	Gaji/Orang/Bulan	Total Gaji/ Bulan
1	Dewan Komisaris	2	Rp. 40.000.000	Rp. 80.000.000
2	Direktur Utama	1	Rp. 40.000.000	Rp. 40.000.000
3	Direktur Teknik dan Produksi	1	Rp. 30.000.000	Rp. 30.000.000
4	Direktur Keuangan dan Umum	1	Rp. 30.000.000	Rp. 30.000.000
5	Sekretaris	2	Rp. 5.500.000	Rp. 11.000.000
6	Kepala Bagian Produksi	1	Rp. 22.000.000	Rp. 22.000.000
7	Kepala Bagian Teknik	1	Rp. 22.000.000	Rp. 22.000.000
8	Kepala Bagian Pemasaran	1	Rp. 17.000.000	Rp. 17.000.000
9	Kepala Bagian Keuangan	1	Rp. 17.000.000	Rp. 17.000.000
10	Kepala Bagian Umum	1	Rp. 17.000.000	Rp. 17.000.000
11	Kepala Seksi Proses	1	Rp. 12.000.000	Rp. 12.000.000
12	Kepala Seksi Lab dan Pengendalian	1	Rp. 12.000.000	Rp. 12.000.000
13	Kepala Seksi Lingkungan Dan K3	1	Rp. 12.000.000	Rp. 12.000.000
14	Kepala Seksi Pemeliharaan	1	Rp. 12.000.000	Rp. 12.000.000

Tabel 4.7 Jumlah Gaji Karyawan (Lanjutan)

15	Kepala Seksi Utilitas	1	Rp. 12.000.000	Rp. 12.000.000
16	Kepala Seksi *Project Engineering*	1	Rp. 12.000.000	Rp. 12.000.000
17	Kepala Seksi Pengadaan	1	Rp. 9.600.000	Rp. 9.600.000
18	Kepala Seksi Pemasaran	1	Rp. 9.600.000	Rp. 9.600.000
19	Kepala Seksi Keuangan dan Audit	1	Rp. 9.600.000	Rp. 9.600.000
20	Kepala Seksi Akuntansi dan Anggaran	1	Rp. 9.600.000	Rp. 9.600.000
21	Kepala Seksi Keamanan dan Rumah Tangga	1	Rp. 9.600.000	Rp. 9.600.000
22	Kepala Seksi Hubungan Masyarakat	1	Rp. 9.600.000	Rp. 9.600.000
23	Kepala Seksi Personalia	1	Rp. 9.600.000	Rp. 9.600.000
24	Karyawan Proses	20	Rp. 5.800.000	Rp. 116.000.000
25	Karyawan Lab dan Pengendalian	8	Rp. 5.800.000	Rp. 46.400.000
26	Karyawan Lingkungan dan K3	8	Rp. 5.800.000	Rp. 46.400.000

Tabel 4.8 Jumlah Gaji Karyawan (Lanjutan)

27	Karyawan Pemeliharaan	8	Rp. 5.800.000	Rp. 46.400.000
28	Karyawan Utilitas	20	Rp. 5.800.000	Rp. 116.000.000
29	Karyawan *Project Engineering*	4	Rp. 5.800.000	Rp. 23.200.000
30	Karyawan Pengadaan	2	Rp. 5.000.000	Rp. 10.000.000
31	Karyawan Pemasaran	2	Rp. 5.000.000	Rp. 10.000.000
32	Karyawan Keuangan dan Audit	2	Rp. 5.000.000	Rp. 10.000.000
33	Karyawan Akuntansi dan Anggaran	2	Rp. 5.000.000	Rp. 10.000.000
34	Karyawan Keamanan dan Rumah Tangga	16	Rp. 5.000.000	Rp. 80.000.000
35	Karyawan Hubungan Masyarakat	2	Rp. 5.000.000	Rp. 10.000.000
36	Karyawan Personalia	2	Rp. 5.000.000	Rp. 10.000.000
37	Sopir	4	Rp. 3.300.000	Rp. 13.200.000
38	*Office Boy*	2	Rp. 3.000.000	Rp. 6.000.000
39	*Cleaning Service*	6	Rp. 3.000.000	Rp. 18.000.000
	JUMLAH	113		Rp. 996.800.000

4.3.4 Jam Kerja Karyawan

Pabrik Etilen Glikol dari Etilen Oksida dan Air ini beroperasi 24 jam sehari dari 330 hari dalam setahun. Berdasarkan jam kerjanya, karyawan perusahaan di golongkan menjadi 2 yaitu :

a Karyawan *Non-Shift* (Reguler)

Karyawan *Non-Shift* merupakan karyawan yang tidak menangani proses produksi secara langsung seperti seksi proses, produksi, dan utilitas. Karyawan *Non-Shift* adalah direktur, kepala bagian, kepala seksi, serta seluruh karyawan dalam naungan direktur keuangan dan umum, terkecuali pada seksi keamanan. Karyawan *Non-Shift* bekerja selama 5 hari dalam seminggu dan libur pada hari Sabtu, minggu, dan hari besar dengan jam kerja:

- Senin-Kamis

  Jam Kerja : 07.30 – 16.30 WIB

  Jam Istirahat : 12.00 – 13.00 WIB

- Jumat

  Jam Kerja : 07.30 – 16.30 WIB

  Jam Istirahat : 11.00 – 13.00 WIB

b Karyawan Shift

Karyawan *Shift* merupakan karyawan yang menangani proses produksi secara produksi atau menjalankan bagian-bagian tertentu dari pabrik yang mempunyai hubungan dengan masalah

keamanan dan kelancaran produksi. Karyawan *Shift* adalah seksi proses produksi, sebagian seksi laboratorium, seksi pemeliharaan, seksi utilitas, dan seksi keamanan. Karyawan *Shift* bekerja selama 8 jam per hari. Berikut pembagian *shift* karyawan:

Tabel 4.9 Jam Kerja Karyawan *Shift*

Shift	Operasi	Keamanan
Malam	23.00-07.00 WIB	22.00-06.00 WIB
Pagi	07.00-15.00 WIB	06.00-14.00 WIB
Siang	15.00-23.00 WIB	14.00-22.00 WIB

Karyawan *Shift* terdiri dari 4 grup setiap harinya yang terbagi menjadi *shift* pagi, siang, dan malam serta satu *shift* libur. Tiap kelompok akan mendapatkan giliran 5 hari kerja dan 2 hari libur tiap *shift* dan masuk lagi untuk *shift* berikutnya. Untuk hari besar agama dan nasional yang ditetapkan pemerintah, karyawan *shift* tetap masuk. Berikut jadwal setiap kelompok:

Tabel 4.10 Jadwal Kerja Karyawan *Shift*

Kelompok	Hari Ke-													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
I	P	P	S	S	M	M	L	L	P	P	M	M	S	S
II	S	S	M	M	L	L	P	P	S	S	S	S	L	L
III	M	M	L	L	P	P	S	S	M	M	L	L	P	P
IV	L	L	P	P	S	S	M	M	L	L	P	P	M	M

Keterangan:

M : Malam S : Sore

P : Pagi L : Libur

Jam kerja dapat berubah-ubah dengan kepentingan operasional perusahaan yang tentunya dengan mengindahkan peraturan perundang-undangan yang berlaku. Kelancaran produksi dari suatu pabrik sangat dipengaruhi oleh faktor kedisiplinan karyawannya. Untuk itu kepada seluruh karyawan diberlakukan presensi kehadiran yang akan digunakan pimpinan perusahaan sebagai dasar dalam mengembangkan karir para karyawan dalam perusahaan.

4.3.5 Hak dan Fasilitas Karyawan

Sebagai sarana kesejahteraan, seluruh karyawan pabrik selain menerima gaji setiap bulan karyawan juga diberikan jaminan sosial berupa fasilitas dan tunjangan yang dapat memberikan kesejahteraan kepada karyawan. Tunjangan tersebut berupa :

- Tunjangan hari raya keagamaan
- Tunjangan jabatan
- Tunjangan istri dan anak
- Tunjangan rumah sakit dan kematian
- BPJS Ketenagakerjaan
- Uang makan

a Hak Cuti

1) Cuti Tahunan

Diberikan pada karyawan selama 12 hari kerja dalam 1 tahun.

2) Cuti Massal

Setiap tahun diberikan cuti massal untuk karyawan bertepatan dengan hari raya idul fitri selama 7 hari kerja.

3) Cuti Hamil

Setiap tahun diberikan cuti hamil untuk karyawan wanita yang akan melahirkan selama 3 bulan dan selama cuti tersebut gaji tetap di bayar dengan ketentuan jarak kelahiran anak satu dan anak lainnya minimal 3 tahun.

b BPJS Ketenagakerjaan

Jamsostek merupakan pertanggungan jiwa dan asuransi kecelakaan. Bertujuan untuk memberikan rasa aman kepada karyawan ketika sedang menjalankan tugasnya.

c Koperasi

Koperasi karyawan diberikan untuk mempermudah karyawan dalam hal simpan pinjam, memenuhi kebutuhan pokok dan perlengkapan rumah tangga serta kebutuhan lainnya.

d Makan dan Minum

Perusahaan menyediakan makan dan minum satu kali sehari yang rencananya akan dikelola oleh perusahaan *catering* yang ditunjuk oleh perusahaan.

e Pakaian Kerja

Untuk menghindari kesenjangan antar karyawan, perusahaan memberikan 2 pasang pakaian kerja setiap tahun. Selain itu disediakan masker sebagai alat pengaman dalam bekerja.

f Tunjangan Hari Raya (THR)

Untuk meningkatkan produktivitas dan memperingan beban pengeluaran karyawan, perusahaan memberikan uang transportasi tiap hari yang penyerahannya bersama dengan penerimaan gaji tiap bulan.

BAB V

UTILITAS

Fasilitas pendukung pada pabrik diperlukan untuk mendukung proses tersebut untuk kelancaran proses produksi. Fasilitas penunjang sumber daya lain yang diperlukan selain bahan baku dan bahan penolong sehingga proses produksi dapat berjalan sesuai dengan yang diinginkan. Unit utilitas di sebuah pabrik terdiri atas berbagai komponen yang mendukung berbagai kebutuhan operasional. Unit utilitas terdiri dari:

a Unit Penyediaan dan Pengolahan Air

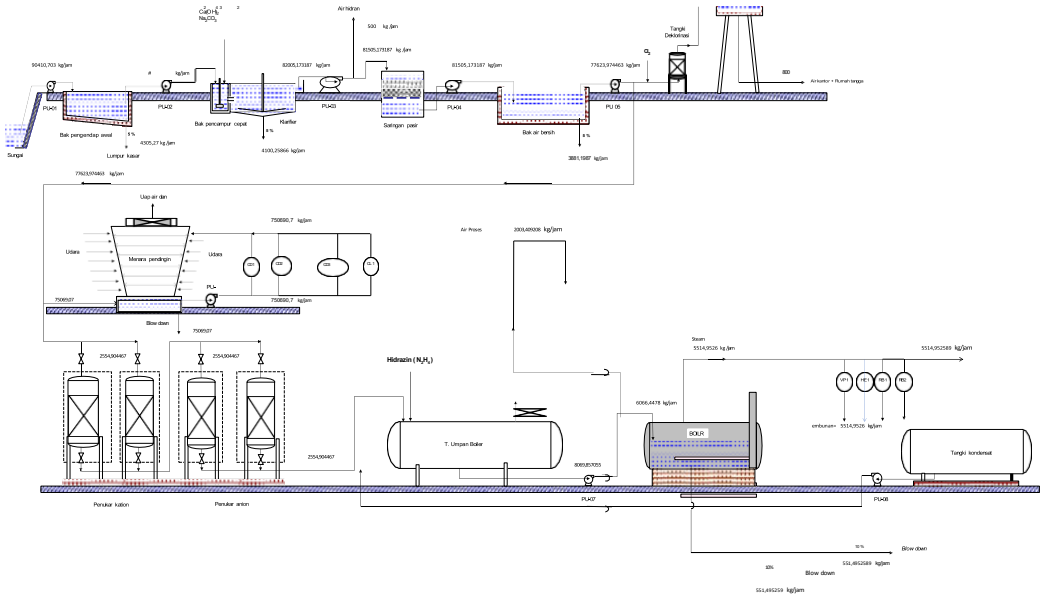
b Unit Pembangkit Steam

c Unit Pembangkit Listrik

d Unit Penyedia Udara Tekan

e Unit Penyedia Bahan Bakar

f Unit Pengolahan Limbah



Gambar 5. 1 Diagram Alir Utilitas

5.1 Unit Penyediaan Air dan Pengolahan Air

Pada pabrik etilen glikol unit penyediaan air ini berperan untuk menyediakan kebutuhan air mulai dari pengadaan, pengolahan, hingga air yang sesuai dengan standar yang berlaku.

5.1.1 Unit Penyediaan Air

Unit penyediaan air diperuntukkan untuk menunjang keperluan proses produksi etilen glikol dari bahan baku etilen oksida dengan proses hidrasi non-katalitik, yang terdiri dari:

a Air Proses

Air proses merupakan air yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan etilen glikol. Dalam perancangan pabrik etilen glikol ini, sumber air yang digunakan berasal dari air Sungai

Cidanau. Pertimbangan penggunaan air sungai sebagai penyediaan sumber air pada pabrik antara lain:

1) Pengolahan air sungai relatif lebih mudah, sederhana, dan biaya pengolahan relatif mudah dibandingkan dengan proses pengolahan air laut yang lebih rumit dan biaya pengolahannya lebih besar karena membutuhkan alat relatif lebih mahal.
2) Jumlah air sungai lebih banyak dibandingkan jumlah air sumur.
3) Lokasi sungai berada tidak jauh dari lokasi pembangunan pabrik.

Air Sungai Cidanau masih mengandung impuritas dan mineral yang dapat mengganggu proses reaksi maupun menyebabkan kerusakan alat. Impuritas dan mineral tersebut harus dihilangkan dengan cara pengolahan air, sehingga nantinya air bebas dari semua kontaminan baik terlarut maupun tersuspensi, organik maupun anorganik serta ion-ion, biasa juga disebut sebagai *Demineralized* (DM) air.

Tabel 5. 1 Kualitas Air Proses

No	Parameter	Jumlah
1	pH	6,8-7,0
2	Turbiditas	Nil

Tabel 5. 2 Kualitas Air Proses (Lanjutan)

3	*Total Dissolved Solids*	Nil
4	*Oxygen*	Nil
5	Konduktivitas	< 0,2 µS/cm
6	*Silica*	< 0,02 mg/L
7	*Hardness*	Nil

(Elshorbagy dan Chowdhury, 2013)

b Air Pendingin

Air pendingin (*cooling water*) adalah air yang dapat menyerap dan memindahkan panas dari suatu sistem. Sistem yang dilalui oleh aliran air pendingin disebut sebagai air pendingin (*cooling water system*). Pabrik etilen glikol ini menggunakan sistem air pendingin resirkulasi terbuka yang dilengkapi dengan *cooling tower*. Untuk air pendingin resirkulasi terbuka perlu diperhatikan peningkatan *total dissolve solid* akibat menguapnya sebagian air saat didinginkan di cooling tower. *Total dissolve solid* yang tinggi akan menimbulkan terbentuknya kerak, maka diperlukan sistem *partial blow down* dan pemberian *make-up water*. Air pendingin di pabrik ini digunakan pada *Cooler* untuk mendinginkan umpan hasil atas menara distilasi. Berikut ini kualitas air pendingin resirkulasi terbuka.

Tabel 5. 3 Kualitas Air Pendingin

Parameter	Air Pendingin		
	Circulating water	Make-up Water	Transient Water
pH	6,5 - 8,2	6,0 - 8,0	6,8 – 8,0
Konduktivitas Elektrik (mS/m)	< 80	< 30	< 40
Klorin (mg/L)	< 200	< 50	< 50
Sulfat (mg/L)	< 200	< 50	< 50
Alkalinitas (mg/L)	< 100	< 50	< 50
Total *Hardness* (mg/L)	< 200	<70	< 70
Ca^{2+} (mg/L)	< 150	< 50	< 50
Silica (mg/L)	< 40	< 30	< 30

(*Japan Refrigeration and Air Conditioning Industry Association Guidelines*, 1994)

Hal-hal yang perlu diperhatikan pada air pendingin yaitu:

1) Kesadahan (*hardness*) dan silika, yang dapat menyebabkan kerak
2) Besi dan oksigen terlarut, yang dapat menimbulkan korosi
3) *Total suspended solid* dan lumut, yang dapat menyebabkan *fouling*

Air pendingin yang digunakan dalam proses sehari-hari berasal dari air pendingin yang telah digunakan dalam pabrik yang kemudian didinginkan pada *cooling tower*. Kehilangan air karena penguapan di *cooling tower* dan kehilangan air dari *blow down* perlu di *make-up* dengan air yang di sediakan *water storage*.

c Air Umpan Boiler

Boiler adalah alat penyedia steam yang dihasilkan dari air yang diuapkan dengan cara pemanasan. Panas yang digunakan adalah air dari pembakaran bahan bakar diruang bakar boiler. Air umpan boiler perlu perlakuan khusus agar dalam boiler tidak terbentuk kerak yang mengurangi efisiensi perpindahan panas. Berikut adalah persyaratan air umpan boiler:

Tabel 5. 4 Syarat Umpan Boiler

Parameter	Satuan	Pengendalian Batas
Total *Hardness*	mg/L	0,1
pH	Unit	7,5 – 10
Oksigen Terlarut	mg/L	0,04
Silika	mg/L	150
Fe	mg/L	0,1

(ASME, 1994)

Untuk mencapai batasan tersebut, air umpan boiler harus di treatmen secara eksternal dan internal. *External treatment* adalah

perlakuan terhadap air sebelum masuk unit pembangkit uap. *Internal treatment* adalah treatmen yang dilakukan pada unit pembangkit uap sebagai pencegahan terjadinya kerak, korosi, serta *foaming*. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam penanganan air umpan boiler adalah sebagai berikut:

a Zat-zat yang dapat menyebabkan korosi.

Korosi yang terjadi di dalam boiler disebabkan karena air mengandung larutan-larutan asam dan gas-gas terlaut seperti O_2, CO_2, H_2S, dan NH_3.

b Zat yang menyebabkan kerak (*Scale Forming*)

Pembentukan kerak disebabkan karena adanya kesadahan dan suhu tinggi, yang biasanya berupa garam-garam karbonat dan silika.

c Zat yang menyebabkan *foaming*

Air yang diambil dari proses pemanasan biasanya menyebabkan foaming pada boiler karena adanya zat-zat organik, anorganik, dan zat-zat yang tak larut dalam jumlah besar. Efek alkalinitas terjadi akibat alkalinitas yang tinggi.

d Air Sanitasi

Air kebutuhan sanitasi dan konsumsi dalam suatu pabrik digunakan untuk keperluan laboratorium dan karyawan (minum, memasak, mencuci, dan mandi). Berdasarkan Peraturan Menteri

Kesehatan Republik Indonesia No. 32 Tahun 2017 air sanitasi harus memenuhi syarat kualitas air bersih meliputi :

1) Syarat Fisik
    a) Tidak berbau
    b) Tidak berasa
    c) TDS tidak lebih dari 1500 mg/L
    d) Kekeruhan maksimum 25 NTU
    e) Suhu + 3˚C dari suhu udara
    f) Warna tidak lebih dari 50 TCU
2) Syarat Kimia
    a) pH 6,5 – 9,0
    b) Tidak mengandung zat-zat kimia beracun dan berbahaya baik organik maupun anorganik
    c) Steril dari mikroba
3) Syarat Bakteriologi
    a) Tidak mengandung bakteri-bakteri, terutama bakteri patogen
    b) Bakteri *Echeruchia Coli* kurang dari 1/100 ml

e Air Hidrant

Salah satu bagian dari utilitas pabrik ini adalah air pemadam kebakaran (*hidrant*). Kebutuhan air untuk seksi ini sangat diperlukan jika suatu saat terjadi musibah kebakaran yang menimpa salah satu bagian dari pabrik. Jadi, penggunaan air untuk keperluan ini tidak dilakukan secara rutin dan kontinu

tetapi hanya bersifat insidental hanya saat terjadi kebakaran. Air hidran tidak menyangkut proses sehingga tidak membutuhkan spesifikasi yang kompleks. Dalam praktiknya kebutuhan air ini di salurkan melalui pipa hidran yang tersambung melalui saluran yang melintasi seluruh lokasi pabrik. Pipa-pipa hidran terutama dipersiapkan pada lokasi pabrik yang cukup strategis dengan pertimbangan utama adalah pada kemudahan pencapaian pada semua lokasi pabrik.

5.1.2 Unit Pengolahan Air

Pengolahan air bertujuan untuk memenuhi syarat-syarat air untuk dapat digunakan. Sumber air yang digunakan untuk kebutuhan pabrik etilen glikol menggunakan proses hidrasi non-katalitik ini diperoleh dari sungai Cidanau 2.000 L/s (Krakatau tirta,2019). Sungai Cidanau mengalir dari rawa danau ke arah barat dan bermuara ke Selat Sunda. Untuk dapat digunakan, air dari Sungai Cidanau harus terlebih dahulu diolah agar dapat memenuhi syarat. Berikut langkah pengolahan air Sungai Cidanau:

a Unit Pengolahan

Proses pengolahan diawali dengan pemompaan air sungai ke unit penyaringan awal yang secara mekanis menyisihkan material makro seperti sampah organik. Proses ini bersifat fisik tanpa melibatkan bahan kimia. Partikel halus yang lolos akan diolah pada tahap selanjutnya. Pemasangan saringan (*screen*)

pada inlet pompa berfungsi sebagai proteksi awal untuk menjaga kinerja dan durabilitas sistem filtrasi berikutnya.

b Unit Sedimentasi

Tahap sedimentasi bertujuan untuk memisahkan atau mengendapkan zat-zat padat atau suspensi non-koloidal dalam air. Dilakukan dengan memanfaatkan gaya gravitasi sehingga padatan dapat mengendap dengan sendirinya. Selanjutnya, air akan masuk ke dalam *clarifier*.

c Unit *Clarifier*

Pada unit ini bertujuan untuk menghilangkan padatan tersuspensi baik padatan kasar yang masih tersisa, padatan halus maupun yang bersifat koloid. Di dalam unit ini terjadi proses koagulasi, flokulasi, dan sedimentasi.

1) Koagulasi merupakan proses penetralan partikel-partikel yang ada dalam air sehingga dapat diendapkan dengan cara menambahkan bahan kimia pengendap (koagulan). Koagulan yang digunakan adalah larutan alum ($Al_2(SO_4)_3$) yang ditambahkan ke dalam air dan diaduk dengan cepat. Hasil reaksi kimia yang terjadi disebut flok yaitu partikel bukan koloid yang sangat halus (gumpalan padatan yang besar).
2) Flokulasi merupakan kelanjutan dari proses koagulasi di mana pada proses ini partikel-partikel halus hasil koagulasi

membentuk suatu gumpalan besar sehingga lebih mudah mengendap. Proses ini menggunakan pengadukan lambat.

3) Sedimentasi merupakan proses terakhir dalam unit ini. Air yang telah melewati proses koagulasi dan flokulasi kemudian masuk ke dalam tahap ini di mana nantinya flok-flok akan mengendap sehingga didapat air yang bersih.

d Unit Klorinasi

Air yang berasal dari unit *clarifier* masuk ke dalam *sand filter* dan kemudian masuk ke dalam unit klorinasi. Di dalam unit ini ditambahkan zat klorin untuk menghilangkan mikroorganisme di dalam air. Selain itu, di dalam unit ini ditambahkan juga kapur untuk menetralisasi air yang sebelumnya bersifat asam akibat penambahan alum. Selanjutnya, air ditampung di dalam *filtered water storage* yang kemudian dapat digunakan sebagai air pendingin, air sanitasi, dan air hidran. Untuk air proses dan air umpan boiler akan di proses lebih lanjut menuju *carbon filter*.

e Carbon Filter

Unit ini akan mengolah air untuk menjadi air umpan boiler. Unit ini bertujuan untuk menghilangkan warna yang berasal dari logam berat. Proses penyerapan dengan *carbon filter* dilakukan terlebih dahulu sebelum unit demineralisasi untuk mengurangi beban kerja pada unit demineralisasi.

f Unit Demineralisasi

Unit ini berfungsi untuk menghilangkan mineral-mineral yang terkandung di dalam air seperti Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}, Fe^{2+}, HCO^{3-}, SO_4^{2-} , Cl^{-} , NO^{3-}, dan lain-lain dengan menggunakan resin. Demineralisasi diperlukan karena air umpan *boiler* harus memenuhi syarat-syarat tertentu. Hal ini dimaksudkan agar:

1) Bebas dari gas-gas yang dapat mengakibatkan korosi.
2) Tidak menimbulkan kerak pada kondisi uap yang dikehendaki maupun pemanas *tube heat exchanger* jika uap digunakan sebagai pemanas. Hal tersebut akan mengakibatkan turunnya efisiensi operasi bahkan bisa mengakibatkan tidak beroperasi sama sekali.

Demineralisasi terdiri dari tahapan berikut ini:

a) Penukar Kation

Air yang berasal dari *carbon filter* diumpankan ke dalam alat penukar kation untuk menghilangkan kandungan kation seperti Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}, dan Fe^{2+} dengan menggunakan resin. Prinsip resin penukar kation yaitu resin akan menyerap ion mineral bermuatan positif (misalnya M^{+}) dan resin akan melepas ion hidrogen. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:

$$R\text{-}H+M^{+} \quad \rightarrow \quad R - M + H^{+} \qquad (7)$$

Resin yang sudah jenuh maka kemampuan mengikat mineralnya akan turun, hal ini ditandai dengan meningkatnya konduktivitas air yang dihasilkan. Untuk meregenerasi resin yang telah jenuh, dilakukan dengan cara mengalirkan larutan asam H_2SO_4 untuk mengikat H^+. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:

$$R – M + H_2SO_4 \rightarrow R – H + MSO_4 \quad (8)$$

b) Penukar Anion

Air yang keluar dari alat penukar kation kemudian diumpankan ke alat penukar anion untuk menghilangkan anion-anion mineralnya. Prinsip resin penukar anion yaitu resin akan menyerap ion mineral bermuatan negatif (misal A^-) dan resin akan melepas hidroksi (OH^-). Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:

$$R – OH + A^- \rightarrow R – A + OH^- \quad (9)$$

Resin yang sudah jenuh maka kemampuan mengikat mineralnya akan turun, hal ini ditandai dengan meningkatnya konduktivitas air yang dihasilkan. Untuk meregenerasi resin yang telah jenuh, dilakukan dengan menggunakan larutan NaOH untuk mengikat OH^- . Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:

$$R – A + NaOH \rightarrow R – OH + NaA \quad (10)$$

Air yang keluar dari demineralisasi sebagian ada yang digunakan untuk air proses dan sebagian masuk ke dalam pengolahan deaerator untuk digunakan sebagai air umpan boiler.

g Unit Deaerator

Air yang telah mengalami demineralisasi masih mengandung gas-gas terlarut terutama gas oksigen dan karbon dioksida. Gas-gas ini harus dihilangkan dari air karena dapat menyebabkan korosi pada peralatan proses. Gas tersebut dihilangkan dengan menggunakan proses *stripping* menggunakan *steam* bertekanan rendah suhu 130˚C. *Steam* akan menyerap O_2 yang terlarut pada air sehingga didapatkan air yang bebas dari O_2. Selain itu *steam* juga akan meningkatkan suhu air mendekati titik didihnya yaitu sekitar 90˚C. Di dalam deaerator juga diinjeksikan bahan-bahan kimia seperti berikut ini:

1) Hidrazin

Larutan ini berfungsi untuk mengikat O2 yang masih tersisa. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:

$$2N_2H_2 + O_2 \rightarrow 2N_2 + H_2O \qquad (11)$$

2) Ammonia

Larutan ini digunakan untuk mengontrol pH sehingga keluaran deaerator air berada pada pH antara 8,5 - 9,5.

3) Larutan fosfat ($Na_3PO_4H_2O$)

Larutan ini digunakan untuk mengatur kesadahan air yang tersisa dengan cara mengendapkan semua kesadahan sebagai fosfat.

5.1.3 Kebutuhan Air

Secara umum penyediaan kebutuhan air digunakan untuk air proses, air pendingin dan *steam*. Berikut adalah kebutuhan air yang diperlukan:

a Air Proses

Pada pabrik etilen glikol air kebutuhan proses yang diperlukan sebesar 2003,409 kg/jam yang digunakan untuk keperluan bahan baku.

b Air Pendingin

Air pendingin *(cooling water)* digunakan untuk mendinginkan umpan keluaran beberapa alat sebagai berikut :

Tabel 5. 5 Kebutuhan Air Pendingin

No	Nama Alat	Kebutuhan (Kg/Jam)
1	Condensor-01	646.453,36
2	Cooler-01	70.851,32
3	Cooler-02	33.216,70
4	Reaktor-01	96,48
5	Reaktor-02	67,88
6	Reaktor-03	4,98
	TOTAL	750690,7

Pada saat berlangsungnya proses, air pendingin mengalami *blowdown* pada unit *cooling water* sehingga diperlukan adanya air *make-up*. Setelah dilakukan perhitungan didapatkan kebutuhan air *make-up* yaitu sebesar 93836,3375 kg/jam.

c Air Pemanas

Air *steam* dalam pabrik digunakan untuk media pemanas. Steam yang digunakan dalam pabrik ini adalah saturated steam. Air *steam* yang dapat digunakan untuk *boiler* harus memenuhi persyaratan. Jumlah kebutuhan *steam* untuk peralatan pada pabrik etilen glikol ini adalah sebagai berikut:

Tabel 5. 6 Kebutuhan Air Pemanas

No	Nama Alat	Kebutuhan (Kg/Jam)
1	HE-01	56,31
2	HE-02	2.833,8
3	Reboiler-01	2.624,8
	TOTAL	5.514,9

Pada saat berlangsungnya proses, air pembangkit steam mengalami *blowdown* pada *boiler* sebesar 10%, sehingga jumlah air *make-up* yang dibutuhkan setelah dilakukan perhitungan yaitu sebesar 551,495 kg/jam.

d Domestik dan Kebutuhan Lainnya

Selain untuk kebutuhan proses, air digunakan pula untuk kebutuhan umum seperti air kantor dengan jumlah karyawan

yaitu 136 orang dengan perkiraan kebutuhan air/orang adalah 75 kg/hari, air *service* (*laboratorium*, pemadam kebakaran, bengkel, kantin, dll), dan air rumah tangga dengan rencana perumahan yaitu 5 rumah dengan kapasitas tiap rumah yaitu 6 orang yang diperkirakan kebutuhan air/orang adalah 300 kg/hari.

Tabel 5. 7 Kebutuhan Domestik dan Lainnya

No	Nama Alat	Kebutuhan (Kg/Jam)
1	Air Kantor	10.200
2	Air Rumah Tangga	9.000
3	Air Service	1.315
	TOTAL	20.515

Total air sungai yang dibutuhkan dihitung dengan dengan menjumlahkan semua komponen pada poin-poin diatas. Jumlah air laut yang harus disediakan sebagai berikut :

Tabel 5. 8 Total Kebutuhan Air

No	Nama Alat	Kebutuhan (Kg/Jam)
1	Air Proses	2.003,4
2	Air Pendingin	750.690,7
3	Air Pemanas	5.515
4	Air Domestik dan Lainnya	20.515
	TOTAL	778.724,1

5.2 Unit Pembangkit Steam

Unit ini berfungsi untuk menyediakan steam guna mendukung kebutuhan proses produksi melalui sistem boiler. Sebelum air hasil olahan dari *Water Treatment Plant* (WTP) dialirkan sebagai umpan boiler, dilakukan proses *conditioning* terlebih dahulu di *Boiler Feed Water Tank* untuk mengoptimalkan kualitas air. Tahap *conditioning* ini meliputi pengendalian kadar silika (SiO_2) untuk mencegah *scaling*, reduksi oksigen terlarut (O_2) guna meminimalkan korosi, serta pengaturan kandungan padatan terlarut lainnya. Proses ini dilakukan melalui injeksi bahan kimia khusus seperti oksigen *scavenger* dan *silica dispersant* yang ditambahkan secara terkontrol ke dalam tangki umpan boiler. Tujuan utama *treatment* pendahuluan ini adalah untuk memastikan kualitas air umpan memenuhi spesifikasi teknis yang ketat, sehingga dapat mendukung operasi boiler yang aman, efisien, dan berkelanjutan serta mencegah potensi gangguan operasional seperti deposisi mineral dan korosi pada sistem boiler.

5.3 Unit Pembangkit Listrik

Kebutuhan energi listrik pada pabrik etilen glikol dipasok oleh PLN. Namun, untuk mengantisipasi potensi gangguan pasokan dari PLN, pabrik dilengkapi dengan *generator internal* berbahan bakar solar. *Generator* tersebut berfungsi menghasilkan energi listrik melalui putaran poros engkol yang digerakkan oleh energi panas hasil pembakaran solar. Sistem ini dirancang guna menjamin keberlangsungan suplai listrik yang stabil serta

berkesinambungan meskipun terjadi gangguan distribusi dari PLN. Berikut merupakan rincian kebutuhan listrik pabrik etilen glikol:

a Kebutuhan Listrik Unit Proses

Tabel 5. 9 Kebutuhan Listrik Unit Proses

No.	Nama Alat	Kode	hp	kW
1	Reaktor 1	R-01	0,75	0,559
2	Reaktor 2	R-02	0,75	0,559
3	Reaktor 3	R-03	0,75	0,559
4	Pompa 1	P-01	3	2,237
5	Pompa 2	P-02	1	1,119
6	Pompa 3	P-03	0,5	0,373
7	Pompa 4	P-04	0,5	0,373
8	Pompa 5	P-05	3	2,237
9	Pompa 6	P-06	20	14,914
10	Pompa 7	P-07	1	0,746
	TOTAL		31,25	23,304

b Kebutuhan Listrik Unit Utilitas

Tabel 5. 10 Kebutuhan Listrik Unit Utilitas

No.	Nama Alat	Kode	hp	kW
1	*Cooling Tower*	CT-01	100	74,571
2	*Clarifier*	CLU-01	1,5	1,119

Tabel 5. 11 Kebutuhan Listrik Unit Utilitas (Lanjutan)

3	Bak Pencampur	BU-02	0,5	0,373
4	Pompa Utilitas 1	PU-01	7,5	5,593
5	Pompa Utilitas 2	PU-02	2	1,491
6	Pompa Utilitas 3	PU-03	3	2,237
7	Pompa Utilitas 4	PU-04	1	1,119
8	Pompa Utilitas 5	PU-05	10	7,457
9	Pompa Utilitas 6	PU-06	60	44,743
10	Pompa Utilitas 7	PU-07	7,5	5,593
11	Udara Tekan	-	0,5	0,373
	TOTAL		193,5	144,295

Sehingga kebutuhan total listrik unit proses dan unit utilitas sebesar 167,599 kW dan untuk alasan keamanan kemudian dilakukan *over design* sebanyak 20%, sehingga kebutuhan total listrik sebesar 201,119 kW

c Kebutuhan Listrik alat kontrol, penerangan, peralatan kantor, bengkel, laboratorium, dan perumahan

1) Kebutuhan Listrik Alat Kontrol

Power yang dibutuhkan untuk penerangan diperkirakan sebesar 25% dari total kebutuhan listrik untuk menggerakkan motor, sehingga *power* yang dibutuhkan sebesar 46,14 kW.

2) Kebutuhan Penerangan

Power yang dibutuhkan untuk penerangan diperkirakan sebesar 20% dari total kebutuhan listrik untuk menggerakkan motor, sehingga *power* yang dibutuhkan sebesar 36,91 kW.

3) Kebutuhan Listrik Peralatan Kantor

Power yang dibutuhkan untuk kantor (AC, komputer, dll.) diperkirakan sebesar 20% dari total kebutuhan listrik untuk menggerakkan motor, sehingga *power* yang dibutuhkan sebesar 36,91 kW.

4) Kebutuhan Listrik bengkel, lab, dll

Power yang dibutuhkan untuk bengkel dan laboratorium diperkirakan sebesar 20% dari total kebutuhan listrik untuk menggerakkan motor yaitu 36,91 kW .

5) Kebutuhan Listrik Perumahan

Setiap rumah diperkirakan memerlukan listrik sebesar 1.300 watt. Rumah yang akan disaluri listrik dari pabrik berjumlah 5 rumah, sehingga jumlah kebutuhan listrik untuk perumahan sebesar 6,5 kW.

Jadi kebutuhan listrik total yang diperlukan pada pabrik etilen glikol ini adalah sebagai berikut :

Tabel 5. 12 Kebutuhan Listrik Total

No.	Keperluan	kW
1	Unit Proses	27,9

Tabel 5. 13 Kebutuhan Listrik Total (Lanjutan)

2	Unit Utilitas	173,2
3	Alat Kontrol	46,1
4	Penerangan	36,9
5	Kantor	36,9
6	Laboratorium, Bengkel, dll	36,9
7	Perumahan	6,5
	TOTAL	364,4

5.4 Unit Penyedia Udara Tekan

Udara tekan digunakan sebagai penggerak alat-alat kontrol yang bekerja secara pneumatis. Dalam pabrik etilen glikol ini terdapat sekitar 20 alat *control* yang memerlukan udara tekan untuk menggerakkannya. Mekanisme untuk membuat udara tekan yaitu udara lingkungan ditekan menggunakan *compressor* yang dilengkapi *filter* (penyaring) udara hingga mencapai tekanan 4 bar kemudian udara tersebut dialirkan menuju alat kontrol dan alat proses yang membutuhkannya. Jumlah udara tekan yang dibutuhkan diperkirakan 2 m^3/jam dengan tekanan 4 bar. Udara yang digunakan harus dalam keadaan kering sehingga begitu keluar dari *blower*, udara dilewatkan melalui sebuah tangki udara (bejana pengering) yang berisi *silica gel.*

5.5 Unit Penyedia Bahan Bakar

Unit ini berperan dalam penyediaan bahan bakar yang digunakan pada boiler dan generator. Jenis bahan bakar yang diaplikasikan adalah *solar*

HSD (High Speed Diesel) dengan jenis B40 dengan laju konsumsi sebesar 15415,29 L/jam dan untuk generator sebesar 2979,405 L/jam. Efisiensi serta ketepatan penggunaan solar menjadi faktor krusial dalam menjaga kinerja boiler tetap optimal dan menjamin kelancaran proses produksi pada pabrik etilen glikol. Oleh karena itu, unit penyedia bahan bakar dirancang sedemikian rupa guna menjamin kontinuitas pasokan solar yang stabil serta sesuai dengan kebutuhan operasional *boiler*.

5.6 Unit Pengolahan Limbah

Unit ini berfungsi untuk mengolah semua limbah (buangan) yang ada sebelum dibuang ke lingkungan. Limbah yang dihasilkan pada Pabrik Etilen Glikol berupa limbah gas dan limbah cair. Limbah gas terdiri dari gas sisa hasil pembakaran *boiler*. Penanganan limbah gas ini secara umum dilakukan dengan pembakaran di menara pembakaran (*flare*) sebelum dilepas ke *atmosfer*. Limbah cair terdiri dari:

a Air berminyak dari minyak mesin proses

Air berminyak ini berasal dari pompa. Minyak tersebut awalnya digunakan sebagai minyak pelumas pada pompa. Pemisahan dilakukan berdasarkan perbedaan berat jenis. Minyak di bagian atas dikumpulkan dan ditampung dalam tangki, sedangkan minyak di bagian bawah dialirkan ke penampungan akhir yang kemudian akan dibuang.

b Air regenerasi dan *backwash* dari unit demineralisasi

Air sisa regenerasi dan *backwash* dari unit demineralisasi biasanya memiliki pH asam/basa. Sebelum air tersebut dibuang ke

lingkungan, air tersebut harus dinetralisasi terlebih dahulu agar tidak mencemari lingkungan. Air tersebut dinetralkan dalam kolam penetralan dengan menggunakan HCl jika pH air lebih dari 7,0 atau dengan menggunakan NaOH jika pH air kurang dari 7,0. Selanjutnya, air yang sudah netral dialirkan ke penampungan akhir bersama-sama dengan aliran air pengolahan yang lain.

c Air buangan sanitasi

Air buangan sanitasi dikumpulkan pada satu tempat dan diolah dalam unit stabilisasi dengan menggunakan lumpur aktif. Setelah itu, air diaerasi menjadi tempat tumbuh dan berkembang biak bakteri di mana diharapkan bakteri dapat menguraikan senyawa organik yang terkandung dalam air tersebut sehingga dapat mengurangi potensi bahaya. Kemudian setelah dilakukan aerasi, air diberi desinfektan kalsium hipoklorit untuk mematikan bakteri-bakteri yang ada.

d Limbah proses

Limbah proses adalah limbah yang dihasilkan selama proses berlangsung, biasanya hal ini terjadi karena adanya kebocoran pada alat. Limbah proses ini terdiri dari berbagai senyawa organik, seperti etilen oksida dan etilen glikol. Pengolahan limbah organik ini sama dengan pengolahan limbah air buangan sanitasi. Limbah dikumpulkan pada satu tempat dan diolah dalam unit stabilisasi dengan menggunakan lumpur aktif. Setelah itu, limbah diaerasi supaya menjadi tempat tumbuh dan berkembang biak bakteri di mana diharapkan bakteri dapat

menguraikan senyawa organik yang terkandung dalam limbah tersebut sehingga dapat mengurangi potensi bahaya. Kemudian setelah dilakukan aerasi, limbah diberi desinfektan kalsium hipoklorit untuk mematikan bakteri-bakteri yang ada.

5.7 Spesifikasi Alat Utilitas

a Pompa Utilitas

Tabel 5. 14 Spesifikasi Pompa Utilitas

Pompa	PU-01	PU-02	PU-03
Fungsi	Memompa air dari sungai menuju bak pengendap awal.	Memompa air dari pengendap awal ke bak klarifikasi.	Memompa air dari bak klarifikasi ke *sand filter.*
Jenis	*Centrifugal Pump*	*Centrifugal Pump*	*Centrifugal Pump*
Bahan	*Commercial Steel*	*Commercial Steel*	*Commercial Steel*
Spesifikasi :			
NPS, in	8	8	8
OD, in	8,625	8,625	8,625
ID, in	6,813	6,813	6,813

Efisiensi Pompa, %	84	82	82
Power Pompa, Hp	4,518	1,536	1,666
Power Motor, Hp	7,5	2	3

Tabel 5. 15 Spesifikasi Pompa Utilitas (Lanjutan)

Pompa	PU-04	PU-05	PU-06
Fungsi	Memompa air dari *sand filter* ke bak air bersih.	Memompa air dari bak air bersih ke bak air minum dan umpan boiler.	Memompa air dari basin ke *cooling tower.*
Jenis	*Centrifugal Pump*	*Centrifugal Pump*	*Centrifugal Pump*
Bahan	*Commercial Steel*	*Commercial Steel*	*Commercial Steel*
Spesifikasi :			
NPS, in	8	6	18
OD, in	8,625	6,625	18
ID, in	6,813	6,357	17,5

Efisiensi Pompa, %	82	82	90
Power Pompa, Hp	0,5	8,372	50,996
Power Motor, Hp	1	10	60

Tabel 5. 16 Spesifikasi Pompa Utilitas (Lanjutan)

Pompa	PU-07
Fungsi	Memompa air dari umpan boiler ke WHB
Jenis	*Centrifugal Pump*
Bahan	*Commercial Steel*
Spesifikasi :	
NPS, in	2
OD, in	2,385
ID, in	1,939
Efisiensi Pompa, %	85
Power Pompa, Hp	6,053
Power Motor, Hp	7,5

b Bak Utilitas

Tabel 5. 17 Spesifikasi Bak Utilitas

Bak	BU-01	BU-02	BU-03	BU-04
Fungsi	Mengendapkan kotoran dan lumpur yang terbawa dari air.	Mencampur bahan kimia penggumpal dan pengurang kesadahan	Mengendapkan menampung air bersih dari saringan pasir	Menampung air untuk kantor pelayanan dan rumah tangga
Jenis	Bak Persegi Panjang	bak silinder tegak dilengkapi pengaduk	Bak Persegi Panjang	Bak Persegi Panjang
Spesifikasi	Bahan : Beton Bertulang	Bahan : Baja Karbon	Bahan : Beton Bertulang	Bahan : Beton Bertulang
	Volume Bak : 2652,704 m^3	Volume Bak : 1,754 m^3	Volume Bak : 797,201 m^3	Volume Bak : 37,989 m^3
	Tinggi : 4 m	Diameter : 1,31 m	Tinggi : 4 m	Tinggi : 4 m
	Panjang : 44,6 m Lebar : 14,86 m	Panjang : 1 m	Panjang : 24,45 m Lebar : 8,15 m	Panjang : 5,34 m Lebar : 1,78 m

c Tangki Utilitas

Tabel 5. 18 Spesifikasi Tangki Utilitas

Tangki	TU-01	TU-02	TU-03
Fungsi Alat	Melarutkan NaOH untuk regenerasi penukar kation	Melarutkan NaCl untuk regenerasi penukar kation	Menyimpan kondensat selama 1 jam
Jumlah Tangki	1	1	1
Jenis Tangki	Tangki Silinder Horizontal	Tangki Silinder Tegak	Tangki Silinder Horizontal

Tabel 5. 19 Spesifikasi Tangki Utilitas (Lanjutan)

Spesifikasi	Bahan : Stainless Steel SA-240 type 304 Volume Tangki : 0,0826 m^3 Diameter : 0,44 m Panjang : 0,44 m	Bahan : Stainless Steel SA-240 type 304 Volume Tangki : 0,258 m^3 Diameter : 0,649 m Tinggi : 0,649 m	Bahan : Baja Karbon Volume Tangki : 3,504 m^3 Diameter : 1,14 m Panjang : 3,42 m
Tangki	TU-04	TU-05	TU-06
Fungsi Alat	Menghilangkan ion-ion positif yang masih terkandung dalam mineral air	Menghilangkan ion-ion negatif yang masih terkandung dalam mineral air	Menyimpan air umpan boiler selama 8 jam
Jumlah Tangki	1	1	1
Jenis Tangki	Tangki Silinder Tegak	Tangki Silinder Tegak	Tangki Silinder Horizontal dilengkapi Deaerator
Spesifikasi	Bahan : Baja Karbon	Bahan : Stainless Steel SA-240 type 304	Bahan : Baja Karbon

Tabel 5. 20 Spesifikasi Tangki Utilitas (Lanjutan)

	Volume Tangki : 0,334 m^3 Diameter : 0,75 m Panjang : 0,90 m	Volume Tangki : 0,106 m^3 Diameter : 0,514 m Tinggi : 0,62 m	Volume Tangki : 22,133 m^3 Diameter : 2,1 m Panjang : 6,3 m

d ***Clarifier***

Tabel 5. 21 Spesifikasi Clarifier

Kode	**CLU-01**
Fungsi	Menggumpalkan dan mengendapkan kotoran koloid yang terbawa oleh air
Jenis	Bak silinder tegak dengan bentuk kerucut
	Mechanical Design
Diameter, m	10,1
Tinggi Silinder, m	5,05
Tinggi Kerucut, m	1,02
Volume, m	444,66
Pengaduk :	
Jenis	Rake

Tabel 5.14 Spesifikasi Clarifier (Lanjutan)

Kecepatan Putar	0,03 rotasi/menit
Power Motor, hp	1,5

e Saringan Pasir Utilitas

Tabel 5. 22 Spesifikasi Saringan Pasir

Kode	**SF-01**
Fungsi	Menyaring kotoran kotoran yang masih terbawa air dari *clarifier*
Jenis	Bak empat persegi panjang
Bahan	*Carbon Steel*
Ukuran Pasir, mesh	48
Mechanical Design	
Flux Volume, gall/menit.ft^2	2,5
Luas Aliran, m^2	13,58
Lebar, m	3,68
Panjang, m	3,68
Tinggi, m	1,22

f Cooling Tower

Tabel 5. 23 Spesifikasi Cooling Tower

Kode	**CT-01**
Fungsi	memulihkan suhu air dari 323,15 K sampai 303,15 K
Jenis	*Cooling Tower Induced Draft*
	Mechanical Design
Panjang, m	13,40
Tinggi, m	9,144
Lebar, m	13,40
Fan	
Posisi	Puncak Menara
Jenis	*Axial Flow Fan*
Power Fan, hp	79,15
Power Motor, hp	100

BAB VI

EVALUASI EKONOMI

Evaluasi ekonomi merupakan salah satu aspek yang sangat penting untuk mendirikan suatu pabrik. Tujuan dari dilakukannya evaluasi ekonomi agar mampu memperkirakan modal investasi dan mengetahui kelayakan pabrik yang sedang dirancang untuk didirikan. Salah satu bagian penting dalam perancangan pabrik adalah mengestimasi harga dari alat-alat yang diperlukan dalam pengoperasian pabrik. Hal itu dikarenakan harga alat dapat menjadi dasar patokan untuk estimasi evaluasi analisa ekonomi tentang kelayakan investasi penanaman modal dalam kegiatan produksi suatu pabrik dengan mempertimbangkan kebutuhan modal investasi, lamanya modal penanaman investasi dapat dikembalikan, besarnya laba yang akan diperoleh ke depannya dan terjadinya titik balik modal.

Untuk itu pada perancangan pabrik etilen glikol ini, terdapat beberapa faktor-faktor yang ditinjau dalam menghitung evaluasi ekonomi meliputi:

a Modal (*Capital Investment*)

   1) Modal tetap (*Fixed Capital Cost*)

   2) Modal kerja (*Working Capital Investment*)

b Biaya Produksi (*Manufacturing Cost*)

   1) Biaya produksi langsung (*Direct Manufacturing Cost*)

   2) Biaya produksi tak langsung (*Indirect Manufacturing Cost*)

   3) Biaya tetap (*Fixed Manufacturing Cost*)

c Pengeluaran Umum (*General Cost*)

d Analisa Kelayakan Ekonomi

1) *Percent return on investment* (ROI)

2) *Pay out time* (POT)

3) *Break even point* (BEP)

4) *Discounted cash flow* (DCF)

6.1 Penaksiran Harga

Harga peralatan proses selalu mengalami perubahan setiap tahun tergantung pada kondisi ekonomi yang ada. Untuk mengetahui harga peralatan saat ini, nilai tersebut dapat ditaksir dari harga tahun sebelumnya berdasarkan indeks harga. Jenis indeks harga yang digunakan adalah *Chemical Engineering Plant Cost Index* (CEPCI) yang diperoleh dari data *plant cost index* pada *Chemical Engineering Online*.

Indeks harga alat pada tahun 2031 dapat diperkirakan menggunakan metode regresi linier. Proyeksi ini dilakukan dengan memanfaatkan data indeks historis dari tahun 2016 hingga 2025 untuk mengestimasi nilai indeks pada tahun 2026 hingga 2031. Berikut adalah tabel indeks harga yang diperoleh dari data *plant cost index* pada *Chemical Engineering Online*.

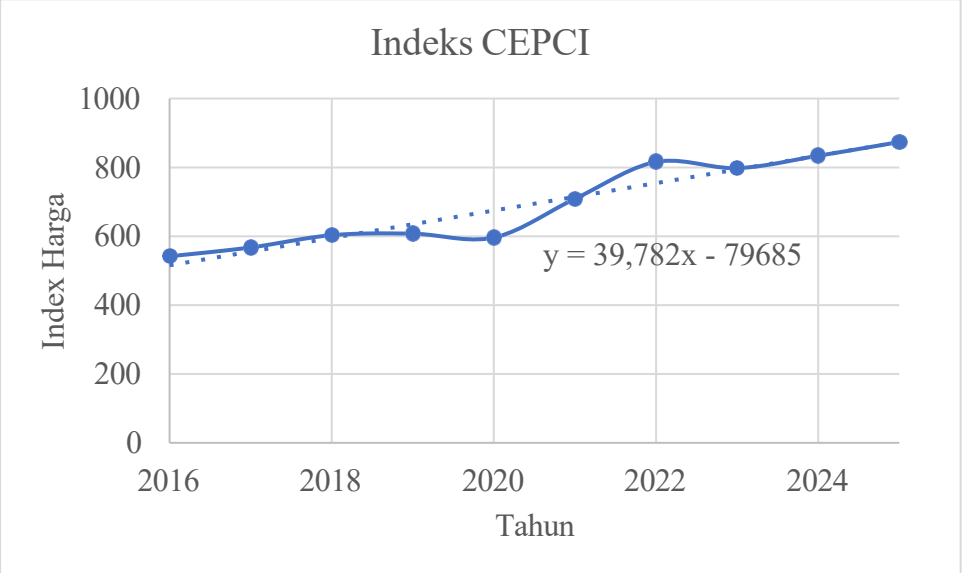
Tabel 6.1 Indeks Harga

Tahun (Xi)	Indeks (Yi)
2016	541,7
2017	567,5
2018	603,1
2019	607,5

Tabel 6.2 Indeks Harga (Lanjutan)

2020	596,2
2021	708,8
2022	816
2023	797,9
2024	833,8
2025	873,6

Dari data yang tertera diperoleh persamaan linier menggunakan grafik berikut ini:



Gambar 6.1 Grafik Indeks CEPCI

Persamaan yang diperoleh dari grafik di atas adalah y = 39,782x – 79685 dengan menggunakan persamaan linier tersebut dapat dicari nilai *cost engineering plant* indeks dari tahun 2026 hingga tahun pembangunan yaitu 2031 yang terdapat pada tabel berikut:

Tabel 6.3 *Cost Engineering Plant*

Tahun (Xi)	Indeks (Yi)
2026	913,3
2027	953,1
2028	992,8
2029	1.032,6
2030	1.072,4
2031	1.112,2

Didapatkan nilai *cost engineering plant* indeks pada tahun referensi 2016 adalah 541,7. Sementara nilai *cost engineering plant* indeks pada tahun perancangan 2031 sebesar 1.112,2.

Untuk memperkirakan harga alat pada pabrik etilen glikol dapat diperoleh melalui situs (www.matche.com) serta dapat menggunakan referensi perhitungan harga alat pada tahun 2031 saat pabrik diperoleh dengan rumus berikut:

$$Ex = \left(\frac{Nx}{Ny}\right) x\ Ey$$ (Aries & Newton)

Keterangan:

Ex = Harga tahun pembelian

Ey = harga pembelian alat pada tahun referensi

Nx = Indeks harga pada tahun pembelian

Ny = indeks harga pada tahun referensi

Berdasarkan nilai tersebut, dapat ditentukan harga alat proses dan utilitas sebagai berikut:

Tabel 6. 4 Harga Alat Proses

No.	Nama Alat	Kode	Jumlah	NY	NX)	EY	EX
				2016	2031	2016	2031
1	Akumulator	AC-01	1	541	1112,2	$ 28.540	$ 13.900
2	Condensor	CD-01	1	541	1112,2	$ 159.126	$ 77.500
3	Cooler	CL-01	1	541	1112,2	$ 51.331	$ 25.000
4	Cooler	CL-02	1	541	1112,2	$ 20.122	$ 9.800
5	Heat Exchanger	HE-01	1	541	1112,2	$ 2.053	$ 1.000
6	Heat Exchanger	HE-01	1	541	1112,2	$ 45.582	$ 22.200
7	Menara Distilasi	MD-01	1	541	1112,2	$ 6.160	$ 3.000
8	Pompa	P-01	1	541	1112,2	$ 10.677	$ 5.200
9	Pompa	P-02	1	541	1112,2	$ 20.943	$ 10.200
10	Pompa	P-03	1	541	1112,2	$ 20.943	$ 10.200
11	Pompa	P-04	1	541	1112,2	$ 20.943	$ 10.200
12	Pompa	P-05	1	541	1112,2	$ 20.943	$ 10.200
13	Pompa	P-06	1	541	1112,2	$ 18.685	$ 9.100
14	Pompa	P-07	1	541	1112,2	$ 10.677	$ 5.200
15	Reaktor	R-01	1	541	1112,2	$ 176.784	$ 86.100
16	Reaktor	R-02	1	541	1112,2	$ 176.784	$ 86.100
17	Reaktor	R-03	1	541	1112,2	$ 176.784	$ 86.100
18	Reboiler	RB-01	1	541	1112,2	$ 211.073	$ 102.800
19	Tangki	T-01	1	541	1112,2	$ 443.090	$ 215.800

Tabel 6. 5 Harga Alat Proses (Lanjutan)

20	Tangki	T-02	1	541	1112,2	$ 228.526	$ 111.300
21	Tangki	T-03	1	541	1112,2	$ 442.063	$ 215.300
	Harga Total Alat =					$ 2.291.829	$ 1.116.199

Tabel 6. 6 Harga Alat Utilitas dari dalam negeri

No	Nama Bangunan	Harga/m2	Luas m^2	NY (2016)	NX (2031)	EY (2016)	EX (2031)
1	Bak pengendap	Rp1.500.000	1.138,9	541	1112,2	Rp1.708.430.000	Rp832.064.003
2	Bak pencampur cepat	Rp1.500.000	4,8	541	1112,2	Rp7.338.000	Rp3.573.858
3	Clarifier	Rp1.500.000	438,6	541	1112,2	Rp657.913.000	Rp320.426.195
4	Saringan pasir	Rp1.500.000	31,5	541	1112,2	Rp47.348.000	Rp23.060.100
5	Bak air bersih	Rp1.500.000	460,1	541	1112,2	Rp690.184.000	Rp336.143.279
6	Bak air minum	Rp1.500.000	66,4	541	1112,2	Rp99.652.000	Rp48.533.942
7	Cooling Tower	Rp1.500.000	669,5	541	1112,2	Rp1.004.261.000	Rp489.109.550
		Total				Rp4.215.126.000	Rp2.052.910.926

Tabel 6. 7 Harga Alat Utilitas dari dalam negeri (Lanjutan)

No.	Nama Bangunan	Harga satuan	Jumlah	NY (2016)	NX (2031)	EY (2016)	EX (2031)
1	Pompa 1	Rp130.796.000	1	542	1.112	Rp130.796.000	Rp63.702.138
2	Pompa 2	Rp127.889.000	1	542	1.112	Rp127.889.000	Rp62.286.329
3	Pompa 3	Rp133.703.000	1	542	1.112	Rp133.703.000	Rp65.117.947
4	Pompa 4	Rp127.308.000	1	542	1.112	Rp127.308.000	Rp62.003.362
5	Pompa 5	Rp124.983.000	1	542	1.112	Rp124.983.000	Rp60.871.007
6	Pompa 6	Rp261.592.000	1	542	1.112	Rp261.592.000	Rp127.404.276
7	Pompa 7	Rp82.102.000	1	542	1.112	Rp82.102.000	Rp39.986.490
8	Kompresor udara	Rp1.175.000	2	542	1.112	Rp2.350.000	Rp1.144.531
9	Tangki Silika	Rp174.395.000	2	542	1.112	Rp348.790.000	Rp169.872.692
10	Tangki Udara	Rp140.000	1	542	1.112	Rp140.000	Rp68.185
11	Boiler	Rp247.059.000	1	542	1.112	Rp247.059.000	Rp120.326.206
Sub Total			13			Rp1.586.712.000	Rp772.783.163

Tabel 6. 5 Harga Utilitas dari luar negeri

No..	Nama Bangunan	Harga satuan	Jumlah	NY (2016)	NX (2031)	EY (2016)	EX (2031)
1	Penukar Kation	$ 26.775	2	542	1.112,2	$ 26.775	$ 13.040
2	Penukar Anion	$ 26.775	2	542	1.112,2	$ 26.775	$ 13.040
3	Tangki Umpan Boiler	$ 19.000	1	542	1.112,2	$ 19.000	$ 9.254
4	Tangki Kondensat	$ 15.000	1	542	1.112,2	$ 15.000	$ 7.306
	Sub Total		6			$ 87.550	$ 42.640

6.2 Dasar Perhitungan

Kapasitas produksi : 50.000 ton/tahun

Pabrik beroperasi :330 hari kerja

Pabrik didirikan tahun : 2031

Pabrik beroperasi tahun : 2031

Umur alat : 10 tahun

Kurs mata uang : 1 $ = Rp. 17.239 (per bulan April 2026)

6.3 Komponen Biaya

6.3.1 Modal (*Capital Invesrment*)

Capital investment atau yang disebut dengan modal investasi adalah sejumlah modal yang harus disiapkan untuk mendirikan dan menjalankan suatu pabrik. *Capital investment* terbagi menjadi dua macam, yaitu:

a *Fixed Capital Investment* (FCI)

Fixed capital investment merupakan modal tetap yang harus dikeluarkan untuk pengadaan fasilitas-fasilitas fisik suatu pabrik dan alat-alat operasi lainnya. Hasil perhitungan estimasi untuk merencanakan pendirian Pabrik Etilen Glikol ini meliputi *Physical Plant Cost* (PPC), *Direct Plant Cost* (DPC), dan *Fixed Capital Investment* (FCI) yang terinci pada tabel berikut:

Tabel 6. 8 *Physical Plant Cost* (PPC)

Komponen	Biaya	
	$	Rp.
Purchasing Equipment Cost (PEC)	1.337.602	2.833.217.089
Purchasing Equipment Installation (PEI)	126.491	708.078.514
Instrument and Control	133.947	66.330.000
piping	41	10.246.398.000
Electrical Equipment and Material		110.484.000
Insulation		19.242.000
Buildings		81.440.500.000
Land and Yard		115.000.000.000
Total	1.631.572	210.424.249.603

Tabel 6. 9 *Direct Plant Cost* (DPC)

Komponen	Biaya	
	$	Rp.
Physical Plant Cost (PPC)	1.631.572	210.424.249.603
Engineering and Constructions	326.314	6.514.785
Total	1.957.886	210.430.764.388

Tabel 6. 10 *Fixed Capital Investment* (FCI)

Komponen	Biaya	
	$	Rp.
Direct Plant Cost (DPC)	1.957.886	210.430.764.388
Contractor Fee	195.789	21.043.076.439
Contingency Cost	293.683	31.564.614.658
Total	2.447.358	263.038.455.485

b *Working Capital Investment* (WCI)

Working capital investment merupakan modal kerja yang diperlukan untuk mengoperasikan suatu pabrik selama kurun waktu tertentu setelah pabrik selesai didirikan. Sumber pendanaan untuk modal investasi ini dapat diperoleh dari modal sendiri (pribadi maupun investor) dan pinjaman bank. Rasio

perbandingan antara modal sendiri dengan pinjaman bank disesuaikan dengan kemampuan finansial perusahaan, misalnya menggunakan skema pembiayaan dengan perbandingan 40:60, 30:70, atau proporsi lainnya. Penanaman modal ini bertujuan untuk menghasilkan keuntungan yang optimal dari investasi yang telah dialokasikan. Komponen investasi dalam perancangan pabrik dikategorikan baik dan tepat apabila memenuhi kriteria berikut:

- Modal investasi dapat kembali dalam waktu yang cepat (*payback period* pendek).
- Mampu menghasilkan keuntungan yang maksimal (*return on investment* tinggi).
- Memenuhi regulasi hukum yang berlaku, menerapkan teknologi yang memadai, serta menjamin keamanan dan keselamatan kerja (*safety*).

Tabel 6. 11 *Working Capital Investment* (WCI)

Komponen	Biaya	
	$	Rp.
Raw Material Inventory		76.140.996.000
In Process Inventory	744	1.717.815.000
Product Inventory	34.161	94.479.841.000

Tabel 6. 12 *Working Capital Investment* (WCI) (Lanjutan)

Extended Credit	34.161	94.479.841.000
Available Cash	34.161	94.479.841.000
Total	103.227	361.298.334.000

6.3.2 Biaya Produk (*Manufacturing Cost*)

Manufacturing cost merupakan seluruh biaya yang harus dikeluarkan untuk melakukan proses produksi di dalam pabrik. Biaya ini mencakup komponen *direct cost*, *indirect cost*, dan *fixed cost* yang berkaitan langsung maupun tidak langsung dengan pembuatan suatu produk. Komponen *manufacturing cost* terdiri dari:

a *Direct Manufacturing Cost* (DMC)

Direct manufacturing cost atau biaya produksi langsung merupakan pengeluaran yang berkaitan secara langsung dalam proses konversi bahan baku menjadi produk di dalam pabrik (misalnya biaya bahan baku, biaya tenaga kerja langsung, dan utilitas).

Tabel 6. 13 *Direct Manufacturing Cost* (DMC)

Komponen	Biaya/Tahun Rp.
Payroll overhead	470.400.000
Laboratorium	470.400.000
Plant Overhead	2.352.000.000

Tabel 6. 14 DMC (Lanjutan)

Packaging and Shipping	137.362.500.000
Distribution	82.055.000
Total	140.737.355.000

b *Indirect Manufacturing Cost* (IMC)

Indirect manufacturing cost atau biaya produksi tidak langsung merupakan biaya pengeluaran pabrik yang menunjang jalannya produksi, namun tidak terlibat secara langsung pada unit operasi utama (misalnya biaya pengepakan, layanan darurat, dan fasilitas umum pabrik).

Tabel 6. 15 *Indirect Manufacturing Cost* (IMC)

Komponen	Biaya/Tahun
	Rp.
Payroll overhead	470.400.000
Laboratorium	470.400.000
Plant Overhead	2.352.000.000
Packaging and Shipping	137.362.500.000
Distribution	82.055.000
Total	140.737.355.000

c *Fixed Manufacturing Cost* (FMC)

Fixed manufacturing cost atau biaya tetap merupakan biaya yang wajib dikeluarkan oleh pabrik, baik saat pabrik

beroperasi normal maupun saat sedang tidak beroperasi. Pengeluaran ini bersifat konstan dan nilainya tidak dipengaruhi oleh waktu maupun fluktuasi kapasitas tingkat produksi (misalnya biaya depresiasi, pajak, dan asuransi).

Tabel 6. 16 *Fixed Manufacturing Cost* (FMC)

Komponen	Biaya/Tahun	
	$	Rp.
Depreciation	244.736	26.303.846.000
Property Tax		315.646.000
Insurance	24.474	2.630.385.000
Total	269.210	29.249.877.000

Tabel 6. 17 *Total Manufacturing Cost*

Komponen	Biaya/Tahun	
	$	Rp.
Direct Cost	140.723	963.770.855.000
Indirect Cost		140.737.355.000
Fixed Cost	269.210	29.249.877.000
Total	409.933	1.133.758.087.000

6.3.3 Pengeluaran Umum (*General Expenses*)

General expenses atau pengeluaran umum terdiri dari biaya-biaya yang berhubungan dengan fungsi operasional perusahaan secara menyeluruh dan tidak termasuk ke dalam komponen *manufacturing*

cost. Biaya ini wajib dikeluarkan guna menjaga kelancaran aktivitas bisnis, manajemen, serta administrasi perusahaan secara keseluruhan (misalnya biaya administrasi, biaya pemasaran dan penjualan, serta biaya penelitian dan pengembangan).

Tabel 6. 18 *General Expense* (GE)

Komponen	Biaya/Tahun	
	$	Rp.
Administration		1.705.680.000
Sales		27.472.500.000
Research		34.340.625.000
Finance	204.000	78.042.099.000
Total	204.000	141.560.904.000

Tabel 6. 19 *Total Production Cost*

Komponen	Biaya/Tahun	
	$	Rp.
Manufacturing Cost	409.933	1.133.758.087.000
General Expense	204.000	141.560.904.000
Total	613.933	1.275.318.991.000

6.4 Analisa Keuangan

Analisis kelayakan ekonomi bertujuan untuk mengestimasi, mengevaluasi, serta memproyeksikan potensi keuntungan (laba) yang dapat dihasilkan oleh pabrik guna mencapai profitabilitas maksimum. Melalui

analisis ini, tingkat risiko investasi dapat dipetakan sehingga proyek pendirian pabrik dapat dikategorikan sebagai proyek yang potensial atau tidak secara finansial. Berikut adalah beberapa parameter yang digunakan untuk menguji dan menentukan kelayakan ekonomi suatu pabrik:

a Keuntungan Sebelum Pajak

Total Penjualan = Rp. 1.373.625.000.000

Total *Production Cost* = Rp. 1.285.902.582.000

Keuntungan = Total Penjualan - Total *Production Cost*

= Rp. 1.373.625.000.000 - Rp. 1.285.902.582.000

= Rp. 87.722.418.000

b Keuntungan Setelah Pajak

Pajak 22% dari keuntungan = Rp. 19.298.931.960

Keuntungan = Keuntungan Sebelum Pajak – Pajak

= Rp. 87.722.418.000 - Rp. 19.298.931.960

= Rp. 68.423.486.040

6.5 Analisa Kelayakan

Analisis kelayakan ekonomi bertujuan untuk menilai besarnya keuntungan yang dapat diperoleh sehingga dapat diketahui apakah investasi yang dilakukan mampu menghasilkan profit yang maksimal. Selain itu, analisis ini juga digunakan untuk menentukan tingkat keuntungan yang diperoleh guna menilai apakah suatu pabrik layak didirikan secara ekonomi atau tidak.

Beberapa parameter yang umum digunakan untuk menyatakan kelayakan ekonomi suatu pabrik antara lain sebagai berikut:

6.5.1 Return On Investment (ROT)

Return on Investment (ROI) merupakan ukuran yang menunjukkan besarnya keuntungan tahunan yang diperoleh berdasarkan jumlah investasi yang telah dikeluarkan, serta menunjukkan seberapa cepat modal tetap dapat dikembalikan melalui kegiatan operasional pabrik. ROI menjadi salah satu indikator penting dalam menilai kelayakan ekonomi suatu proyek industri.

Untuk industri kimia dengan tingkat risiko tinggi, nilai minimum ROI sebelum pajak adalah sebesar 44%, sedangkan untuk industri dengan risiko rendah nilai minimumnya sebesar 11% (Aries and Newton, 1955). Hasil keuntungan atau kerugian dari investasi ini sering disebut sebagai laba, rugi, atau bunga, tergantung pada kondisi keuangan dan performa usaha yang dijalankan.

$$ROI = \frac{Profit}{Fixed\ Capital\ Cost}\ x\ 100\% \quad (11)$$

$$ROI\ b = \frac{Keuntungan\ Sebelum\ Pajak}{Fixed\ Capital\ Cost}\ x\ 100\% \quad (12)$$

$$ROI\ a = \frac{Keuntungan\ Setelah\ Pajak}{Fixed\ Capital\ Cost}\ x\ 100\% \quad (13)$$

ROI b = ROI Sebelum Pajak

= 29%

ROI a = ROI Setelah Pajak

= 22%

6.5.2 Pay Out Time (POT)

Pay Out Time (POT) adalah periode waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan investasi awal berdasarkan laba yang dihasilkan. Perhitungan POT digunakan untuk mengetahui berapa lama waktu yang diperlukan hingga modal yang telah ditanamkan dapat kembali sepenuhnya melalui keuntungan operasional. Dengan demikian, POT menunjukkan lamanya waktu pengembalian modal berdasarkan profit yang diperoleh perusahaan.

$$POT\ b\ =\ \frac{Fixed\ Capital\ Invesment}{Keuntungan\ Sebelum\ Pajak + Depresiasi} \quad (14)$$

$$POT\ a\ =\ \frac{Fixed\ Capital\ Invesment}{Keuntungan\ Setelah\ Pajak + Depresiasi} \quad (15)$$

POT b = POT Sebelum Pajak

= 2,58 tahun

POT a = POT Setelah Pajak

= 3,08 tahun

6.5.3 Break Event Point (BEP)

Break Even Point (BEP) adalah kondisi ketika total pendapatan sama dengan total biaya, sehingga pada keadaan ini perusahaan tidak mengalami keuntungan maupun kerugian. Analisis BEP digunakan untuk menentukan harga jual minimum dan jumlah produk yang harus dijual agar perusahaan mulai memperoleh keuntungan.

$$BEP\ =\ \frac{Fa + 0{,}3\ Ra}{Sa - Va - 0{,}7\ Ra}\ x\ 100\% \quad (16)$$

Dimana:

Fa = *Annual Fixed Manufacturing Cost* pada produksi maksimum

Sa = *Annual Sales Value* pada produksi maksimum Annual

Va = *Annual Variable Value* pada produksi maksimum

Ra = *Annual Regulated Expenses* pada produksi maksimum

Tabel 6. 20 Annual Fixed Manufacturing Cost (Fa)

Komponen	Biaya/Tahun	
	$	Rp.
Depreciation	244.736	26.303.846.000
Property Taxes		19.298.931.960
Insurance	24.474	2.630.385.000
Total	610.522	15.834.135.000

Tabel 6. 21 Annual Regulated Expenses (Ra)

Komponen	Biaya/Tahun	
	$	Rp.
Labor Cost		2.352.000.000
Payroll Overhead		470.400.000
Supervision		2.352.000.000
Plant Overhead		352.800.000
Laboratory		470.400.000
General Expenses		141.560.904.000
Maintenance	122.368	13.151.923.000

Tabel 6. 22 Ra (Lanjutan)

Plant Supplies	18.355	1.972.788.000
Total	140.723	162.683.215.000

Tabel 6. 23 Annual Variable Value (Va)

Komponen	Biaya/Tahun Rp.
Raw Material	913.691.948.000
Packaging and Shipping	137.362.500.000
Utilities	18.513.146.000
Distribution	82.055.000
Royalties And Patents	13.736.250.000
Total	1.083.385.899.000

Tabel 6. 24 Annual Sales Value (Sa)

Komponen	Biaya/Tahun Rp.
Annual Sales Value	1.373.625.000.000
Total	1.373.625.000.000

Pada industri kimia, nilai BEP umumnya berada pada kisaran 40%–60% kapasitas produksi. Berdasarkan data yang diperoleh pada tabel sebelumnya, nilai BEP pabrik ini adalah sebesar 43,45%, sehingga masih berada dalam rentang yang layak untuk industri kimia.

6.5.4 Shut Down Point (SDP)

Shut Down Point (SDP) merupakan kondisi di mana kegiatan produksi harus dihentikan. Penghentian operasi dapat disebabkan oleh biaya variabel yang terlalu besar atau karena keputusan manajemen yang menilai bahwa kegiatan produksi tidak lagi memberikan keuntungan. Dengan kata lain, biaya operasional untuk menjalankan pabrik lebih besar dibandingkan biaya yang harus dikeluarkan apabila pabrik dihentikan dan hanya menanggung biaya tetap.

$$SDP = \frac{0{,}3\ Ra}{Sa - Va - 0{,}7\ Ra}\ x\ 100\% \qquad (17)$$

Maka, SDP yang diperoleh adalah 28,36%

6.5.5 Discounted Cash Flow Rate of Return (DCFR)

Discounted Cash Flow Rate (DCFR) adalah tingkat suku bunga yang diperoleh apabila seluruh modal yang tersedia digunakan sepenuhnya dalam kegiatan produksi. Suatu pabrik dinilai menguntungkan apabila nilai DCFR lebih besar dari satu setengah kali suku bunga pinjaman bank.

$$(FC + WC)(1 + i)^N = C \sum_{n=0}^{n=N-1}(1 + i)^N + WC + SV \qquad (8)$$

Dimana:

FC = *Fixed Capital Investment*

WC = *Working Capital Investment*

SV = *Salvage Value/Depresiasi*

n = Umur Pabrik (10 tahun)

i = Nilai DCFR

Dengan data perhitungan sebagai berikut:

FC = Rp. 305.228.461.485

WC = Rp. 361.303.495.000

SV = Rp. 196.440.500.000

n = 10 tahun

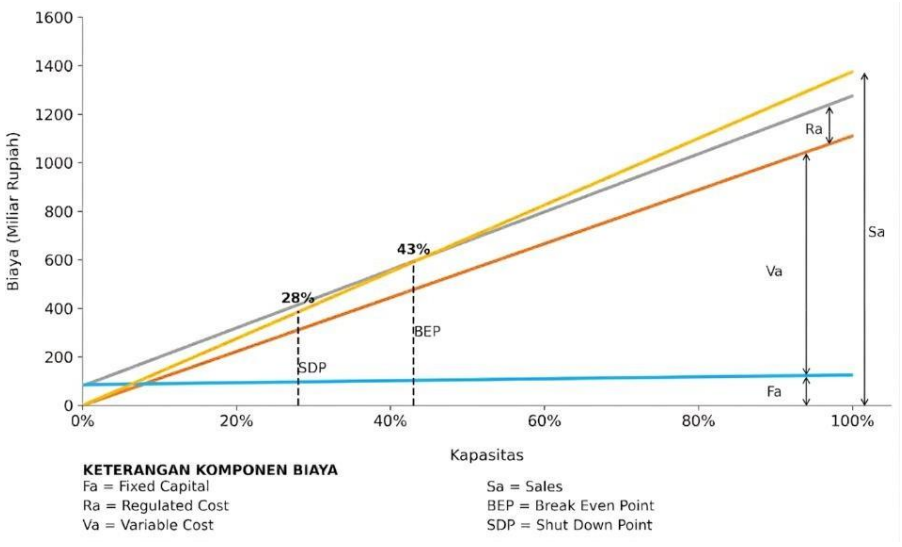
i = 0,2536

Sehingga diperoleh trial and error dapat dihitung nilai DCFR. Diperoleh DCFR adalah:

DCFR = 25,36%

Suku bunga pada tahun 2031 = 1,5 x 10%

= 15%



Gambar 6. 2 Grafik Evaluasi Ekonomi

6.5.6 Analisa Risiko Pabrik

Salah satu aspek penting untuk mendirikan pabrik adalah dengan mempertimbangkan tingkat risikonya. Apakah pabrik tersebut berisiko rendah (*Low Risk*) atau berisiko tinggi (*High Risk*). Penilaian risiko untuk pabrik etilen glikol yang akan dibangun ini dapat ditentukan berdasarkan parameter-parameter yang tercantum dalam tabel berikut:

Tabel 6. 25 Analisa Risiko Pabrik

Parameter	Deskripsi	Risk	
		Low	High
Kondisi Operasi	Suhu tertinggi dalam operasi < 200˚C	√	
	Tekanan tertinggi proses < 30 atm	√	
Proses Produksi	Proses menghasilkan produk yang dapat terurai secara biologis (*biodegradable*)	√	
Karakteristik bahan baku dan produk	Etilen glikol bersifat toksik apabila tertelan dan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan perairan.		√
	Etilen oksida bersifat reaktif, mudah terbakar.		√
	Air proses bersifat tidak berbahaya dan digunakan dalam proses produksi.	√	

Tabel 6. 26 Analisa Risiko Pabrik (Lanjutan)

Regulasi Pemerintah	Peraturan Menteri Ketenagakerjaan No. 5 Tahun 2018 tentang Nilai Ambang Batas (NAB) Faktor Kimia di Udara Lingkungan Kerja untuk etilena oksida dan etilen glikol.	√
	Peraturan Menteri Perindustrian No. 35 Tahun 2021 tentang Industri Kimia Dasar Organik.	√
	Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No.P.10/MENLHK/SETJEN/KUM.1/2018 Tentang Tata Cara Dan Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah B3	√
Keberadaan Pabrik	Pabrik direncanakan berada di Kawasan Industri Cilegon, Banten yang telah memiliki infrastruktur industri, sistem utilitas, dan sistem keamanan operasional yang memadai.	√

Berdasarkan kondisi operasi, proses produksi, karakteristik bahan baku dan produk, regulasi pemerintah, serta lokasi pabrik, maka pabrik etilen glikol ini dapat dikategorikan sebagai industri dengan risiko rendah hingga menengah (*low–medium risk*). Kondisi operasi berlangsung pada

suhu dan tekanan yang masih dapat dikendalikan dengan sistem utilitas industri standar, yaitu sekitar 191,9°C dan 4,55 atm. Namun demikian, penggunaan etilena oksida yang bersifat reaktif, mudah terbakar, dan toksik menyebabkan pabrik tetap memerlukan sistem keselamatan dan pengendalian proses yang baik untuk meminimalkan potensi bahaya selama operasi berlangsung.

Tabel 6. 27 Hasil Analisa Kelayakan

Kriteria	Nilai	Persyaratan	Layak/Tidak
ROI (before tax)	29%	ROI before taxes minimal 11%	Layak
ROI (after tax)	22%		Layak
POT (before tax)	2,58 tahun	POT before taxes maksimal 5 tahun	Layak
POT (after tax)	3,08 tahun		Layak
BEP	43,45%	40% – 60%	Layak
SDP	28,36%	20% - 40%	Layak
DCFR	25,36%	>1,5 bunga bank minimum = 15%	Layak

Berdasarkan analisis kelayakan ekonomi, pabrik etilen glikol dinyatakan layak dan menguntungkan untuk direalisasikan. Nilai *Return on Investment* (ROI) sebelum pajak sebesar 29% telah berada di atas batas minimum kelayakan industri kimia, sehingga menunjukkan bahwa investasi yang ditanamkan mampu memberikan keuntungan

yang baik. Selain itu, nilai *Pay Out Time* (POT) sebelum pajak yang berada di bawah batas maksimum 5 tahun menunjukkan bahwa pengembalian modal dapat berlangsung dalam waktu yang relatif cepat. Nilai *Break Even Point* (BEP) yang berada dalam rentang ideal 40%–60% menunjukkan bahwa pabrik memiliki tingkat efisiensi operasional yang baik, sedangkan nilai *Shut Down Point* (SDP) yang masih berada dalam batas aman mencerminkan kemampuan pabrik dalam mengendalikan biaya operasional. Di samping itu, nilai *Discounted Cash Flow Rate* (DCFR) yang melebihi batas minimum sebesar 1,5 kali bunga bank menunjukkan bahwa proyek ini memiliki prospek investasi jangka panjang yang baik dan menarik secara ekonomi.

Secara keseluruhan, seluruh parameter ekonomi yang diperoleh menunjukkan bahwa pabrik etilen glikol layak untuk didirikan dan memiliki prospek profitabilitas yang baik.

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan perancangan pabrik Etilen Glikol dengan metode hidrasi non-katalitik pada kapasitas 50.000 ton/tahun, baik ditinjau dari aspek teknis maupun ekonomi, dapat disimpulkan sebagai berikut:

a Tujuan Pendirian dan Justifikasi Pasar: Pendirian pabrik Etilen Glikol dari bahan baku Etilen Oksida dan air ini dirancang untuk kapasitas 50.000 ton/tahun. Penentuan kapasitas ini didasarkan pada analisis pasar di Asia untuk strategi substitusi impor guna memenuhi kebutuhan bahan baku industri tekstil (poliester) dan industri kemasan (*Polyethylene Terephthalate*/PET) di dalam negeri.

b Bentuk dan Lokasi Perusahaan: Pabrik Etilen Glikol ini direncanakan berbadan hukum Perseroan Terbatas (PT) dan berlokasi di Cilegon, Banten, dengan luas tanah 25.000 m^2 dan jumlah karyawan sebanyak 133 orang.

c Analisis Kelayakan Ekonomi: Berdasarkan evaluasi ekonomi, pabrik ini dinilai prospektif dan layak untuk didirikan dengan indikator kelayakan sebagai berikut:

1) Keuntungan Pabrik: Keuntungan sebelum pajak adalah sebesar Rp. 87.722.418.000 per tahun dan keuntungan setelah pajak adalah sebesar Rp. 68.423.486.040 per tahun.

2) Return on Investment (ROI): ROI sebelum pajak sebesar 29% dan setelah pajak sebesar 22%. Berdasarkan standar ROI untuk industri kimia, nilai ini menunjukkan bahwa pabrik tergolong berisiko rendah (*low risk*).

3) Pay Out Time (POT): POT sebelum pajak adalah 2,58 tahun dan setelah pajak adalah 3,08 tahun. Nilai ini memenuhi syarat investasi modal pabrik berisiko rendah, yaitu maksimal 5 tahun.

4) Break Even Point (BEP): Nilai BEP yang diperoleh sebesar 43,45%. Nilai tersebut memenuhi standar kelayakan pabrik kimia yang berada pada rentang 40% – 60%.

5) Shut Down Point (SDP): Nilai SDP yang diperoleh adalah sebesar 28,36%.

6) Discounted Cash Flow Rate (DCFR): Nilai DCFR yang diperoleh sebesar 25,36%. Nilai ini memenuhi syarat minimum karena berada di atas nilai bunga pinjaman bank secara riil.

d Kelayakan Finansial Akhir: Melalui seluruh parameter evaluasi ekonomi yang telah dilakukan, pabrik Etilen Glikol dari Etilen Oksida dan air dengan kapasitas 50.000 ton/tahun ini dinyatakan layak dan menarik untuk didirikan.

7.2 Saran

Untuk meningkatkan kelayakan perancangan serta mempermudah realisasi pendirian pabrik kimia ini di masa depan, disarankan beberapa hal sebagai berikut:

a **Optimasi Penggunaan Air (Rasio Mol Reaktan)**

Karena proses menggunakan metode hidrasi non-katalitik yang umumnya membutuhkan ekses air yang sangat besar untuk menekan pembentukan produk samping (di- dan tri-etilen glikol), disarankan untuk melakukan studi optimasi rasio mol etilen oksida terhadap air guna meminimalkan beban energi pada unit evaporator dan menara distilasi.

b **Integrasi Panas (*Heat Integration*)**

Perlu dilakukan analisis integrasi panas menggunakan *Pinch Technology* untuk mendesain jaringan alat penunjang panas (*Heat Exchanger Network*). Hal ini penting untuk menghemat konsumsi *steam* pada menara distilasi dan memanfaatkan panas fluida keluar reaktor yang eksotermik.

c **Simulasi dan Pengendalian Proses (*Process Control*)**

Perancangan ini dapat dikembangkan lebih lanjut ke arah simulasi dinamis (*dynamic simulation*) untuk mempelajari sistem pengendalian proses (*process control system*), terutama pada pengontrolan suhu reaktor demi menjaga selektivitas produk dan faktor keselamatan (*safety*).

d **Penerapan Prinsip *Green Chemistry* dan K3**

Mengingat etilen oksida merupakan senyawa yang bersifat toksik, mudah terbakar, dan reaktif, disarankan untuk memperdalam analisis HAZOP (*Hazard and Operability Study*) serta merancang

sistem penanganan tangki penyimpanan dan unit utilitas pengolahan limbah yang memenuhi standar regulasi lingkungan yang ketat.

e **Kajian Keandalan Unit Utilitas**

Perlu dilakukan analisis pemenuhan kebutuhan air pendingin (*cooling water*) secara lebih mendetail, mengingat proses pemisahan etilen glikol melibatkan unit kondensor dan sistem vakum yang membutuhkan efisiensi pendinginan yang tinggi.

f **Analisis Sensitivitas Ekonomi Makro**

Disarankan untuk melakukan analisis sensitivitas ekonomi yang lebih komprehensif terhadap fluktuasi harga bahan baku etilen oksida dan harga jual etilen glikol di pasar global, serta pengaruh perubahan suku bunga bank, guna menguji ketahanan finansial pabrik terhadap ketidakpastian ekonomi.

DAFTAR PUSTAKA

Aries, R. S., & Newton, R. D. (1955). *Chemical engineering cost estimation*. McGraw Hill Book Company.

ASME. (1994). *Water quality standard*. Diakses pada 18 April 2026, dari www.appa.org/files/asme.doc

Badan Pusat Statistik. (n.d.). *Impor dan ekspor dinamis*. Diakses pada 2 Januari 2026, dari www.bps.go.id

Brown, G. G. (1963). *Unit operation* (14th ed., Modern Asia Edition). John Wiley and Sons. Inc.

Brownell, L. E., & Young, E. H. (1959). *Process equipment design: Vessel design*. John Wiley & Sons.

Coulson, J. M., & Richardson, J. F. (1983). *Chemical engineering* (Vol. 6). Pergamon Press.

Geankoplis, J. C. (1978). *Transport process and unit operation*. Prentice Hall International.

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

ICIS Plant and Project Database. (1994). *Ethylene oxide industry*. Japan Refrigeration and Air Conditioning Industry Association Guidelines.

Kementerian Kesehatan RI. (2017). Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor: 32 tahun 2017, tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air untuk Keperluan Higienie Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua, dan Pemandian Umum. Diakses pada 10 Mei 2026, dari https://peraturan.bpk.go.id/Details/112092/permenkes-no-32-tahun-2017

Kementerian Ketenagakerjaan RI. (2018). Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2018 tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja Lingkungan Kerja. Nilai Ambang Batas (NAB) Faktor Kimia di Udara Lingkungan Kerja. Diakses pada 6 Mei 2026, dari https://jdih.kemnaker.go.id

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI. (2018). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.10/MENLHK/SETJEN/KUM.1/2018 tentang Tata Cara dan Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3). Diakses pada 12 Mei 2026, dari https://jdih.menlhk.go.id

Kementerian Perindustrian RI. (2021). Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 35 Tahun 2021 tentang Industri Kimia Dasar Organik. Diakses pada 15 Mei 2026, dari https://jdih.kemenperin.go.id

Kern, D. Q. (1950). *Process heat transfer*. McGraw-Hill Corp.

Kirk, R. E., & Othmer, D. F. (1998). *Encyclopedia of chemical technology* (3rd ed., Vol. 10, pp. 437-459). Interscience Publishers, John Wiley and Sons.

Kirk, R. E., & Othmer, V. R. (1994). *Encyclopedia of chemical technology: Flavor characterization to fuel cells* (4th ed., Vol. 11). John Wiley & Sons Inc.

Krakatau Tirta. (2019). *Air bersih*. Diakses pada 5 Mei 2026, dari https://www.krakatautirta.co.id/main-business/water-fresh

Ludwig, E. E. (1991). *Applied process design for chemical and petrochemical plants* (2nd ed., Vol. 1). Gulf Publishing Company Book Division.

Matches. (2026). *Index of process equipment*. Diakses pada 15 April 2026, dari http://www.matche.com/equipcost/EquipmentIndex.htm

McKetta, J. J., & Cunningham, W. (1984). *Encyclopedia of chemical processing and design* (Vol. 20). Marcel Dekker, Inc.

Pemerintah Republik Indonesia. (2021). Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Lampiran VI: Baku Mutu Air Nasional. Diakses pada 14 Mei 2026, dari https://jdih.setkab.go.id

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

PT Polychem Indonesia. (2020). *Products*. Diakses pada 29 Maret 2026, dari https://polychemindo.com/id/produk

Rase, H. F., & Holmes, J. R. (1977). *Chemical reactor design for process plant* (Vol. 1). John Wiley and Sons Inc.

Rebsdat, S., & Mayer, D. (2005). Ethylene oxide. In *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Wiley-VCH. https://doi.org/10.1002/14356007.a10_117

Smith, J. M., Van Ness, H. C., & Abbott, M. (1997). *Introduction to chemical engineering thermodynamics* (6th ed.). McGraw-Hill International Edition.

Ullmann. (2003). *Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry* (7th ed.). VCH Verlagsgesellschaft.

US Patent Mitsubishi Chemical Corporation. (1998). *Ethylene glycol process*.

van Hal, J. W., Ledford, J. S., & Zhang, X. (2007). Investigation of three types of catalysts for the hydration of ethylene oxide (EO) to monoethylene glycol (MEG). *Catalysis Today*, 123(1-4), 310-315.

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

LAMPIRAN A

Perhitungan Reaktor

REAKTOR 1

(R-01)

Fungsi : sebagai tempat berlangsungnya reaksi Etilen Oksida dan Air menjadi Etilen Glikol

Jenis : Reaktor alir tangki berpengaduk (RATB) dengan jaket pendingin

Kondisi Operasi : Suhu : 55˚C

Tekanan : 4,56 atm

Konversi : 96%

Waktu tinggal : 1,286 Jam

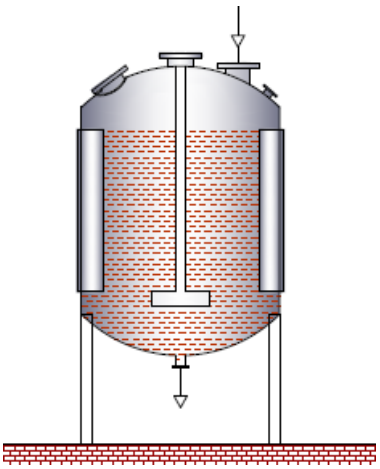
Reaksi Eksotermis

Tujuan :

a Menentukan Data Kinetika Reaktor

b Menghitung Volume Reaktor

c Menghitung Desain Reaktor



a Dasar Pemilihan Reaktor

1) Proses berlangsung secara *adiabatic* non-isothermal

2) Reaksi eksotermis sehingga diperlukan luas perpindahan panas yang tidak terlalu besar

b Neraca Massa Reaktor

1) Reaksi yang terjadi di dalam reaktor

$$C_2H_4O + H_2O \rightarrow C_2H_6O_2 \quad (18)$$

2) Neraca Massa

Berikut merupakan neraca massa proses pembentukan Etilen Glikol di dalam reaktor.

Tabel 2. Neraca Massa di Reaktor

Komponen	*Input* (Kg/Jam)			*Output* (Kg/Jam)
	T01	T02	Recycle	
C2H4O	-	4309,72	179,57	179,57
H2O	1960,312	43,10	23758,54	23998,52
C2H6O2	-	-	239,99	6313,13
Total	1960,312	4352,82	24178,09	30491,23

c Penyusunan Modelan Matematis dan Menentukan Data Kinetika Reaksi

1) Data Fisis

a) Menentukan Densitas

$$\rho_L = A.B^{-\left(1-\frac{T}{Tc}\right)^n} \times 1000$$

Tabel 3. Data Densitas Fase Cair

Komponen	A	B	n	Tc
C2H4O	0,3140	0,2609	0,2825	469,15
H2O	0,3471	0,2740	0,2857	647,13
C2H6O2	0,4304	0,2593	0,3702	645

(Yaws, 1999)

b) Menentukan Tegangan Permukaan

$$\sigma = A.\left(1 - \frac{T}{Tc}\right)^{n}$$

Tabel 4. Data tegangan permukaan

Komponen	A	Tc	n
C2H4O	74,73	469,15	1,141
H2O	66,85	591,79	1,2456
C2H6O2	106,491	645	1,2222

(Yaws, 1999)

c) Menentukan Viskositas

$$\log(\mu) = \mu la + \mu lb / T + \mu lc\ T + \mu ld\ .T^{2}$$

Tabel 5 Data Viskositas

Komponen	μla	μlb	μlc	μld
C2H4O	-5,7794	6,70E+02	1,57E-02	-1,95E-05
H2O	-10,22	1,79E+03	1,77E-02	-1,26E-05

C2H6O2	-16,9728	3,19E+03	3,25E-02	-2,45E-05

(Yaws, 1999)

d) Menentukan Tekanan Uap

$$log_{10}P = A + \frac{B}{T} + Clog_{10}T + DT + ET^2$$

Tabel 6. Data Tekanan Uap

Komponen	A	B	C	D	E
C2H4O	39,9235	-2359,5	-12,517	6,98E-03	-1,11E-13
H2O	29,8605	-3152,2	-7,3037	2,42E-09	1,81E-06
C2H6O2	82,4062	-6347,2	-25,433	-2,37E-09	8,75E-06

(Yaws, 1999)

e) Menentukan Kapasitas Panas

$$Cp = A + \frac{B}{T} + CT^2 + DT^3$$

Tabel 7. Kapasitas Panas

Komponen	A	B	C	D
C2H4O	35,72	4,29E-01	-1,55E-03	2,41E-06
H2O	9,21E+01	-4,00E-02	-2,11E-04	5,35E-07
C2H6O2	75,878	6,42E-01	-1,65E-03	1,69E-06

(Yaws, 1999)

2) Data Kinetika Reaksi

$r_a = k \cdot C_a$

Dengan keterangan:

C_a = Konsentrasi etilen oksida (kmol/m³)

k = Konstanta kecepatan reaksi (s^{-1})

r_a = Laju reaksi (kmol/m³·s)

Nilai konstanta laju reaksi:

k = 0,311 $menit^{-1}$ = 0,005183333 s^{-1} (sumber : Fogler,2016)

d Spesifikasi Reaktor

a) Menentukan Volume Cairan dalam Reaktor

Fa0 - Fa0 (1 -xa) + (-ra) Vl = 0

Dengan hubungan :

Fa0 : Kecepatan mol Ethilene Oksida mula2 (kmol /s)

ra : kecepatan reaksi ethilene oksida menjadi ethilene glikoal (kmol /m^3 s}

Vl : volume cairan dalam reaktor (m3)

xa : konversi ethilene oksida menjadi ethilene glikol

Persamaan disusun menjadi :

$$Vl = \frac{Fa0.xa}{ra} \qquad Vl = \frac{Fa0.xa}{Ca0^2.xa(1-xa)}$$

Waktu tinggal dihitung dengan persamaan :

$$\theta = \frac{Vopt}{Fv}$$

$\boldsymbol{\Phi}$: waktu tinggal (s)

Fv : kecepatan volume umpan (m3 /s)

Tabel 8. Menentukan Fa0 dan Ca0

Komponen	Mr	kg/s	Kmol/s	ρ (kg/m3)	fmass/ρl (m3/s)
C2H4O	44,04	1,25	0,0283	817,39	0,0015
H2O	18,02	7,16	0,3971	999,58	0,0072
C2H6O2	62,06	0,07	0,0011	1214,62	0,0001
Total		8,47	0,4265		0,0087

Fv = 0,087 m^3/s

k = 0,005183333 s^{-1}

Fa0 = 0,0283 kmol/s

Ca0 = 3,2399 $kmol/m^3$

Tabel 9. Volume Cairan

Xa	Vl (m3)	theta (s)
0,000	0,000	0,000
0,050	0,089	10,154
0,100	0,187	21,436
0,150	0,298	34,046
0,200	0,422	48,232
0,250	0,562	64,309

0,300	0,723	82,683
0,350	0,908	103,883
0,400	1,124	128,617
0,450	1,380	157,849
0,500	1,686	192,926
0,550	2,061	235,798
0,600	2,529	289,389
0,650	3,131	358,291
0,700	3,934	450,161
0,750	5,058	578,778
0,800	6,744	771,704
0,850	9,555	1093,248
0,900	15,175	1736,334
0,930	22,401	2563,160
0,960	40,467	4630,225
0,970	54,517	6237,942
0,980	82,619	9453,376

Dari grafik diperoleh =

X_{opt} = 0,960

V_{opt} = 40,467 m^3

Maka dapat diperoleh waktu tinggal =

$\boldsymbol{\Phi} = \frac{Vopt}{Fv}$

$\boldsymbol{\Phi} = \frac{40,467}{0,087} = 4630,225$ s

$\boldsymbol{\Phi}$ = 1,286 Jam

b) Menentukan Jumlah Reaktor Optimum

Fa0 - Fa0 (1 -xa) + (-ra) Vl = 0

Dengan Hubungan :

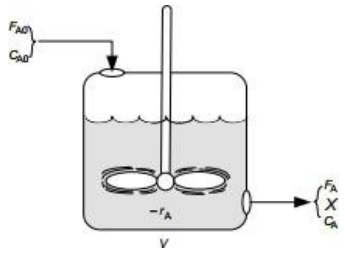
Fa0 = Kecepatan mol Ethilene Oksida mula2 (kmol /s)

Ra = kecepatan reaksi ethilene oksida menjadi ethilene glikoal (kmol /m^3s)

Vl = volume cairan dalam reaktor (m^3)

Xa = konversi ethilene oksida menjadi ethilene glikol

a) 1 Reaktor

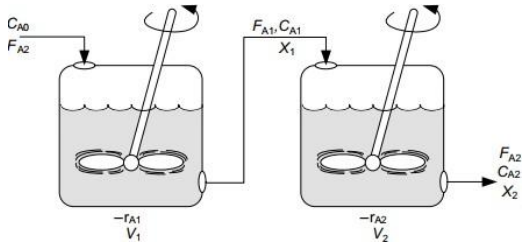


Gambar 1. 1 RATB

$$Vl\ 1 = \frac{Fa0\ x\ Xa1}{k\ Ca0\ (1-Xa1)}$$

Vl 1 = 40,467 m^3

b) 2 Reaktor



Gambar 2. 2 RATB

Reaktor ke-1

Vl 1 = $\frac{Fa0\ x\ Xa1}{k\ Ca0\ (1-Xa1)}$

Xa 1 = 0,601

$$Vl\ 1 = \frac{0{,}02832\ x\ 0{,}601}{0{,}0518\ x\ 3{,}24\ x\ (1-0{,}601)} = 2{,}54$$

Reaktor ke-2

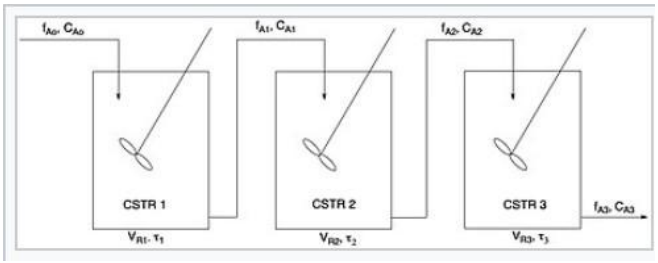
Vl 2 = $\frac{Fa0\ x\ (Xa2-Xa1)}{k\ Ca0\ (1-Xa1)}$

Xa 2 = 0,96

$$Vl\ 2 = \frac{0{,}02832\ x\ (0{,}96-0{,}601)}{0{,}0518\ x\ 3{,}24\ x\ (1-0{,}601)} = 2{,}54$$

Vtotal = Vl 1 + Vl 2 = 5,076

c) 3 Reaktor



Gambar 3. 3 RATB

Reaktor ke-1

$$Vl\ 1 = \frac{Fa0\ x\ Xa1}{k\ Ca0\ (1-Xa1)}$$

Xa 1 = 0,462

$$Vl\ 1 = \frac{0{,}02832\ x\ 0{,}462}{0{,}0518\ x\ 3{,}24\ x\ (1-0{,}462)} = 1{,}448$$

Reaktor ke-2

$$Vl\ 2 = \frac{Fa0\ x\ (Xa2-Xa1)}{k\ Ca0\ (1-Xa1)}$$

Xa 2 = 0,926

$$Vl\ 2 = \frac{0{,}02832\ x\ (0{,}926-0{,}462)}{0{,}0518\ x\ 3{,}24\ x\ (1-0{,}462)} = 1{,}454$$

Reaktor ke-3

$$Vl\ 3 = \frac{Fa0\ x\ (Xa3-Xa2)}{k\ Ca0\ (1-Xa3)}$$

Xa 3 = 0,96

$$Vl\ 3 = \frac{0{,}02832\ x\ (0{,}96-0{,}926)}{0{,}0518\ x\ 3{,}24\ x\ (1-0{,}96)} = 1{,}433$$

Vtotal = Vl 1 + Vl 2 + Vl 3 = 4,335

d) 4 Reaktor

Reaktor ke-1

$$Vl\ 1 = \frac{Fa0\ x\ Xa1}{k\ Ca0\ (1-Xa1)}$$

Xa 1 = 0,437

$$Vl\ 1 = \frac{0{,}02832\ x\ 0{,}437}{0{,}0518\ x\ 3{,}24\ x\ (1-0{,}437)} = 1{,}309$$

Reaktor ke-2

$$Vl\ 2 = \frac{Fa0\ x\ (Xa2-Xa1)}{k\ Ca0\ (1-Xa1)}$$

Xa 2 = 0,875

$$Vl\ 2 = \frac{0{,}02832\ x\ (0{,}875-0{,}437)}{0{,}0518\ x\ 3{,}24\ x\ (1-0{,}437)} = 1{,}312$$

Reaktor ke-3

$$Vl\ 3 = \frac{Fa0\ x\ (Xa3-Xa2)}{k\ Ca0\ (1-Xa3)}$$

Xa 3 = 0,9294

$$Vl\ 3 = \frac{0{,}02832\ x\ (0{,}9294-0{,}875)}{0{,}0518\ x\ 3{,}24\ x\ (1-0{,}9294)} = 1{,}299$$

Reaktor ke-4

$$\text{Vl } 4 = \frac{Fa0\ x\ (Xa4 - Xa3)}{k\ Ca0\ (1 - Xa4)}$$

Xa 4 = 0,96

$$Vl\ 3 = \frac{0{,}02832\ x\ (0{,}96 - 0{,}9294)}{0{,}0518\ x\ 3{,}24\ x\ (1 - 0{,}96)} = 1{,}290$$

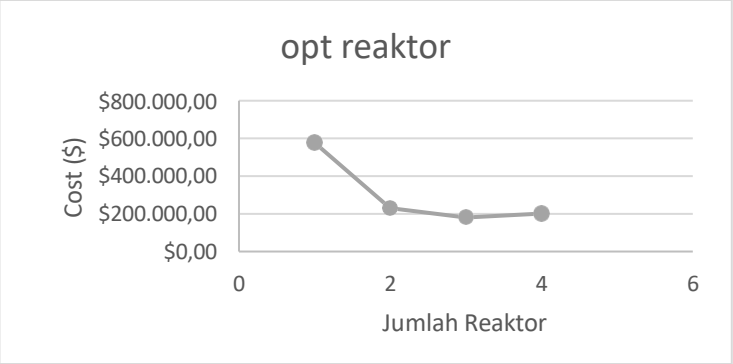
Vtotal = Vl 1 + Vl 2 + Vl 3 + Vl 4 = 5,230

e) Reaktor Optimum

Tabel 10. Optimasi Reaktor

Jumlah Reaktor	Volume 1 reaktor (gall)	Volume Total (gall)	Cost ($)
1	11303,49981	11303,49981	$577.000,00
2	708,8686479	1417,737296	$230.100,00
3	403,6589034	1210,97671	$180.400,00
4	363,7975261	1455,190104	$201.800,00

Grafik 1. Optimasi Reaktor



c) Volume Reaktor

Dirancang :

angka keamanan = 20%

Berdasarkan = Peters, M.S., K.D., Timmerhaus, Plant Design and ec for chemical engineers, (2001)

Vt = 120% + 1,448 m^3 = 1,7375 m^3 = 462 gal

Berdasarkan Harry Silla (2003) dalam *Chemical Process Engineering Design and Economics* halaman 324 dipilih volume reaktor standar sebesar 500 gal.

Table 7.3 Standard Stirred Tank Reactors (Source Ref. 13).

Rated Capacity[a] gal	Actual Capacity[a] gal	Jacket Area[b] ft^2	Outside Diameter[c] in	Straight Shell[c] in
500	559	75	54	51
750	807	97	60	60
1000	1075	118	66	66
1200	1253	135	66	78
1500	1554	155	72	81
2000	2083	191	78	93
2500	2756	230	84	105
3000	3272	256	90	108
3500	3827	283	96	111
4000	4354	304	102	111
5000	5388	353	108	123
6000	6601	395	120	120
8000	8765	466	132	132
10,000	10,775	540	144	135

a) To convert gal to m^3, multiply by $3.785x10^{-3}$.
b) To convert ft^2 to m^3, multiply by $9.29x10^{-2}$.
c) To convert in to m, multiply by $2.54x10^{-2}$.

Dari tabel 7.3 diketahui volume reaktor aktual = 559 gal = 2,251 m^3

Tinggi = 54 in = 1,3716 m

Diameter = 51 in = 1,2954 m

d) Ukuran Reaktor

a. Menghitung tebal dinding reaktor

Dihitung dengan persamaan

$$ts = \frac{Pgauge.RO}{fall.\varepsilon + 0{,}4.Pgauge} + C"$$

(Megyesy, E. F. (1997). *Pressure vessel handbook* halaman 22)

Dengan hubungan,

C” = faktor korosi (m)

fall = *allowable stress* (kPa)

Pgauge = tekanan terukur (kPa)

Ro = jari-jari luar vessel (m)

ts= tebal dinding (m)

ε = efisiensi sambungan

1) Bahan konstruksi = *stainless steel* 316 SS (Megyessy, 1997, hlm. 230)
2) *Allowable stress*, *fall* = 16700 psi = 115697,6 kPa (Megyessy, 1997, hlm. 189)
3) Faktor korosi = 0,13 – 0,15 mm/tahun (Peters dkk., 2003, hlm. 444)

   C" = Faktor korosi x Umur Reaktor x 0,001 m
   C" = 0,15 mm/tahun x 10 tahun x 0,001 m
   C" = 0,0015 m

4) Efisiensi sambungan = 0,85 (Megyessy, 1997, hlm. 206)
5) Tekanan terukur =

   Pdesign = 1,5 x tekanan operasi
   Pdesign = 1,5 x 4,5 bar x 101,325 kPa/bar
   Pdesign = 683,94375 bar

   Plingkungan = 4,5 bar x 101,325 kPa/bar
   Plingkungan = 455,9625 bar

Pgauge = Pdesign - Plingkungan

Pgauge = 683,94375 bar - 455,9625 bar

Pgauge = 227,9813 bar

6) Jari^2 luar

$$Ro = \frac{Do}{2}$$

$$Ro = \frac{1{,}3716\ m}{2} = 0{,}6858\ m$$

Maka,

$$ts = \frac{Pgauge.RO}{fall.\varepsilon + 0{,}4.Pgauge} + C"$$

$$ts = \frac{227{,}9813\ x\ 0{,}6858}{115697{,}6.x\ 0{,}85 + 0{,}4\ x\ 227{,}9813} + 0{,}0015$$

$$ts = 0{,}00309\ m$$

b. Menghitung tebal standar reaktor

Dinyatakan dalam “in” =

$$ts = \frac{2}{16} in$$

$$tebal\ standar = \frac{1}{4} in$$

c. Menghitung *head* reaktor

Pemilihan jenis *head* berdasarkan tekanan operasi dimana untuk tekanan operasi < 15 bar dapat digunakan jenis *torispherical dishead* berdasarkan referensi Towler,G ., dan R. Sinnott. (2008). Chemical Engineering Design Principles, Mc Graw Hill halaman 987.

Tebal *head* (Brownell and Young. (1959). Process Equipment, John Willey and Son halaman 90.

Table 5.7. Dimensions of ASME Code Flanged and Dished Heads (Continued)

OD	40		42		48		54		60		66		72	
t	*icr*	*r*	*icr*	*r*	*icr*	*r*	*icr*	*r*	*icr*	*r*	*icr*	*r*	*icr*	*r*
3/16	2½	40	2⅝	42	3	48	3¼	54	3⅝	60	4	66	4⅜	72
¼				40										
5/16														
⅜						48								
7/16						42		54						
½		40						48		60		66		
⅝		36								54		60		
¾	2½													72
⅞	2⅝		2⅝											66
1	3		3	40	3		3¼							
1⅛	3⅜		3⅜	42	3⅜		3⅜		3⅝					
1¼	3¾								3¾		4			
1⅜	4⅛										4⅛		4⅜	
1½	4½					42							4½	
1⅝	4⅞					48							4⅞	
1¾	5¼												5¼	
1⅞	5⅝												5⅝	
2	6							48					6	
2¼	6¾							54					6¾	
2½	7½												7½	
2¾	8¼	36	8¼	42	8¼								8¼	
3					9	48	9	54	9	54	9	60	9	66

Gambar 4. Dimensi Head Berdasarkan ASME

Jari-jari kelengkungan, r = 66 in = 1,6764 m
Jari-jari kelengkungan internal, r = 4 in = 0,1016 m

Nilai *straight flange* (sf) diperoleh dari tabel 5.6 Brownell dan Young. (1959).

Table 5.6. Dimensions of Flanged and Standard Dished Heads
(Courtesy of Lukens Steel Company)

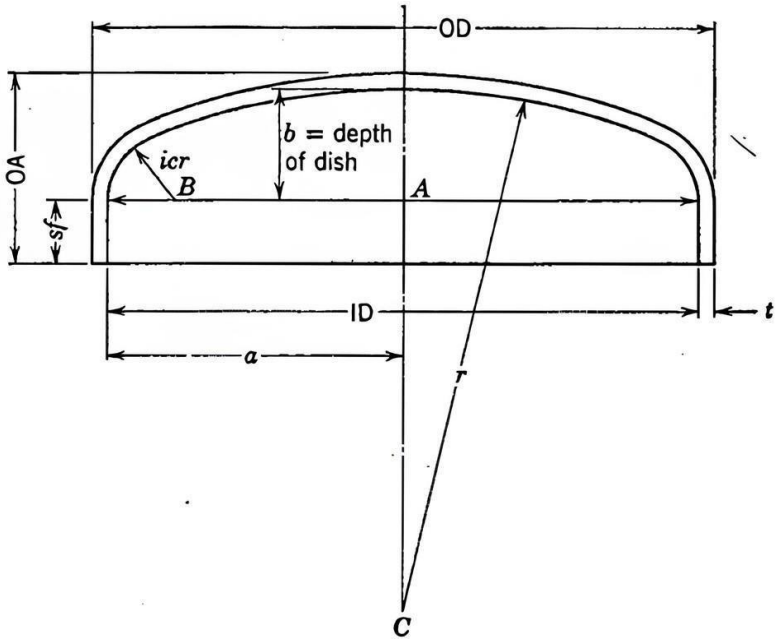
Thickness (in.) *t*	Standard Straight Flange (in.) *sf*	Inside-corner Radius (in.) *icr*
3/16	1½–2	9/16
¼	1½–2½	3/4
5/16	1½–3	15/16
⅜	1½–3	1⅛
7/16	1½–3½	1 5/16
½	1½–3½	1½
⅝	1½–3½	1⅞
¾	1½–3½	2¼
⅞	1½–4	2⅝
1	1½–4	3
1⅛	1½–4½	3⅜
1¼	1½–4½	3¾
1⅜	1½–4½	4⅛
1½	1½–4½	4½
1⅝	1½–4½	4⅞
1¾	1½–4½	5¼
1⅞	1½–4½	5⅝
2	1½–4½	6
2¼	1½–4½	6¾
2½	1½–4½	7½
2¾	1½–4½	8¼
3	1½–4½	9

Gambar 5. Nilai Straight Flange

Straight flange: berkisar antara 1,5 – 2,5 in

Dipilih nilai sf = 2 in = 0,0508 m

Sketsa :



Gambar 6. Torispherical dished head (Brownell & Young, 1959)

Dimana,

icr = jari- jari sudut internal (m)

r = jari-jari kelengkungan (m)

sf = *straight flange* (m)

th = tebal penutup (m)

OA= tinggi penutup (m)

Tinggi penutup dapat dihitung dengan persamaan :

$OA = th + b + sf$

Dengan nilai

$BC = r - icr = 1{,}6764\ m - 0{,}1016\ m = 1{,}5748\ m$

$$AB = \frac{Do - 2t}{2} - icr = \frac{1{,}3716 - 2\,(0{,}00635)}{2} - 0{,}1016$$

AB = 0,57785 m

$$b = r - \sqrt{BC^2 - AB^2} = 0{,}211448\ m$$

OA = 0,00635 + 0,0508 + 0,211448 = 0,269 m

Menghitung tinggi reaktor :

$$\text{Htotal} = \text{Ht} + 2 \times \text{tinggi head}$$

$$\text{Htotal} = 1{,}2954 + 2\ (0{,}269)$$

$$\text{Htotal} = 1{,}83\ \text{m}$$

e) Pengaduk

(1) Jenis Pengaduk

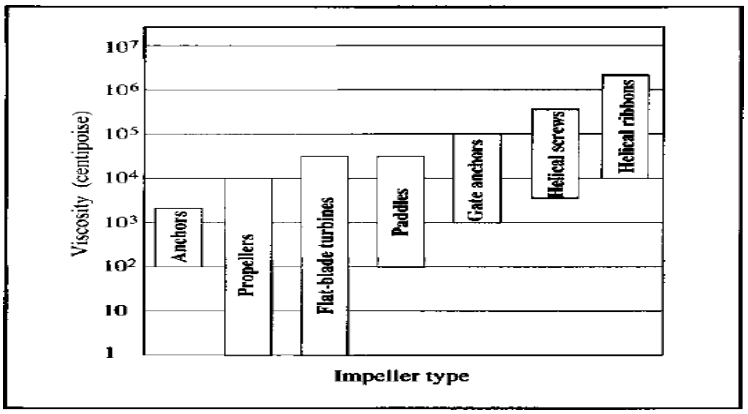
Jenis pengaduk dipilih berdasarkan viskositas fluida yang diaduk (Holland, F.A dan F.S.,Chapman , Liquid Mixing and Processing in Strirred Tanks, Reinhold New York , 1966).

Pada suhu T = 55ºC = 328,15 K

Tabel 11. Viskositas Umpan

Komponen	Kg/Jam	Fraksi Massa	μ [cP]	xmassa x μ
C2H4O	4489,29	0,147232321	0,208	0,0307
H2O	25761,95	0,844897047	0,485	0,4102
C2H6O2	239,99	0,007870632	5,987	0,0471
Total	30491,23	1		0,4879

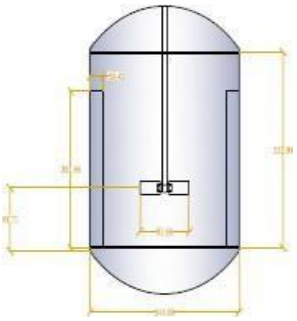
Untuk viskositas 0,4879 cP maka jenis pengaduk yang dipilih adalah *flat turbine*



Gambar 7. Jenis Pengasuk (Holland & Chapman, 1966)

(2) Ukuran Pengaduk

Sketsa :



Gambar 8. Sketsa Pengaduk Reaktor

Dimana,

B = lebar *baffle* [m]

Di = diameter pengaduk [m]

Dt = diameter reaktor [m]

Ht = tinggi lurus reaktor [m]

W = lebar sudut [m]

z = elevasi pengaduk [m]

r = panjang blade impeler [m]

s = panjang blade dari pusat bantalan [m]

Dengan,

Di $= \frac{1}{3} Dt = \frac{1}{3} 1{,}3716 = 0{,}4572\, m$

r $= \frac{1}{4} Di = \frac{1}{4} 0{,}4572 = 0{,}1143\, m$

B $= \frac{1}{12} Dt = \frac{1}{12} 1{,}3716 = 0{,}1143$ m

z $= \frac{1}{3} Ht = \frac{1}{3} 1{,}2954 = 0{,}4138\, m$

W $= \frac{1}{5} Di = \frac{1}{5} 0{,}4572 = 0{,}02286\, m$

s $= \frac{1}{8} Di = \frac{1}{8} 0{,}4572 = 0{,}05715\, m$

(3) Kecepatan Putar Pengaduk

Dipilih berdasarkan Rase, H.F., dan J.R., Holmes. (1977). Chemical Reactor Design for Process Plants vol.1 halaman 366, Willey and Son, New York dimana kecepatan putar berkisar antara 500 ft/menit sampai 700 ft/menit.

Dipilih v = 500 ft × 0,3048 m/ft = 152,4 m/menit

Rpm $= 152{,}4 \frac{m}{menit} x \frac{1}{\pi\, x\, Di \frac{m}{rotasi}} = 152{,}4\, x \frac{1}{\pi\, x\, 0{,}4572} = 106{,}1\, rpm$

(4) Bilangan Reynold

$$Re = \frac{\rho l\, x\, N\, x\, Di^2}{\mu l}$$

Dengan hubungan,

Re = bilangan reynold

μl = viskositas fluida yang diaduk [kg/m.s]

Viskositas fluida yang diaduk

μl = 0,4879 cP × 0,001 kg/m. s. cP = 0,000488 kg/m. S

Rapat Massa Cair

$$\rho l = \frac{Kec.Massa}{Kec.Volume} = \frac{30491{,}23\ kg/jam}{31{,}4627\ m^3/jam} = 969{,}12\ kg/m^3$$

Kecepatan Pengaduk

$$N = \frac{Rpm}{60} = \frac{106{,}1\ rpm}{60} = 1{,}768\ s^{-1}$$

Maka,

$$Re = \frac{969{,}12\ x\ 1{,}768\ x\ 0{,}4572^2}{0{,}000488} = 734193{,}24$$

(5) Daya Penggerak

Dihitung dengan persamaan

$Po = \rho l\ x\ Np\ x\ N^3 x\ Di^5$

Dengan hubungan,

Di = diameter pengaduk [m]

N = kecepatan pengaduk [1/s]

Np = bilangan daya

Po = daya penggerak [watt]

ρl = rapat massa fluida yang diaduk [kg/m^3]

Dimana bilangan daya Np diperoleh dari Fig 10-59, Towler halaman 619

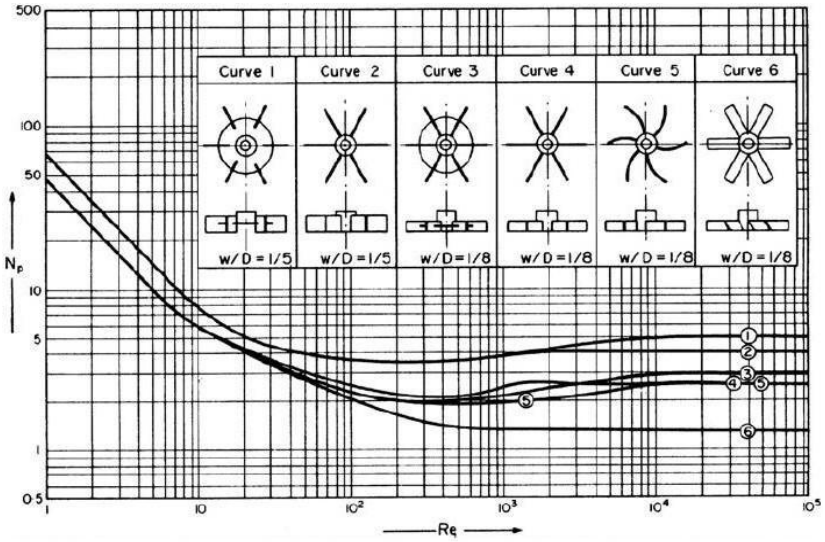


Figure 10.59. Power correlations for baffled turbine impellers, for tank with 4 baffles [from Uhl and Gray (1967) with permission]. w = impeller width, D = impeller diameter.

Gambar 9. Bilangan daya Np

Re > 100.000 dari gambar diatas diperoleh Np = 4

$$Po = 4 \times 969{,}12\ kg/m^3 \times 1{,}768\ s^{-1}{}^3 \times 0{,}4572\ m^5$$

$$Po = 428{,}255\ watt$$

(6) Efisiensi Motor

Diperoleh dari tabel 3.1 Towler halaman 11

Table 3.1. Approximate Efficiencies of Electric Motors

Size (kW)	Efficiency (%)
5	80
15	85
75	90
200	92
750	95
>4000	97

Gambar 10. Efisiensi Motor

Po = 0,4285 kW

Dari tabel diperoleh efisiensi = 80%

$$Daya = \frac{0{,}4285\ Kw}{80\%} = 535{,}319\ watt\ x\ 0{,}001341$$

$$Daya = 0{,}72\ hp$$

(7) Motor Standar

Diperoleh dari Ludwig, E.E. (2001). Applied Process Design For Chemical and Petrochemical Plants edisi 3, halaman 628. Gulf Publishing, Co. Houston, Texas.

Horsepower Ratings.[31] Standard NEMA ratings for induction motors are

General purpose: $^1/_2$, $^3/_4$, 1, 1 $^1/_2$, 2, 3, 5, 7 $^1/_2$, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, and 500.

Large motors: 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700, 800, 900, 1,000, 1,250, 1,500, 1,750, 2,000, 2,250, 2,500, 3,000, 3,500, 4,000, 4,500, 5,000 and up to 30,000.

Gambar 11. Motor Standar

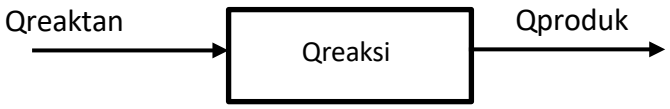
Motor standar = motor induksi dengan daya = 0,75 hP

f) Neraca Panas Masing-Masing Reaktor

(1) Reaktor 1

Neraca panas pada reaktor

Kec. panas masuk – kec. panas keluar + panas yang timbul karena reaksi - panas yang harus diserap = akumulasi



Qreaktan + Qreaksi – Qproduk – Qpp = 0 Dimana,

Qpp = panas yang harus diserap oleh media pendingin [kJ/jam]

Qreaktan = Σ mi Cpi (Treff – T1)

$Qr = -F_{A0}x_{A1}\,\Delta Hr_1° + (-F_{A0}x_{A2}\,\Delta Hr_2)$

Qproduk = Σ mproduk Cp (T2 – Treff)

Kecepatan panas masuk

Suhu T1 = 328,15 K

Suhu referensi, treff = 298,15 K

Tabel 12. Kapasitas Panas Umpan Masuk

Komponen	Kg/Jam	kmol/Jam	int cp dt	m x int cp dt
C2H4O	4489,29386	101,9367361	21,39	2180,427907
H2O	25761,9462	1429,630754	93,05	133025,2347
C2H6O2	239,9852221	3,866987143	55,09	213,0217652
Total	30491,22528	1535,434478		135418,6844

Qreaktan = 135418,6844 Kj/jam

enthalpy reaksi pada keadaan standart, diperoleh dari Perry, R.H., Chemical Engineer Handbook, ed VII

ΔH˚r = ∑ ΔH˚r produk - ∑ ΔH˚r reaktan

ΔH˚r = -94890

Qr = - Fa0 xa ΔHr0 = -0,0283 x 0,462 x -94890 = 1241,34 kJ/Jam

Panas yang dibawa produk keluar

Suhu T_1 = 328,15 K

Suhu referensi, treff = 298,15 K

Tabel 13. Kapasitas panas produk keluar

Komponen	Kg/Jam	kmol/Jam	int cp dt	m x int cp dt
C2H4O	2415,2401	54,8419	21,39	1173,0702
H2O	24913,2984	1382,5359	93,05	128643,129
C2H6O2	3162,6868	50,9618	55,09	2807,344
Total	30491,225	1488,3397		132623,5434

Qproduk = 132623,5434 kJ/Jam

Panas yang Harus di serap oleh media pendingin =

Qpp = Qreaktan + Qreaksi – Qproduk

= 135418,6844 + 1241,34- 132623,5434

= 269283,5674 kJ/jam

Media Pendingin =

Sebagai media pendingin digunakan air pendingin Suhu air masuk, t_1 = 293,15 K

Suhu air keluar, t_2 = 303,15 K

Suhu rerata, tav = 298,15 K

Kapasitas panas, Cp = 4,184 kJ/kg.K

Viskositas, μ = 0,7 cP

Rapat massa, ρ = 991,056 kg/m^3 (Perry, ed 8 , halaman 2 . 96)

Massa air pendingin yang diperlukan

Dihitung dengan persamaan

$$mair = \frac{Qt}{cpair\ (t2-t1)} = \frac{269283{,}5674\ kJ//Jam}{4{,}184\frac{kJ}{kg}\text{K x } (303{,}15-293{,}15\text{ K})}$$

$mair$ = 6463,032 Kg/Jam

Beda Suhu Rerata =

Panas		Dingin	Beda
328,15	Suhu Atas	303,15	25
328,15	Suhu Bawah	293,15	35

$$\boldsymbol{LMTD} = \frac{\Delta t2-\Delta t1}{ln\ (\frac{\Delta t2}{\Delta t1})}$$

$$\boldsymbol{LMTD} = \frac{35-25}{ln\ (\frac{35}{25})} = 29{,}72\ K$$

Koefisien perpindahan Kalor

Diprediksi berdasarkan Towler dan Sinnot halaman 798

Table 12.1. Typical Overall Coefficients—Cont'd

Immersed Coils		
Coil	**Pool**	
Natural circulation		
Steam	Dilute aqueous solutions	500–1000
Steam	Light oils	200–300
Steam	Heavy oils	70–150
Agitated		
Steam	Dilute aqueous solutions	800–1500
Steam	Light oils	300–500
Steam	Heavy oils	200–400
Water	Aqueous solutions	400–700
Water	Light oils	200–300
Jacketed Vessels		
Jacket	**Vessel**	
Steam	Dilute aqueous solutions	500–700
Steam	Light organics	250–500
Water	Dilute aqueous solutions	200–500
Water	Light organics	200–300

Gambar 12. Nilai Koefisien Perpindahan Kalor

Nilai Ud berkisar antara 500-700 J/m^2.s.K

Dicoba Ud = 700 J/m^2.s.K × 0,001 kJ/J = 0,7 kJ/ m^2.s.K

Luas perpindahan Kalor yang diperlukan =

$$A = \frac{QPP}{UD\ x\ LMTD} = \frac{26983{,}5674/3600}{0{,}7\ x\ 29{,}72} = 3{,}6\ m^2$$

Luas Selimut =

$A_{tersedia}$ = π x Dt x Hl x 80%

$A_{tersedia}$ = 3,14 x 1,3716 x 1,2954 x 80%

$A_{tersedia}$ = 4,466 m^2

Luas selimut tangki yang tersedia > luas perpindahan kalor yang diperlukan, maka sistem pendingin yang digunakan sistem jacket

(2) Reaktor 2

Neraca panas pada reaktor

Kec. panas masuk – kec. panas keluar + panas yang timbul karena reaksi - panas yang harus diserap = akumulasi



Qreaktan + Qreaksi – Qproduk – Qpp = 0 Dimana,

Qpp = panas yang harus diserap oleh media pendingin [kJ/jam]

Qreaktan $= \Sigma$ mi Cpi (Treff – T1)

$Qr = -F_{A0}x_{A1}\,\Delta Hr_1° + (-F_{A0}x_{A2}\,\Delta Hr_2)$

Qproduk $= \Sigma$ mproduk Cp (T2 – Treff)

Kecepatan panas masuk

Suhu T1 = 328,15 K

Suhu referensi, treff = 298,15 K

Tabel 14. Kapasitas Panas Umpan Masuk

Komponen	Kg/Jam	kmol/Jam	int cp dt	m x int cp dt
C2H4O	2415,2401	54,8419	21,39	1173,0702
H2O	24913,2984	1382,5359	93,05	128643,129

C2H6O2	3162,6868	50,9618	55,09	2807,3442
Total	30491,225	1488,3397		132623,5434

Qreaktan = 132623,5434 Kj/jam

enthalpy reaksi pada keadaan standart, diperoleh dari Perry, R.H., Chemical Engineer Handbook, ed VII

$\Delta H^\circ r = \sum \Delta H^\circ r$ produk - $\sum \Delta H^\circ r$ reaktan

$\Delta H^\circ r = -1246,7135$

Qr = - Fa0 xa $\Delta Hr0$ = -0,0283 x 0,926 x -1246,7135

Qr = 32,6893 kJ/Jam

Panas yang dibawa produk keluar

Suhu T1 = 328,15 K

Suhu referensi, treff = 298,15 K

Tabel 15. Kapasitas panas produk keluar

Komponen	Kg/Jam	kmol/Jam	int cp dt	m x int cp dt
C2H4O	332,2077	7,5433	21,39	161,3517
H2O	24060,9768	1335,2373	93,05	124242,0531
C2H6O2	6098,0407	98,2604	55,09	5412,897
Total	30491,22528	1441,0402		129816,3022

Qproduk = 129816,3022 kJ/Jam

Panas yang Harus di serap oleh media pendingin =

Qpp = Qreaktan + Qreaksi – Qproduk

Qpp = 132623,5434 + 32,6893 - 129816,3022

Qpp = 262472,5349 kJ/jam

Media Pendingin =

Sebagai media pendingin digunakan air pendingin Suhu air masuk,

t_1 = 293,15 K

Suhu air keluar, t_2 = 303,15 K

Suhu rerata, tav = 298,15 K

Kapasitas panas, Cp = 4,184 kJ/kg.K

Viskositas, μ = 0,7 cP

Rapat massa, ρ = 991,056 kg/m^3 (Perry, ed 8 , halaman 2 . 96)

Massa air pendingin yang diperlukan

Dihitung dengan persamaan

$$mair = \frac{Qt}{cpair\ (t2 - t1)} = \frac{262472{,}5349\ kJ/Jam}{4{,}184\ \frac{kJ}{kg}.\text{K x } (303{,}15 - 293{,}15\ \text{K})}$$

$mair$ = 6273,2441 Kg/Jam

Beda Suhu Rerata =

Panas		**Dingin**	**Beda**
328,15	Suhu Atas	303,15	25
328,15	Suhu Bawah	293,15	35

$$\boldsymbol{LMTD} = \frac{\Delta t2 - \Delta t1}{ln\,(\frac{\Delta t2}{\Delta t1})}$$

$$\boldsymbol{LMTD} = \frac{35-25}{ln\,(\frac{35}{25})} = 29{,}72\ K$$

Koefisien perpindahan Kalor

Diprediksi berdasarkan Towler dan Sinnot halaman 798

Table 12.1. Typical Overall Coefficients—Cont'd

Immersed Coils		
Coil	**Pool**	
Natural circulation		
Steam	Dilute aqueous solutions	500–1000
Steam	Light oils	200–300
Steam	Heavy oils	70–150
Agitated		
Steam	Dilute aqueous solutions	800–1500
Steam	Light oils	300–500
Steam	Heavy oils	200–400
Water	Aqueous solutions	400–700
Water	Light oils	200–300
Jacketed Vessels		
Jacket	**Vessel**	
Steam	Dilute aqueous solutions	500–700
Steam	Light organics	250–500
Water	Dilute aqueous solutions	200–500
Water	Light organics	200–300

Gambar 13. Nilai Koefisien Perpindahan Kalor

Nilai Ud berkisar antara 500-700 J/m^2.s.K

Dicoba Ud = 700 J/m^2.s.K × 0,001 kJ/J = 0,7 kJ/ m^2.s.K

Luas perpindahan Kalor yang diperlukan =

$$A = \frac{QPP}{UD\ x\ LMTD} = \frac{262472{,}5349\ /3600}{0{,}7\ x\ 29{,}72} = 3{,}5\ m^2$$

Luas Selimut =

$A_{tersedia} = \pi$ x Dt x Hl x 80%

$A_{tersedia}$ = 3,14 x 1,3716 x 1,2954 x 80%

$A_{tersedia}$ = 4,466 m^2

Luas selimut tangki yang tersedia > luas perpindahan kalor yang diperlukan, maka sistem pendingin yang digunakan sistem jacket

(3) Reaktor 3

Neraca panas pada reaktor

Kec. panas masuk – kec. panas keluar + panas yang timbul karena reaksi - panas yang harus diserap = akumulasi



Qreaktan + Qreaksi – Qproduk – Qpp = 0 Dimana,

Qpp = panas yang harus diserap oleh media pendingin [kJ/jam]

Qreaktan = Σ mi Cpi (Treff – T1)

$Qr = -F_{A0}x_{A1}\,\Delta Hr_1° + (-F_{A0}x_{A2}\,\Delta Hr_2)$

Qproduk = Σ mproduk Cp (T2 – Treff)

Kecepatan panas masuk

Suhu T1 = 328,15 K

Suhu referensi, treff = 298,15 K

Tabel 16. Kapasitas panas umpan masuk

Komponen	Kg/Jam	kmol/Jam	int cp dt	m x int cp dt
C2H4O	332,2077	7,5433	21,39	161,3517
H2O	24060,9768	1335,2373	93,05	124242,0531
C2H6O2	6098,0407	98,2604	55,09	5412,897
Total	30491,22528	1441,0402		129816,3022

Qreaktan = 129816,3022 Kj/jam

enthalpy reaksi pada keadaan standart, diperoleh dari Perry, R.H., Chemical Engineer Handbook, ed VII

$\Delta H^\circ r = \sum \Delta H^\circ r$ produk - $\sum \Delta H^\circ r$ reaktan

$\Delta H^\circ r = -91,3540$

Qr = - Fa0 xa $\Delta Hr0$ = -0,0283 x 0,96 x -91,3540

Qr = 2,4833 kJ/Jam

Panas yang dibawa produk keluar

Suhu T_1 = 328,15 K

Suhu referensi, treff = 298,15 K

Tabel 17. Kapasitas panas produk keluar

Komponen	Kg/Jam	kmol/Jam	int cp dt	m x int cp dt
C2H4O	179,5718	4,0775	21,39	87,2171

H2O	23998,5222	1331,7715	93,05	123919,5604
C2H6O2	6313,1313	101,7263	55,09	5603,8216
Total	30491,225	1437,5752		129610,5992

Qproduk = 129610,5992 kJ/Jam

Panas yang Harus di serap oleh media pendingin =

Qpp = Qreaktan + Qreaksi – Qproduk

Qpp = 129816,3022 + 2,4833 - 129610,5992

Qpp = 259429,3847 kJ/jam

Media Pendingin =

Sebagai media pendingin digunakan air pendingin Suhu air masuk,

t_1 = 293,15 K

Suhu air keluar, t_2 = 303,15 K

Suhu rerata, tav = 298,15 K

Kapasitas panas, Cp = 4,184 kJ/kg.K

Viskositas, μ = 0,7 cP

Rapat massa, ρ = 991,056 kg/m^3 (Perry, ed 8 , halaman 2 . 96)

Massa air pendingin yang diperlukan

Dihitung dengan persamaan

$$mair = \frac{Qt}{cpair\ (t2 - t1)} = \frac{259429{,}3847\ kJ/Jam}{4{,}184\ \frac{kJ}{kg}.\text{K x } (303{,}15 - 293{,}15\ \text{K})}$$

$mair$ = 6200,5111 Kg/Jam

Beda Suhu Rerata =

Panas		Dingin	Beda
328,15	Suhu Atas	303,15	25
328,15	Suhu Bawah	293,15	35

$$\boldsymbol{LMTD} = \frac{\Delta t2 - \Delta t1}{ln\,(\frac{\Delta t2}{\Delta t1})}$$

$$\boldsymbol{LMTD} = \frac{35-25}{ln\,(\frac{35}{25})} = 29{,}72\ K$$

Koefisien perpindahan Kalor

Diprediksi berdasarkan Towler dan Sinnot halaman 798

Table 12.1. Typical Overall Coefficients—Cont'd

Immersed Coils		
Coil	**Pool**	
Natural circulation		
Steam	Dilute aqueous solutions	500–1000
Steam	Light oils	200–300
Steam	Heavy oils	70–150
Agitated		
Steam	Dilute aqueous solutions	800–1500
Steam	Light oils	300–500
Steam	Heavy oils	200–400
Water	Aqueous solutions	400–700
Water	Light oils	200–300
Jacketed Vessels		
Jacket	**Vessel**	
Steam	Dilute aqueous solutions	500–700
Steam	Light organics	250–500
Water	Dilute aqueous solutions	200–500
Water	Light organics	200–300

Gambar 14. Nilai Koefisien Perpindahan Kalor

Nilai Ud berkisar antara 500-700 J/m^2.s.K

Dicoba Ud = 700 J/m^2.s.K × 0,001 kJ/J = 0,7 kJ/ m^2.s.K

Luas perpindahan Kalor yang diperlukan =

$$A = \frac{QPP}{UD\ x\ LMTD} = \frac{259429{,}3847\ /3600}{0{,}7\ x\ 29{,}72} = 3{,}5\ m^2$$

Luas Selimut =

$A_{tersedia} = \pi$ x Dt x Hl x 80%

$A_{tersedia}$ = 3,14 x 1,3716 x 1,2954 x 80%

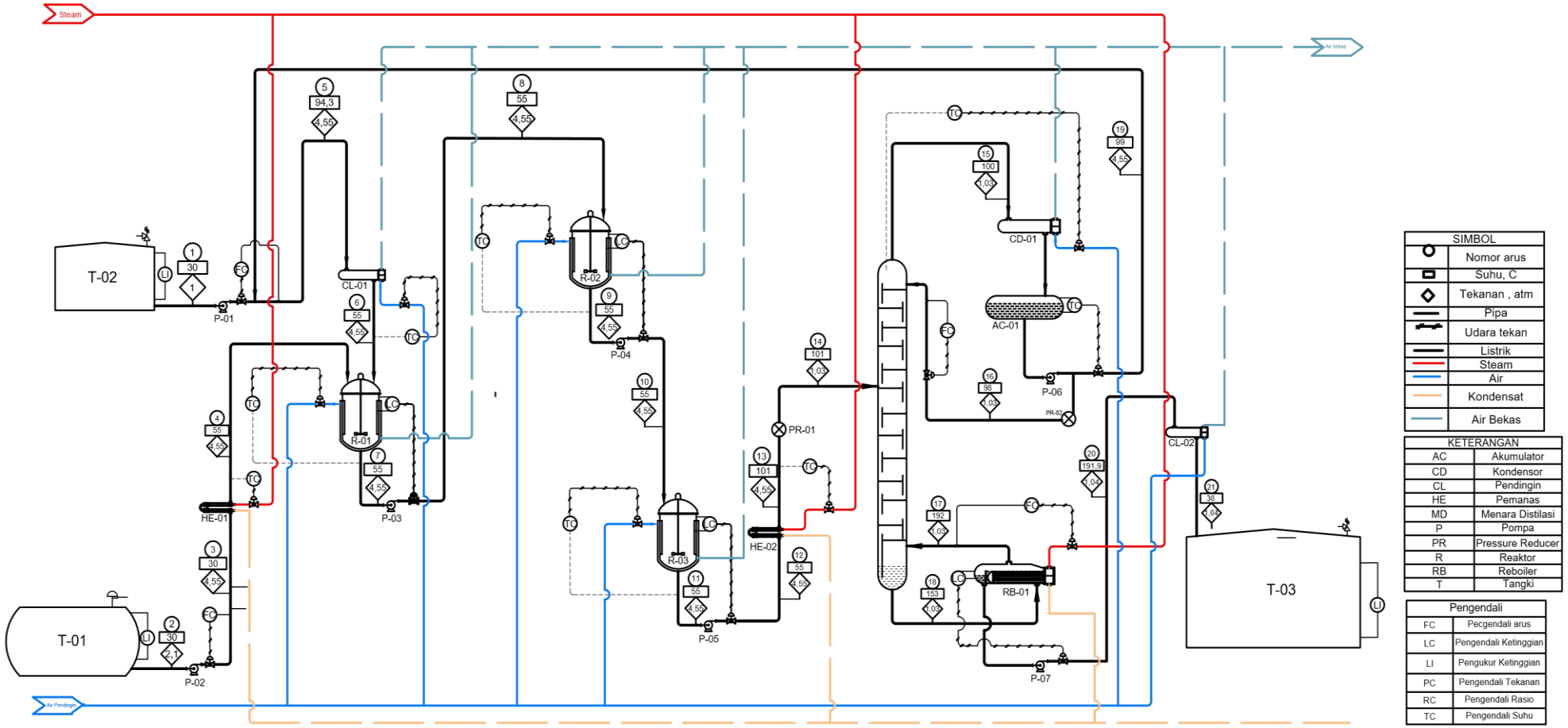
$A_{tersedia}$ = 4,466 m^2

Luas selimut tangki yang tersedia > luas perpindahan kalor yang diperlukan, maka sistem pendingin yang digunakan sistem jacket

LAMPIRAN B

Process Engineering Flow Diagram (PEFD)

PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM
PRA RANCANGAN PABRIK ETILEN GLIKOL DARI ETILEN OKSIDA DAN AIR DENGAN KAPASITAS 50.000 TON/TAHUN



SIMBOL	
	Nomor arus
	Suhu, C
	Tekanan , atm
	Pipa
	Udara tekan
	Listrik
	Steam
	Air
	Kondensat
	Air Bekas

KETERANGAN	
AC	Akumulator
CD	Kondensor
CL	Pendingin
HE	Pemanas
MD	Menara Distilasi
P	Pompa
PR	Pressure Reducer
R	Reaktor
RB	Reboiler
T	Tangki

Pengendali	
FC	Pecgendali arus
LC	Pengendali Ketinggian
LI	Pengukur Ketinggian
PC	Pengendali Tekanan
RC	Pengendali Rasio
TC	Pengendali Suhu

No. Arus																					
KOMPONEN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Xgas(%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	100	0	0	0	0
Xcair(%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	100	0	100	100	100	100
T(°C)	30	30	30	55	94.3	55	55	55	55	55	55	55	101	101	100	98	192	153,000	99	191.9	30
P(atm)	1	2.1	4.55	4.55	4.55	4.55	4.55	4.55	4.55	4.55	4.55	4.55	4.55	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	4.55	1.04	1.04

No.Arus																					
KOMPONEN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Ethilen Oksida		4309,722	4309,722	4309,722	179,572	179,572	2415,240	2415,240	332,208	332,208	179,572	179,572	179,572	179,572	184,411	184,411	0,014	0,014	179,572		
Air	1960,312	43,097	43,097	43,097	25718,849	25718,849	24913,298	24913,298	24060,977	24060,977	23998,522	23998,522	23998,522	23998,522	24620,640	24620,640	3902,594	4142,579	23758,537	239,985	239,985
Etilen Glikol					239,985	239,985	3162,687	3162,687	6098,041	6098,041	6313,131	6313,131	6313,131	6313,131	6,483	6,483	71103,033	77176,179	239,985	6073,146	6073,146
TOTAL	1960,312	4370,504	4370,504	4370,504	26120,721	26120,721	30491,225	30491,225	30491,225	30491,225	30491,225	30491,225	30491,225	30491,225	24811,534	24811,534	75005,641	81318,772	24178,090	6313,131	6313,131

PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS TEKNIK INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA

PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM
PRA RANCANGAN PABRIK ETILEN GLIKOL DARI ETILEN OKSIDA DAN AIR
KAPASITAS 50 .000 TON/TAHUN

Disusun Oleh :
1. MASLAHATUN HENAS KEMALA 21521069
2. FIRYAAL AURORA YAASMIIN 21521110

Dosen Pembimbing :
1. TINTIN MUTIARA , S.T., M.Eng , Dr .

LAMPIRAN C

Kartu Konsultasi Prarancangan Pabrik

KARTU KONSULTASI BIMBINGAN

1. Nama Mahasiswa : Maslahatun Henas Kemala

   NIM 21521069

2. Nama Mahasiswa : Firyaal Aurora Yaasmin

   NIM 21521110

Semester/Tahun Akademik : Genap/2026

Judul Prarancangan : Prarancangan Pabrik Etilen Glikol dari Etilen Oksida dan Air Kapasitas 50.000 ton/tahun

No	Tanggal	Materi Bimbingan Konsultasi	Paraf Dosen
1	5 Januari 2026	Penetapan kapasitas pabrik	
2	10 Januari 2026	Diskusi spesifikasi bahan	
3	20 Januari 2026	Konsultasi diagram alir	
4	29 Januari 2026	Konsultasi diagram alir	
5	2 Februari 2026	Penetapan diagram alir	
6	4 Februari 2026	Konsultasi neraca massa	
7	5 Februari 2026	Diskusi pergantian kapasitas pabrik	
8	6 Februari 2026	Penetapan kapasitas baru	
9	6 Februari 2026	Penetapan neraca massa	
10	10 Februari 2026	Diskusi perancangan reaktor	
11	26 Februari 2026	Konsultasi perancangan reaktor	
12	4 Maret 2026	Konsultasi perancangan reaktor	

13	7 Maret 2026	Penetapan perancangan reaktor dan konsultasi PEFD	
14	11 Maret 2026	Diskusi PEFD	
15	13 Maret 2026	Konsultasi PEFD	
16	30 Maret 2026	Penetapan PEFD	
17	31 Maret 2026	Konsultasi perancangan tangki	
18	2 April 2026	Konsultasi perancangan tangki	
19	6 April 2026	Konsultasi perancangan tangki	
20	9 April 2026	Penetapan perancangan tangki	
21	10 April 2026	Konsultasi perancangan pompa	
22	13 April 2026	Penetapan perancangan pompa dan diskusi alat penukar panas	
23	20 April 2026	Penetapan alat penukar panas	
24	11 Mei 2026	Penetapan neraca panas dan konsultasi tata letak pabrik	
25	16 Mei 2026	Penetapan tata letak pabrik dan konsultasi utilitas	
26	19 Mei 2026	Penetapan utilitas	
27	22 Mei 2026	Konsultasi evaluasi ekonomi	
28	23 Mei 2025	Konsultasi evaluasi ekonomi	
29	24 Mei 2025	Penetapan Evaluasi ekonomi	

Disetujui Draft Penulisan :

Yogyakarta, Mei 2026

Pembimbing,



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