

PRARANCANGAN PABRIK
TETRAHYDROFURAN DARI 1,4-BUTANEDIOL
KAPASITAS 90.000 TON/TAHUN

PRARANCANGAN PABRIK

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Kimia



Nama : Harini Kharisma Nurhayati

Nama : Fani Alfiana

NIM : 20521150

NIM : 20521173

PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA

2024

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN HASIL PRARANCANGAN PABRIK TETRAHYDROFURAN DARI 1,4-BUTANEDIOL KAPASITAS 90.000 TON/TAHUN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Harini Kharisma Nurhayati

Nama : Fani Alfiana

NIM : 20521150

NIM : 20521173

Yogyakarta, 8 Juli 2024

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



Harini Kharisma Nurhayati

(20521150)



Fani Alfiana

(20521173)

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

HALAMAN PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

PRARANCANGAN PABRIK TETRAHYDROFURAN DARI 1,4-BUTANEDIOL KAPASITAS 90.000 TON/ TAHUN

TUGAS AKHIR



Nama : Harini Kharisma Nurhayati
Nim : 20521150

Nama : Fani Alfiana
Nim : 20521173

Yogyakarta, 8 Juli 2024

Pembimbing,

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

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI
PRARANCANGAN PABRIK *TETRAHYDROFURAN* DARI
1,4-BUTANEDIOL KAPASITAS 90.000 TON/TAHUN

Oleh :

Nama : Harini Kharisma Nurhayati

Nama : Fani Alfiana

Nim : 20521150

Nim : 20521173

**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, Juli 2024

Tim Penguji,


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


8/8/2024

Dr. Ariany Zulkania, S.T., M.Eng.
Anggota I


8/8/2024

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


7/8/2024

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



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

NIK.995200445

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Alhamdulillah rabbil'alamin, puji syukur kepada Allah SWT atas rahmat, hidayah, dan karunia-Nya yang telah diberikan sehingga kami dapat menyelesaikan tugas akhir prarancangan pabrik kimia dengan baik dan tepat waktu. Shalawat serta salam selalu tercurahkan atas junjungan Nabi besar kita Nabi Muhammad SAW beserta keluarga dan para sahabat.

Tugas akhir yang berjudul “Prarancangan Pabrik *Tetrahydrofuran* dari 1,4-*Butanediol* dengan Kapasitas 90.000 ton/tahun” ini disusun sebagai penerapan dari ilmu teknik kimia yang telah diperoleh selama perkuliahan, serta sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Penulisan tugas akhir ini dapat berjalan dengan lancar atas bantuan dan doa berbagai pihak. Oleh karena, itu pada kesempatan ini kami sebagai penyusun ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas kehendak dan ridho-Nya yang selalu mengiringi selama proses penyusunan tugas akhir ini.
2. Orang tua dan keluarga yang tanpa henti memberikan doa, semangat dan dukungan secara moril maupun materil.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo., M.T., IPU, ASEAN.Eng selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.

4. Ibu Ifa Puspasari, S.T., M.Eng., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Islam Indonesia.
5. Bapak Sholeh Ma'mun, S.T., Ph.D selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia Program Sarjana Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
6. Ibu Ajeng Yulianti Dwi Lestari, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing dan mendukung dengan sabar, memberikan semangat dan masukan kepada kami dalam penyusunan dan penulisan Laporan Tugas Akhir ini.
7. Teman-teman Teknik Kimia angkatan 2020 yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan kerja samanya.
8. Semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu dalam membantu penyusunan tugas akhir ini dengan tulus dan ikhlas.

Demikian tugas akhir ini kami susun. Tentunya dalam penyusunan tugas akhir ini, kami tidak luput dari kesalahan dan kekurangan. Oleh karena itu, kami mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk kesempurnaan tugas akhir yang akan datang. Akhir kata semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi banyak pihak.

Wassalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Yogyakarta, 10 Juli 2024

Penulis

LEMBAR PERSEMBAHAN

Karya ini saya persembahkan kepada :

Pertama-tama saya mengucapkan syukur kepada Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* dengan mengucapkan Alhamdulillahirobbil'alamin, karena berkah dan rahmat-Nya saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Tak lupa senantiasa mengucapkan shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad *Shalallahu Alaihi Wassalam* yang senantiasa menjadi sosok dan suri tauladan kita semua, yang selalu kita nantikan syafa'at beliau di hari akhir kelak.

Karya ini saya persembahkan kepada Ibu saya tercinta, Ibu terbaik sepanjang masa, bapak terhebat saya, kakak saya, bulik saya, almarhum mbah saya dan sodara-sodara saya yang tidak pernah berhenti untuk selalu memberikan dukungan dan mendoakan saya atas semua kesuksesan dan hal-hal baik yang saya lalui. Dengan ini saya persembahkan karya saya untuk orang-orang terhebat yang selalu ada dibalik kehidupan saya.

Kepada patner sekaligus teman ngapak saya, Fani Alfiana. Saya mengucapkan banyak terima kasih atas kerja samanya selama ini. Perjalanan yang panjang berawal dari cerita singkat. *Short along story* yang kemudian menjadi patner KP, penelitian, dan tugas akhir. *Time flies so fast*, banyak suka dan duka yang sudah kita lewati hingga saat ini. Terima kasih sudah banyak bersabar, sudah berjuang bersama, dan sudah bertahan untuk perjalan yang panjang ini. Walaupun pendidikan sudah berhasil kita tempuh dan lalui bersama semoga silaturahmi akan selalu kita jaga. Kamu hebat, kamu keren, saya bangga sama kamu. Semoga ilmu yang sudah kita dapat menjadi bekal yang bermanfaat di dunia dan akhirat, semoga kelak kita menjadi pribadi yang sukses, Aamiin.

Kepada *my support system* (L), saya ingin menyampaikan terima kasih yang penuh atas kehadiranmu yang konsisten dalam segala situasi, baik senang maupun sedih. Terima kasih juga atas semangat, dukungan, dan motivasi yang tak pernah berhenti mengalir. Saya juga ingin mengucapkan terima kasih kepada Garong's Geng (Ulhaq Ijo, Tata Munay, Neng Ani, Annisa Tetangga) karena sudah menjadi bagian dari proses perjalanan perkuliahan kita dari awal hingga akhir. Saya senang bisa bertemu dan berbagi momen dengan kalian, dan semoga kita semua bertemu lagi dalam versi sukses masing-masing di masa depan. Terima kasih juga kepada IATMI SM UII, SRE UII, dan Aslab OTK 1 & 2 sudah menjadi bagian dari proses dan perjalanan saya untuk terus berkembang selama perkuliahan ini. Tidak lupa, saya juga mengucapkan terima kasih kepada teman-teman SMA saya, *Cumlaude's Group* (Mba Lilih, Bribil, Laela), atas doa, dukungan, dan semangat yang tak tergantikan sampai hari ini. Terima kasih juga kepada semua teman-teman saya yang telah memberikan dukungan, semangat, dan kontribusi berarti dalam hidup saya. Meskipun tidak dapat menyebutkan satu per satu, saya sangat berterima kasih atas semua hal baik yang telah diberikan. Semoga kita semua dapat mencapai kesuksesan di dunia dan akhirat. Aamiin.

(Harini Kharisma Nurhayati)

LEMBAR PERSEMBAHAN

Karya ini saya persembahkan kepada :

Mengucapkan syukur kepada Allah *Subahanahu Wa Ta'ala* dengan mengucapkan kalimat *Alhamdulillahil'amin*, karena atas berkah dan rahmat-Nya, saya bisa sampai dan menyelesaikan skripsi ini. Mengucapkan Shalawat kepada Nabi Muhammad *Shalallahu Alaihi Wassalam* yang senantiasa menjadi sosok dan suri tauladan kita semua, yang kita nantikan *syafa'at* beliau di *Yaumul Akhir* kelak.

Karya ini saya persembahkan kepada orang terkasih yaitu orang tua saya yang telah membesarkan saya dengan segala bentuk kasih sayang, dukungan dan doa. Terimakasih atas segala doa, semangat dan dukungan moral maupun materi.

Harini Kharisma Nurhayati sebagai partner pra rancangan pabrik, penelitian, kerja praktik, juga partner keluh kesah, bahagia saya selama masa perkuliahan ini, yang selama ini telah bersabar dan terus berjuang tidak hanya dalam penyusunan pra rancangan pabrik ini. Terimakasih atas waktu, ilmu semangat dan dukungan serta pengertiannya selama ini. Semoga semua perjuangan ilmu dan hikmah yang didapat menjadi bekal bermanfaat di dunia dan di akhirat.

Seluruh pembimbing, seluruh pengajar dari Prodi Teknik Kimia maupun pembimbing diluar prodi Teknik Kimia, yang selalu memberikan semangat, arahan, nasehat dan pelajaran yang mampu untuk diterapkan dalam kehidupan sehari-hari.

Bapak Kyai Hasan Karyono dan Ibu Nyai Muflihah Mufid serta santri komplek 6 Pondok Pesantren Sunan Pandanaran yang telah memberikan banyak pelajaran hidup, nasihat dan bimbingan.

Rekan tercinta saya: Fatimah, Rauza, Yanti, Edwina, Hemalia, Samiyah, Jhody, dan Tanfidz yang sudah banyak memberikan bantuan selama masa perkuliahan dan selalu menemani berkeluh kesah dan berbahagia. Semoga pertemanan ini akan selalu terjalin meski sudah tidak di satu tempat yang sama. Dan semoga segala bentuk bantuan yang telah diberikan mendapatkan balasan dari Allah Swt.

(Fani Alfiana)

DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	i
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iii
LEMBAR PERSEMBAHAN	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR LAMBANG/NOTASI/SINGKATAN.....	xv
ABSTRAK	xviii
<i>ABSTRACT</i>	xvi
BAB I.....	2
PENDAHULUAN	2
1.1 Latar Belakang Pendirian Pabrik.....	2
1.2 Kapasitas Perancangan	4
1.2.1 Data Impor THF.....	4
1.3 Tinjauan Pustaka.....	12
1.3.1 Deskripsi Proses.....	13
1.3.2 Proses yang Dipilih.....	17
1.4 Tinjauan Termodinamika dan Kinetika	18
1.4.1 Tinjauan Termodinamika	18
1.4.2 Tinjauan Kinetika.....	23
BAB II.....	25
PERANCANGAN PRODUK	25
2.1 Spesifikasi Produk.....	25
2.1.1 Sifat Fisika Produk.....	25
2.1.2 Sifat Kimia Produk	26
2.2 Spesifikasi Bahan Baku dan Bahan Pendukung.....	28
2.2.1 Sifat Fisika Bahan Baku dan Bahan Pendukung	28

2.2.2 Sifat Kimia Bahan Baku dan Bahan Pendukung	29
2.3 Pengendalian Kualitas	34
2.3.1 Pengendalian Kualitas Bahan Baku	34
2.3.2 Pengendalian Kualitas Bahan Pendukung	34
2.3.3 Pengendalian Kualitas Produk	34
2.3.4 Pengendalian Proses Produk	34
2.3.5 Pengendalian Kualitas Produk	36
BAB III	38
PERANCANGAN PROSES	38
3.1 Diagram Alir Proses dan Material	38
3.1.1 Diagram Alir Kualitatif	38
3.2 Uraian Proses	40
3.2.1 Persiapan Bahan Baku	40
3.2.2 Proses Reaksi Pembuatan Produk	40
3.2.3 Proses Pemisahan dan Pemurnian Produk	41
3.3 Spesifikasi Alat	44
3.3.1 Spesifikasi Alat Proses	44
3.3.2 Spesifikasi Alat Penyimpanan Bahan	52
3.3.3 Spesifikasi Alat Transportasi	55
3.3.4 Spesifikasi Alat Penukar Panas	64
3.4 Neraca Massa	76
3.5 Neraca Panas	79
BAB IV	89
PERANCANGAN PABRIK	89
4.1 Penentuan Lokasi	89
4.1.1 Faktor Primer Penentuan Lokasi Pabrik	90
4.1.2 Faktor Sekunder Penentuan Lokasi Pabrik	93
4.1.3 Karakterisasi Lokasi	94
4.2 Tata Letak Pabrik (<i>Plant Layout</i>)	95
4.3 Tata Letak Mesin/ Alat Proses (<i>Machines Layout</i>)	101
4.3.1 Aliran Bahan Baku dan Produk	101
4.3.2 Aliran Udara	101

4.3.3	Pencahayaan.....	101
4.3.4	Lalu Lintas Manusia	102
4.3.5	Pertimbangan Ekonomi	102
4.3.6	Jarak Antara Alat Proses	102
4.3.7	<i>Maintenance</i>	103
4.4	Organisasi Perusahaan.....	105
4.4.1	Bentuk Perusahaan.....	105
4.4.2	Struktur Organisasi	107
4.4.3	Tugas dan Wewenang	109
4.4.6	Jumlah Penggolong Pekerja dan Sistem Penggajian	116
BAB V	124
UTILITAS	124
5.1	Unit Penyediaan dan Pengolahan Air	124
5.1.1	Unit Penyediaan Air.....	124
5.1.2	Unit Pengolahan Air.....	131
5.2	Unit Pembangkit <i>Steam (Steam Generator System)</i>	138
5.3	Unit Pembangkit Listrik	139
5.4	Unit Penyedia Bahan Bakar	145
5.5	Unit Penyedia Udara Tekan dan Udara Proses	145
5.6	Unit Pengolahan Limbah atau Air Buangan.....	146
5.7	Spesifikasi Alat Utilitas	148
5.7.1	Spesifikasi Alat Utilitas	161
BAB VI	169
EVALUASI EKONOMI	169
6.1	Penaksiran Harga Alat	170
6.2	Dasar Perhitungan	174
6.3	Perhitungan Biaya	174
6.3.1	<i>Capital Investment</i>	174
6.3.2	<i>Manufacturing Cost</i>	175
6.3.3	<i>General Expense</i>	175
6.4	Analisa Kelayakan.....	176
6.4.1	<i>Return On Investment (ROI)</i>	176

6.4.2 <i>Pay Out Time (POT)</i>	176
6.4.3 <i>Break Even Point (BEP)</i>	177
6.4.4 <i>Shut Down Point (SDP)</i>	177
6.4.5 <i>Discounted Cash Flow Rate of Return (DCFR)</i>	178
6.5 Hasil Perhitungan	179
6.6 Analisa Hasil Keuntungan	184
6.7 Hasil Kelayakan Ekonomi	184
6.7.1 <i>Return on Investment (ROI)</i>	184
6.7.2 <i>Pay Out Time (POT)</i>	184
6.7.3 <i>Break Even Point (BEP)</i>	185
6.7.4 <i>Shut Down Point (SDP)</i>	185
6.7.5 <i>Discounted Cash Flow Rate of Return (DCFR)</i>	185
6.7.6 Analisis Kelayakan Pabrik	186
6.7.7 Analisis Risiko Pabrik.....	187
BAB VII	188
KESIMPULAN DAN SARAN.....	188
7.1 Kesimpulan.....	188
7.2 Saran	189
DAFTAR PUSTAKA	193
LAMPIRAN A	195
LAMPIRAN B	235
LAMPIRAN C	238

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Data Impor THF di Indonesia Tahun 2014-2022	4
Tabel 1. 2 Proyeksi Data Impor THF di Indonesia	6
Tabel 1. 6 Daftar Jumlah Kapasitas Produksi Pabrik THF di Dunia.....	12
Tabel 1. 7 Kelebihan dan Kekurangan Proses Dehydration 1,4-butanediol	13
Tabel 1. 8 Kelebihan dan Kekurangan Proses Hidrogenasi Langsung	14
Tabel 1. 9 Kelebihan dan Kekurangan Proses Synthesis Catalytic Dehydration 1,4- butanediol menggunakan Cation Exchange Resin.....	16
Tabel 1. 10 Kelebihan dan Kekurangan Proses Synthesis Dehydration 1,4- butanediol Menggunakan Pemanasan Air Suhu Tinggi	17
Tabel 1. 11 Tabel $\Delta H^{\circ}f$ dan $\Delta G^{\circ}f$ pada suhu 298K.....	19
Tabel 1. 12 Data Kapasitas Panas Pada Tekanan Konstan (Cp) Setiap Komponen Pada Fase Cair.....	19
Tabel 1. 13 nilai k dan konversi proses	24
Tabel 2. 1 Sifat Fisika Produk	25
Tabel 2. 2 Sifat Fisika Bahan Baku dan Bahan Pendukung.....	28
Tabel 3. 2 Tangki Penyimpanan Fase Cair	52
Tabel 3. 3 Spesifikasi Pompa pada Alat Proses.....	55
Tabel 3. 4 Lanjutan (Spesifikasi Pompa pada Alat Proses).....	57
Tabel 4. 1 Perincian Luas Tanah dan Bangunan Pabrik.....	97
Tabel 4. 2 Jadwal Kerja	115
Tabel 4. 3 Jumlah Tenaga Kerja dan Sistem Penggajian.....	117
Tabel 4. 4 Penggolongan Jabatan	120
Tabel 5. 1 Kebutuhan Air Domestik.....	126
Tabel 5. 2 Kebutuhan Air Pendingin	127
Tabel 5. 3 Kebutuhan Steam	129
Tabel 5. 4 Kebutuhan Listrik Alat Proses.....	140
Tabel 5. 5 Kebutuhan Listrik Alat Utilitas	142
Tabel 5. 6 Kebutuhan Listrik Total Pabrik	144
Tabel 5. 7 Spesifikasi Pompa pada Unit Utilitas.....	148
Tabel 5. 8 Spesifikasi Bak Utilitas	152
Tabel 5. 9 Spesifikasi Bak pada Unit Utilitas	156
Tabel 5. 10 Spesifikasi Tangki pada Unit Utilitas	157
Tabel 6. 1 Indeks Harga Alat.....	170
Tabel 6. 2 <i>Physical Plant Cost</i>	179
Tabel 6. 3 <i>Direct Plant Cost (DPC)</i>	180
Tabel 6. 4 <i>Fixed Capital Investment</i>	180
Tabel 6. 5 <i>Direct Manufacturing Cost (DMC)</i>	180
Tabel 6. 6 <i>Indirect Manufacturing Cost</i>	181
Tabel 6. 7 <i>Fixed Manufacturing Cost</i>	181
Tabel 6. 8 <i>Manufacturing Cost</i>	181
Tabel 6. 9 <i>Working Capital</i>	182

Tabel 6. 10 <i>General Expenses</i>	182
Tabel 6. 11 <i>Total Production Cost</i>	182
Tabel 6. 12 <i>Fixed Cost</i>	183
Tabel 6. 13 <i>Variabel Cost</i>	183
Tabel 6. 14 <i>Regulated Cost</i>	183
Tabel 6. 15 Tabel Evaluasi Ekonomi.....	186
Tabel 6. 16 Analisis Resiko Pabrik	187

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Grafik Data Impor THF di Indonesia.....	5
Gambar 1. 3 Panas Reaksi secara adiabatik dan isothermal.....	20
Gambar 2. 1 Hazard Diamond Tetrahydrofuran.....	26
Gambar 2. 2 Hazard Diamond 1,4-butanediol	30
Gambar 2. 3 Hazard Diamond Katalis Zeolite ZSM-5	32
Gambar 3. 1 Diagram Alir Kualitatif	38
Gambar 3. 2 Diagram Alir Kuantitatif	39
Gambar 4. 1 Lokasi Pendirian Pabrik	95
Gambar 4. 2 <i>Layout</i> Tata Letak Pabrik	100
Gambar 4. 3 Struktur Organisasi Pabrik THF	108
Gambar 5. 1 Diagram Pengolahan Air	130
Gambar 6. 1 Grafik Indeks Harga vs Tahun.....	173
Gambar 6. 2 Grafik Evaluasi Ekonomi.....	186

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Perancangan Reaktor	201
Lampiran B. <i>Process Flow Diagram</i>	206
Lampiran C. Kartu Konsultasi	217

DAFTAR LAMBANG/NOTASI/SINGKATAN

T	: <i>Temperature</i> , °C
D	: Diameter, m
H	: Tinggi, m
P	: Tekanan, psia
μ	: Viskositas, cP
ρ	: Densitas, kg/m ³
Q	: Kebutuhan Kalor, Kj/Jam
A	: Luas Penampang, m ²
V	: Volume, m ³
T	: Waktu, jam
M	: Massa, Kg
Fv	: Laju Volumetrik, m ³
R	: Jari-jari, in
P	: <i>Power motor</i> , Hp
Ts	: Tebal <i>shell</i> , in
Δ PT	: <i>Pressure drop</i> , psia
ID	: <i>Inside diameter</i> , in

- OD : *Outside diameter*, in
- Th : Tebal *head*, in
- Re : Bilangan Reynold
- u_0 : Kecepatan awal fluidisasi, m/s
- U_{mf} : Kecepatan Fluidisasi minimum, m/s
- F : *Allowable Stress*, psia
- E : Efisiensi pengelasan
- I_{cr} : Jari-jari sudut dalam, in
- Ud : Koefisien transfer panas dalam keadaan kotor, Btu/jam ft²°F
- Uc : Koefisien transfer panas dalam keadaan bersih, Btu/jam ft²°F
- Rd : Faktor pengotor
- Cp : Kapasitas Panas, Btu/lb °F
- K : Konduktivitas termal, Btu/jam ft²°F
- JH : *Heat transfer factor*
- Hi : *Inside film coefficient*, Btu/jam ft²°F
- Ho : *Outside film coefficient*, Btu/jam ft²°F
- LMTD : *Long mean temperature different*, °F
- K : Konstanta kinetika reaksi, 1/waktu

W_f : Total *head*, in

ΔH : Entalpi, KJ/Jam

T_h : Tebal *head*, in

ABSTRAK

Pendirian pabrik *tetrahydrofuran* dengan kapasitas 90.000 ton/tahun bertujuan untuk memenuhi kebutuhan pada industri polimer sintesis seperti cat, pernis, perekat serta digunakan sebagai bahan pelarut kimia sehingga dapat mengurangi kegiatan impor dan membangun pertumbuhan ekonomi dalam negeri. Pabrik ini didirikan di daerah kawasan industri Gresik dengan 168 karyawan yang dipekerjakan. *Tetrahydrofuran* diproduksi dengan bahan baku 1,4-*butanediol* dengan katalis *zeolite ZSM-5* dilakukan proses dehidrasi pada kondisi operasi suhu 150°C dan tekanan 20 atm dengan konversi sebesar 93,8% pada reaktor tangki berpengaduk menggunakan sistem *batch* dalam waktu reaksi tiga jam. Reaksi berlangsung dalam fasa cair secara *isothermal adiabatis* dan *endothermis*. *Output* dari reaksi dalam reaktor berupa fasa cair yang masih bercampur dengan padatan katalis. Kemudian padatan tersebut di pisahkan dan disesuaikan kondisi operasinya sehingga dapat di *recycle* pada unit pengolahan lanjut katalis. Sedangkan *output* fasa cair dilakukan pemurnian menggunakan Menara Distilasi (MD-01) untuk memisahkan produk *tetrahydrofuran* dengan kemurnian 99% dan produk samping berupa campuran *tetrahydrofuran*, 1,4-*butanediol* dan air. Produk atas Menara Distilasi (MD-01) berupa *tetrahydrofuran* disimpan dalam tangki produk sedangkan produk bawah dimurnikan kembali menggunakan Evaporator (E-01) untuk menghasilkan 99% 1,4-*butanediol* dan 1% air yang nantinya dapat digunakan kembali sebagai bahan baku sedangkan produk samping akan disimpan di UPL (T-03). Bahan baku 1,4-*butanediol* yang dibutuhkan sebanyak 15.143,44 kg/jam dengan *zeolite ZSM-5* sebanyak 40,20 kg/jam untuk menghasilkan kapasitas *tetrahydrofuran* 90.000 ton/tahunnya. Kebutuhan utilitas air pabrik ini sebanyak 162.743,2 kg/jam dengan perincian penggunaan *Cooling Water*: 8.666,3; *Steam Water*: 126.954,8; Air Domestik: 21.422,1; dan Air *Service* 5.700 (semua dalam satuan kg/jam). Berdasarkan evaluasi ekonomi pendirian pabrik *tertrahydrofuran* didapatkan hasil *Return of Investment* (ROI) sebelum pajak 20,8%, *Return of Investment* sesudah pajak 14,56%, *Pay Out Time* (POT) sebelum pajak 3,34 tahun, *Pay Out Time* (POT) sesudah pajak 4,21 tahun, *Break Even Point* (BEP) 51%, *Shut Down Point* (SDP) 24,1%, dan *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DFCR) 18,02%. Prarancangan pabrik *tetrahydrofuran* dari 1,4-*butanediol* dengan kapasitas 90.000 ton/tahun tergolong sebagai pabrik beresiko rendah berdasarkan tinjauan proses, kondisi operasi, sifat bahan baku dan produk, serta asal bahan baku. Berdasarkan ekonomi pabrik ini layak didirikan dan memiliki potensi yang cukup baik untuk dikembangkan.

Kata Kunci: *tetrahydrofuran*, 1,4-*butanediol*, *zeolite ZSM-5*, proses dehidrasi, *batch*

ABSTRACT

The establishment of a tetrahydrofuran plant with a capacity of 90,000 tons/year aims to meet the needs of the synthetic polymer industry such as paints, varnishes, adhesives and is used as a chemical solvent so as to reduce import activities and build domestic economic growth. The plant was established in Gresik industrial area with 168 employees employed. Tetrahydrofuran was produced with a raw material of 1,4-butanediol with zeolite ZSM-5 catalyst by dehydration process at operating conditions of temperature 150°C and pressure 20 atm with a conversion of 93.8% in a stirred tank reactor using a batch system in a reaction time of three hours. The reaction took place in the liquid phase isothermally adiabatic and endothermic. The output of the reaction in the reactor is a liquid phase that is still mixed with catalyst solids. Then the solids are separated and adjusted to operating conditions so that they can be recycled in the catalyst further processing unit. While the output of the liquid phase is purified using a Distillation Tower (MD-01) to separate tetrahydrofuran products with 99% purity and by-products in the form of a mixture of tetrahydrofuran, 1,4-butanediol and water. The top product of the Distillation Tower (MD-01) in the form of tetrahydrofuran is stored in the product tank while the bottom product is purified again using the Evaporator (E-01) to produce 99% 1,4-butanediol and 1% water which can later be reused as raw material while the by-product will be stored in UPL (T-03). The required 1,4-butanediol raw material is 15,143.44 kg/hour with zeolite ZSM-5 as much as 40.20 kg / hour to produce tetrahydrofuran capacity of 90,000 tons/year. The water utility needs of this plant amounted to 162,743.2 kg/hour with details of Cooling Water usage: 8,666.3; Steam Water: 126,954.8; Domestic Water: 21,422.1; and Service Water 5,700 (all in kg/h). Based on the economic evaluation of the establishment of the tetrahydrofuran plant, the pre-tax Return of Investment (ROI) is 20.8%, the post-tax Return of Investment is 14.56%, the pre-tax Pay Out Time (POT) is 3.34 years, the post-tax Pay Out Time (POT) is 4.21 years, the Break Even Point (BEP) is 51%, the Shut Down Point (SDP) is 24.1%, and the Discounted Cash Flow Rate of Return (DFCR) is 18.02%. The 90,000 tons/year tetrahydrofuran from 1,4-butanediol plant is classified as a low-risk plant based on process review, operating conditions, nature of raw materials and products, and origin of raw materials. The plant is economically feasible and has good potential for development.

Keywords: tetrahydrofuran, 1,4-butanediol, zeolite ZSM-5, dehydration process, batch

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Pendirian Pabrik

Seperti yang kita ketahui bahwa perkembangan industri di Indonesia semakin meningkat setiap tahunnya. Hal tersebut berbanding lurus dengan kebutuhan dan konsumsi bahan baku per tahunnya. Meningkatnya ketersediaan bahan mentah atau setengah jadi yang diolah menjadi produk *intermediet* atau produk jadi dapat mengurangi kebutuhan impor di Indonesia. Oleh karena itu, pemerintah memprioritaskan pembangunan industri yang dapat merangsang pertumbuhan industri yang akan meningkat pesat setiap tahunnya.

Pasokan bahan baku di sektor industri kimia di Indonesia saat ini masih didukung dari kebutuhan impor. Hal tersebut dikarenakan minimnya ketersediaan pasokan dalam negeri dan produk yang dihasilkan mayoritas hanya dijual untuk pasar dalam negeri. Dengan demikian, hal ini merupakan peluang bagi Indonesia untuk meningkatkan sektor industri khususnya industri kimia untuk mendapatkan devisa negara, dan mengurangi ketergantungan terhadap impor bahan baku luar negeri dengan cara mendirikan pabrik kimia untuk memenuhi kebutuhan pasar di dalam maupun di luar negeri.

Tetrahydrofuran (THF) dengan rumus molekul C_4H_8O adalah salah satu senyawa organik heterosiklik yang lebih dari 95% produk ini digunakan dalam industri sebagai bahan tengah (*intermediate*). Berdasarkan *market share* dunia, 35%

digunakan sebagai *painting dan coatings*, 20% sebagai *phamarceutical*, 25% sebagai *polymer*, dan 20% sebagai *textile* (Chemanalyst, 2020). Selain itu, THF juga digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan serat poliuretana elastomerik seperti Spandex. THF juga dapat dipolimerisasikan menggunakan asam kuat, menghasilkan polimer linear yang disebut *polytetramethylene ether glycol* (PTMEG), juga dikenal sebagai PTMO, dan bahan baku pembuatan *politetrametilena oksida*. Selain itu, THF juga digunakan sebagai pelarut dalam pembuatan karet dan PVC, pelarut berbagai macam senyawa polar maupun nonpolar, serta digunakan dalam hidroborasi untuk sintesis alkohol primer, dan lain-lain (Kirk, 1996).

Permintaan THF di dunia meningkat pesat tiap tahunnya. Berdasarkan data histori tahun 2015-2020, dengan puncak maksimum kebutuhan THF di dunia mencapai 1,46 juta ton dan diprediksi pada tahun 2030 akan meningkat mencapai 2,778 juta ton dengan nilai pertumbuhannya (CAGR) sebesar 6,85% (Chemanalyst, 2020). Akan tetapi, saat ini pabrik yang memproduksi THF di Indonesia belum tersedia sedangkan kebutuhan THF di Indonesia sangat tinggi sehingga untuk mencukupi hal tersebut Indonesia harus mengimpor dari luar negeri. Dengan demikian, meningkatnya permintaan THF bagi industri kimia di dunia, salah satunya di Indonesia, menjadikan prospek pabrik THF memiliki peluang yang tinggi. Dengan adanya pabrik THF di Indonesia akan memperkecil nilai ketergantungan impor akan bahan-bahan kimia dari luar negeri.

Berdasarkan penjelasan diatas, untuk memenuhi kebutuhan THF yang semakin meningkat, maka perlu didirikan pabrik THF di Indonesia guna membantu

memenuhi kebutuhan dalam negeri. Selain pertimbangan tersebut, beberapa hal yang menjadi pertimbangan tentang pendirian pabrik THF di Indonesia, yaitu:

1. Mengurangi ketergantungan terhadap impor bahan kimia khususnya THF.
2. Membantu memperbaiki kondisi perekonomian Indonesia dengan meningkatkan devisa negara.
3. Menyediakan lapangan pekerjaan bagi masyarakat sehingga dapat mengurangi permasalahan lapangan pekerjaan di Indonesia.

1.2 Kapasitas Perancangan

Kapasitas perancangan produksi merupakan salah satu aspek yang sangat penting dalam tahap awal perancangan pabrik. Kapasitas produksi dapat didefinisikan sebagai jumlah maksimum yang dapat diproduksi oleh pabrik dalam satu periode waktu tertentu. Hal ini memiliki signifikansi penting karena berdampak langsung pada aspek ekonomi pabrik. Terdapat beberapa faktor yang memengaruhi penentuan kapasitas pabrik, seperti berikut ini:

1.2.1 Data Impor THF

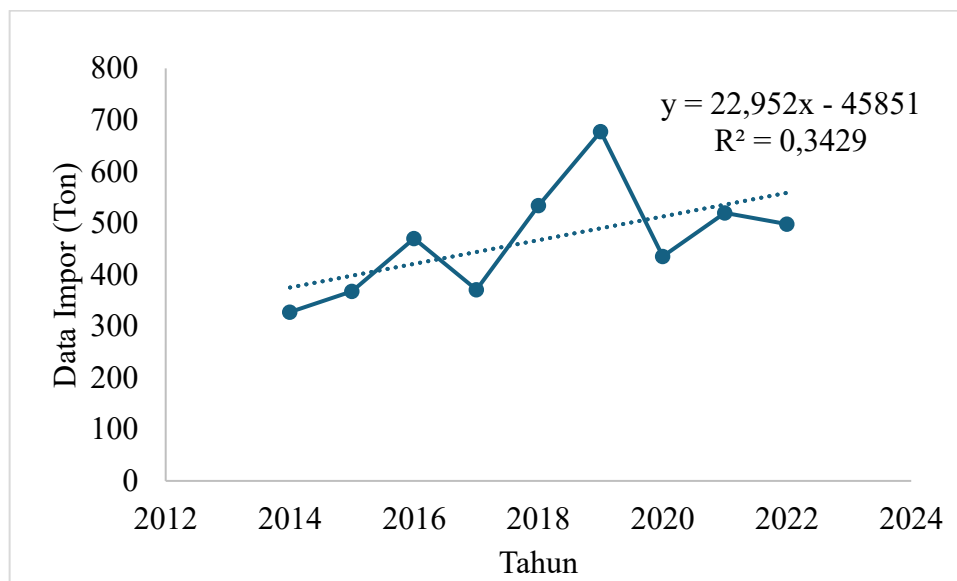
Data impor THF dapat dilihat pada Tabel 1.1 dibawah ini:

Tabel 1. 1 Data Impor THF di Indonesia Tahun 2014-2022

Tahun	Jumlah Impor (ton/tahun)
2014	327,44
2015	367,81

Tahun	Jumlah Impor (ton/tahun)
2016	470,13
2017	370,88
2018	534,18
2019	677,63
2020	435,63
2021	519,73
2022	498,35

(Badan Pusat Statistik,2023)



Gambar 1. 1 Grafik Data Impor THF di Indonesia

Berdasarkan Gambar 1.1, didapatkan persamaan regresi linear dengan x sebagai fungsi tahun dan y sebagai fungsi volume, melalui Grafik 1.1 didapatkan persamaan:

$$y = 22,952x - 45.850,372 \quad (1.1)$$

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

Tabel 1. 2 Proyeksi Data Impor THF di Indonesia

Tahun	Jumlah Impor (ton/tahun)
2023	581,62
2024	604,57
2025	627,52
2026	650,48
2027	673,43
2028	696,38
2029	719,33
2030	742,28
2031	765,24
2032	788,19
2033	811,14

Dari data pada Tabel 1.2 Proyeksi impor THF diprediksi pada tahun 2033, impor THF di Indonesia sebanyak 811,14 ton/tahun. Sasaran pendirian pabrik THF untuk memenuhi kebutuhan dalam dan luar negeri.

1.2.2 Data Konsumsi THF

Data konsumsi THF dapat dilihat pada Tabel 1.3 dibawah ini:

Tabel 1. 3 Data Produksi Cat di Indonesia

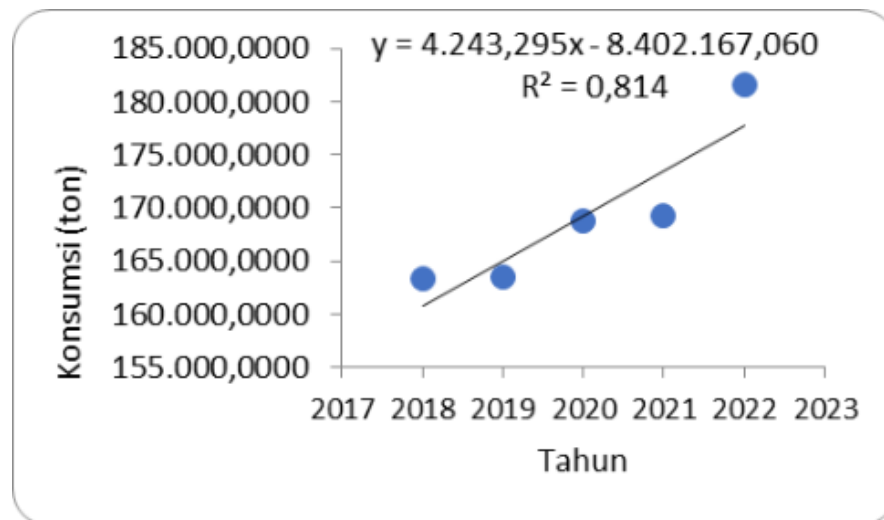
Tahun	Jumlah Produksi (ton/tahun)
2018	466.499
2019	466.974
2020	482.471
2021	483.727
2022	518.741

(SIMP, 2020)

Berdasarkan data *market share* THF 2020, konsumsi THF untuk produksi cat sebesar 35%. Dari data tersebut dapat direpresentasikan berdasarkan tabel 1.4 di bawah ini:

Tabel 1. 4 Data konsumsi THF di Indonesia

Tahun	Jumlah Konsumsi (ton/tahun)
2018	163.274,6
2019	163.440,9
2020	168.864,8
2021	169.304,4
2022	181.559,4



Gambar 1. 2 Grafik Data Konsumsi THF di Indonesia

Berdasarkan Gambar 1.2, didapatkan persamaan regresi linear dengan x sebagai fungsi tahun dan y sebagai fungsi volume, melalui Grafik 1.2 didapatkan persamaan:

$$y = 4.2433,295 x - 8.402.167,060 \quad (1.2)$$

Dengan data konsumsi THF tersebut, maka dapat diproyeksikan kebutuhan konsumsi THF di masa yang akan datang pada tabel di bawah ini:

Tabel 1. 5 Proyeksi Data Konsumsi THF di Indonesia

Tahun	Jumlah Konsumsi (ton/tahun)
2023	182.018,725
2024	186.262,020
2025	190.505,315
2026	194.748,610

Tahun	Jumlah Konsumsi (ton/tahun)
2027	198.991,905
2028	203.235,200
2029	207.478,495
2030	211.721,790
2031	215.965,085
2032	220.208,380
2033	224.451,675

Dari data pada Tabel 1.5 Proyeksi konsumsi THF diprediksi pada tahun 2033, konsumsi THF di Indonesia sebanyak 224.451,67 ton/tahun.

1.2.3 Peluang Kapasitas/ Proyeksi Kebutuhan

Proyeksi kebutuhan pabrik atau kapasitas adalah perkiraan tentang seberapa besar pabrik harus dibangun atau seberapa besar kapasitas produksi yang diperlukan untuk memenuhi permintaan pasar atau memenuhi tujuan produksi dalam jangka waktu tertentu. Kapasitas produksi suatu pabrik ditentukan berdasarkan kebutuhan konsumsi produk dalam negeri, data impor, data ekspor, dan data produksi. Menurut Biro Pusat Statistik, kapasitas produksi dapat ditentukan pada kebutuhan akan suatu produk untuk memenuhi permintaan dalam negeri berdasarkan data industri yang sudah ada. Maka, peluang kapasitas perancangan pabrik THF 2033 dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Peluang kapasitas pabrik} = \text{Demand} - \text{Supplay} \quad (1.3)$$

Dimana,

$$\text{Demand} = \text{Data Ekspor} + \text{Data Konsumsi} \quad (1.4)$$

$$\text{Supplay} = \text{Data Impor} + \text{Data Produksi} \quad (1.5)$$

Maka, peluang kapasitas atau proyeksi dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Peluang kapasitas pabrik} &= \text{Data Konsumsi} - \text{Data Impor} \\ &= (224.451,675 - 811,146) \text{ ton/tahun} \\ &= 223.640,529 \text{ ton/tahun} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan data diatas bahwa peluang kapasitas pabrik pada tahun 2033 menghasilkan data yang positif sebanyak 223.640,529 ton/tahun. Sehingga terdapat potensi yang cukup baik untuk mendirikan pabrik THF di tahun 2033.

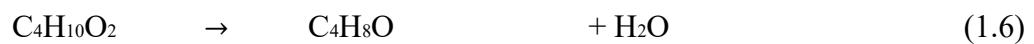
1.2.4 Ketersediaan Bahan Baku

Penentuan kapasitas pabrik didasarkan pada ketersediaan bahan baku, terutama dalam industri yang sangat tergantung pada pasokan bahan baku tertentu. Ketersediaan bahan baku adalah salah satu faktor kunci yang dapat membatasi atau memengaruhi kapasitas produksi suatu pabrik. Bahan baku yang digunakan dalam perancangan pabrik ini yaitu 1,4-*butanediol*. . Bahan baku ini didapatkan melalui impor perusahaan BASF - Xinjiang (Markor Meiou Chemical Co.,Ltd. yang berlokasi di Kota Banyingolin Mongol Autonomous Prefecture, Korla, Provinsi

Xinjiang, China. Bahan baku ini diambil dari China karena produksi 1,4-*butanediol* terbesar dan terdekat berada di wilayah tersebut dengan kapasitas produksi mencapai 250.000 ton/tahun (BASF, 2013). Sedangkan kebutuhan bahan baku 1,4-*butanediol* yang dibutuhkan dalam pabrik ini yaitu 121.147,509 ton/tahun.

Selain ditinjau dari banyaknya ketersediaan 1,4-*butanediol* yang di produksi, penentuan peluang kapasitas juga ditentukan berdasarkan bagaimana perbandingan antara THF dan 1,4-*butanediol*.

Reaksi Pembuatan THF:



Dari persamaan reaksi tersebut dihasilkan perbandingan mol adalah 1: 1, sehingga dapat diasumsikan bahwa maksimal bahan baku yang digunakan 250.000 ton/tahun.

1.2.5 Kapasitas Pabrik Terpasang

Penentuan kapasitas pabrik berdasarkan kapasitas terpasang adalah salah satu metode yang umum digunakan dalam perencanaan dan manajemen kapasitas pabrik. Kapasitas terpasang mengacu pada kapasitas maksimum yang dapat dicapai oleh pabrik dengan tingkat produksi yang ada dan kondisi operasional saat ini. Berikut ini data kapasitas pabrik THF di Indonesia dan dunia:

Tabel 1. 6 Daftar Jumlah Kapasitas Produksi Pabrik THF di Dunia

Pabrik	Lokasi	Kapasitas (ton/tahun)
DuPont	USA	45.000
Jiangsu Jurong Chemical	China	205.000
GAF and Arco	USA	44.000
BASF and GAF/Huls	Europe	30.000
Mitsubishi Chemical	Jepang	90.000
Shanxi Sanwei Corporation	China	15.000
Lain-lain		4.000

Berdasarkan data yang didapatkan, data kebutuhan konsumsi THF di Indonesia sebesar 224.451,675 ton/tahun dan ketersediaan bahan baku sebesar 250.000 ton. Peluang kapasitas di Indonesia sebesar 223.640,529 ton/tahun dan kapasitas terpasang pabrik komersial THF dalam *range* 4.000 - 290.000 ton/tahun sehingga kapasitas yang kami gunakan sebesar 40% dari peluang kapasitas pabrik di Indonesia maka jumlah kapasitas pabrik THF dari 1,4-*butanediol* sebesar 90.000 ton/tahun.

1.3 Tinjauan Pustaka

Dalam perancangan pabrik THF agar mencapai kualitas produk yang diinginkan, maka perlu memilih proses yang tepat agar proses produksi lebih efektif dan efisien. Pembuatan THF dari 1,4-*butanediol* dapat diproduksi dengan berbagai

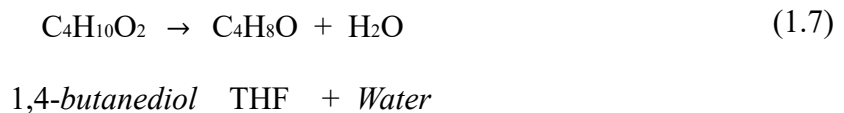
macam jenis proses. Berikut ini beberapa macam proses dalam proses pembuatan THF.

1.3.1 Deskripsi Proses

a. *Dehydration 1,4-butanediol*

Produk THF pada proses ini didapatkan dari dehidrasi 1,4-*butanediol* dengan temperatur 150°C. Pada proses ini 1,4-*butanediol* diumpankan ke dalam reaktor dengan bantuan *katalis zeolite ZSM-5*. Produk reaksi yang diperoleh dalam reaktor terdiri dari: THF, air dan 1,4-*butanediol*.

Proses pembuatan THF dengan proses *dehydration 1,4-butanediol* dapat dilihat pada reaksi berikut ini:



Tabel 1. 7 Kelebihan dan Kekurangan Proses Dehydration 1,4-butanediol

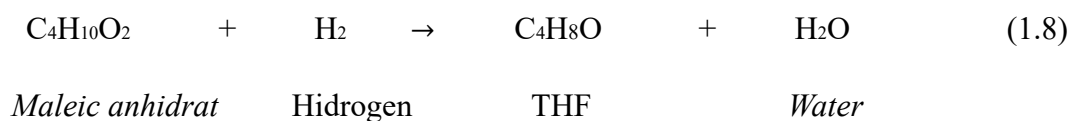
Kelebihan	Kekurangan
<ul style="list-style-type: none"> ● Kondisi operasi 150°C dan tekanan 20 atm ● Konversi produk 93.8 % ● Produk samping berupa air ● Retensi waktu produksi singkat dan kualitas produk 	<ul style="list-style-type: none"> ● Katalis rentan keracunan jika bereaksi dengan senyawa tertentu

konstan • Katalis yang digunakan tidak korosif	
---	--

b. Hidrogenasi langsung

Pada proses hidrogenasi langsung *maleic anhidrida* menggunakan berbagai macam katalis, seperti *cobalt molybdenum oxide*, *nickel molybdenum oxide*, *Raney nickel*, dan lain-lain. Hidrogenasi *maleat anhidrida* beroperasi pada tekanan 50 bar selama 6 jam dengan suhu 473 K menggunakan katalis nikel mengarah pada pembentukan jumlah yang cukup besar asam suksinat padat, yang menghasilkan campuran reaksi kental. Hal ini berarti bahwa produk yang diinginkan γ -*Butyrolactone* (γ -BL) dan THF rendah.

Proses pembuatan THF dengan proses hidrogenasi langsung dapat dilihat pada reaksi berikut ini:



Tabel 1. 8 Kelebihan dan Kekurangan Proses Hidrogenasi Langsung

Kelebihan	Kekurangan
<ul style="list-style-type: none"> Konversi produk 95.7% 	<ul style="list-style-type: none"> Reaksi pada suhu (493 K) dan

<ul style="list-style-type: none"> • Produk samping berupa air 	<p>tekanan tinggi (50 bar).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Waktu reaksi 6 jam • Biaya produksi lebih mahal • Katalis mudah mengalami keracunan
---	---

c. *Synthesis Catalytic Dehydration 1,4-butanediol menggunakan Cation Exchange Resin*

Pada proses ini *1,4-butanediol* direaksikan dengan agen dehidrasi seperti asam sulfat atau katalis asam. Hasil reaksi ini yaitu pembentukan cincin etersiklik yang menghasilkan THF. Proses sintesis THF dari *1,4-butanediol* ini menggunakan *acidic ion exchange resin* yang digunakan sebagai katalis. Reaksi sintesis ini menggunakan reaktor tangki berpengaduk dengan temperatur sekitar 373 K – 393 K dan diaduk dengan kecepatan 60-2000 rpm. Reaksi ini berlangsung pada tekanan 0,12 – 0,35 Mpa. Selama reaksi berlangsung, *solvent* seperti *dioxane* dimasukkan ke dalam reaktor yang bertujuan untuk membantu pelarutan *1,4-butanediol* dalam bereaksi. Mekanisme reaksi dapat dilihat di bawah ini:



Keterangan:

BD : *1,4-butanediol*

S : *Solvent*

THF : THF

H₂O : Air

Tabel 1. 9 Kelebihan dan Kekurangan Proses *Synthesis Catalytic Dehydration* 1,4-*butanediol* menggunakan *Cation Exchange Resin*

Kelebihan	Kekurangan
<ul style="list-style-type: none"> ● Konversi produk 83 % ● Produk samping berupa air ● Energi yang digunakan lebih rendah ● Resin dapat diregenerasi 	<ul style="list-style-type: none"> ● Kurangnya data informasi tekanan optimal ● Bahaya dan kompleksitas tinggi ● Biaya katalis tinggi ● Regenerasi resin membutuhkan waktu yang lama

d. *Synthesis Dehydration* 1,4-*butanediol* menggunakan Pemanasan Air Suhu Tinggi

Proses sintesis dehidrasi 1,4-*butanediol* menggunakan suhu tinggi air cair (HTW) sebagai media reaksi. Air dengan suhu ($T > 200\text{ }^{\circ}\text{C}$) digunakan sebagai media reaksi alternatif untuk organik sintesis. Dalam kondisi ini, paparan air meningkat kelarutan untuk senyawa organik kecil biasanya dianggap sebagai tidak

larut dalam air. Selain itu, HTW dapat memfasilitasi terjadinya beberapa reaksi klasik yang dikatalisis asam dan basa, bahkan tanpa adanya katalis tambahan. Ini kemampuan sering dikaitkan dengan nilai yang relatif besar dari produk ion KW di HTW, dan produk asli tinggi terkait konsentrasi ion H^+ dan OH^- , ditambah dengan peningkatan suhu HTW. Selanjutnya melakukan reaksi di HTW memungkinkan kemungkinan untuk mempercepat laju melalui penambahan CO_2 , bahan tambahan yang ramah lingkungan. Peningkatan dehidrasi BD melalui tambahan CO_2 dapat memberikan hasil tingkat reaksi yang kompetitif untuk proses berbasis HTW, tanpa masalah lingkungan yang terkait dengan asam mineral.

Proses pembuatan THF dengan proses sintesis dehidrasi 1,4-*butanediol* menggunakan pemanasan suhu air tinggi dapat dilihat pada reaksi berikut ini :



Tabel 1. 10 Kelebihan dan Kekurangan *Proses Synthesis Dehydration 1,4-butenediol* Menggunakan Pemanasan Air Suhu Tinggi

Kelebihan	Kekurangan
<ul style="list-style-type: none"> ● Konversi produk 90 % ● Produk samping berupa air ● Tidak menggunakan katalis ● Biaya produksi rendah 	<ul style="list-style-type: none"> ● Kondisi operasi pada tekanan (152 bar) dan suhu tinggi (523 K)

1.3.2 Proses yang Dipilih

Berdasarkan data perbandingan masing-masing proses diatas, proses yang dipilih pada Prarancangan Pabrik THF dari 1,4-*butanediol* adalah proses dehidrasi dengan menggunakan katalis *zeolites ZSM-5*. Proses tersebut diambil berdasarkan jurnal *patent* (US7465816) dan jurnal “*Evaluation of Zeolite in Production of Tetrahydrofuran from 1,4-butanediol: Performance Test and Kinetic Investigations*”. Proses tersebut dipilih atas perbandingan kelebihan dan kekurangan proses serta kelengkapan data proses reaksi terhadap masing-masing proses.

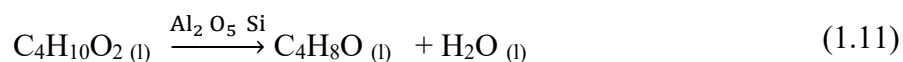
1.4 Tinjauan Termodinamika dan Kinetika

Tinjauan termodinamika dan kinetika ini berisi data-data yang dibutuhkan dalam menentukan jenis reaktor yang digunakan, alat proses serta untuk mengetahui kondisi reaksi dari tahapan reaksi sebelum menjadi THF.

1.4.1 Tinjauan Termodinamika

Tinjauan secara termodinamika ditujukan untuk mengetahui apakah reaksi bersifat endotermis atau eksotermis, dan arah reaksi (*reversible/irreversible*). Penentuan panas reaksi berjalan secara endotermis atau eksotermis dapat diketahui dengan perhitungan panas pembentukan standar (ΔH_f°) pada tekanan 1 atm dan suhu 298 K.

Reaksi :



Reaksi : *Isothermal adiabatik*

Suhu : 150 °C

Tekanan : 20 atm

Konversi : 93,8 %

Fase Reaktan : Cair

Katalis : Al₂O₅Si

Fase Katalis : Padat

Nilai (ΔH°) masing-masing komponen pada suhu 298 K dapat dilihat pada Tabel berikut ini:

Tabel 1. 11 Tabel ΔH°_f dan ΔG°_f pada suhu 298K

Komponen	ΔH°_f ($\frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$)	ΔG°_f ($\frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$)
C ₄ H ₁₀ O ₂	-426,700	-277,72
C ₄ H ₈ O	-184,180	-79,68
H ₂ O	-241,800	-228,6

(Yaws, 1999)

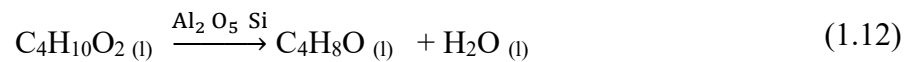
Tabel 1. 12 Data Kapasitas Panas Pada Tekanan Konstan (Cp) Setiap Komponen Pada Fase Cair

Komponen	A	B	C	D
C ₄ H ₁₀ O ₂	10,303	1,5972	-0,0038628	0,0000037
C ₄ H ₈ O	63,393	0,40257	-0,0012686	-0,00000183
H ₂ O	92,053	-0,03995	-0,00021103	0,00000053

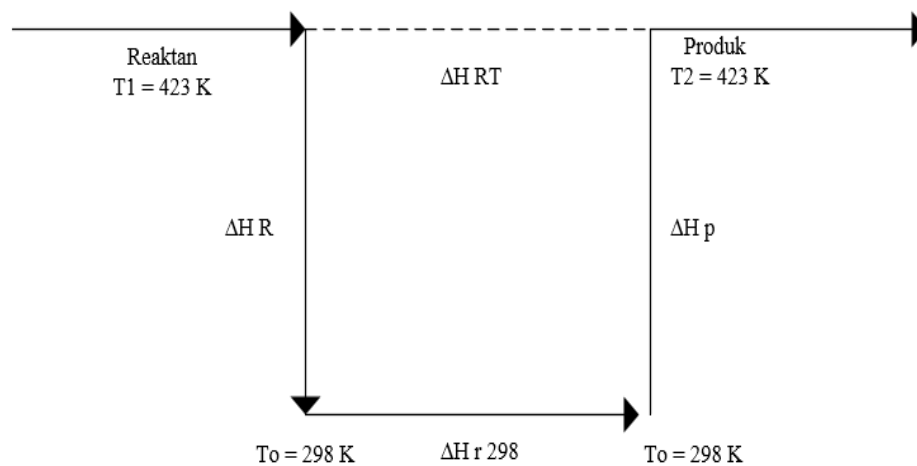
(Yaws, 1999)

a. Menentukan Panas Reaksi Total (ΔH_{RT})

Reaksi:



1.) Pada saat operasi berjalan secara adiabatik dan *isothermal*:



Gambar 1. 3 Panas Reaksi secara adiabatik dan isothermal

•Menentukan Panas Reaksi Standar (ΔH_{r298K}°):

$$\Delta H_{r298 K} = \sum (n \times \Delta H^\circ f_{\text{Produk}} - n \times \Delta H^\circ f_{\text{Reaktan}}) \quad (1.13)$$

$$\Delta H_{r298 K} = \sum (\Delta H^\circ f_{298} \text{ C}_4 \text{ H}_8 \text{ O} + \Delta H^\circ f_{298} \text{ H}_2 \text{ O}) - (\Delta H^\circ f_{298} \text{ C}_4 \text{ H}_{10} \text{ O}_2)$$

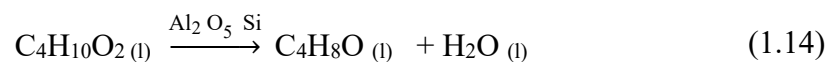
$$\Delta H_{r298 K} = ((-184,18) + (-241,8) - (-426,7)) \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

$$\Delta H_{r298 K} = 0,72 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \times \frac{1000 \text{ mol}}{\text{kmol}}$$

$$\Delta H_{r298 K} = 720 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}$$

Karena nilai ΔH_{r298K}° bernilai positif, maka reaksi bersifat endotermis. Reaksi menyerap kalor dari lingkungan sehingga sistem menyerap energi panas dari lingkungan, yang digunakan untuk memecah ikatan reaktan dan membentuk produk. Proses ini membutuhkan energi, sehingga entalpi sistem berkurang. Sedangkan penentuan arah reaksi berjalan secara *reversible* atau *irreversible* dapat diketahui dari nilai kesetimbangan kimia yang dipengaruhi oleh energi bebas *Gibbs* pada tabel diatas.

Reaksi pada reaktor:



Menentukan nilai energi bebas Gibbs reaksi pada suhu 298 K

$$\Delta G_{R 298 K}^{\circ} = \sum(n \times \Delta G_f^{\circ}) \text{ produk} - \sum(n \times \Delta G_f^{\circ}) \text{ reaktan} \quad (1.15)$$

$$\Delta G_{R 298 K}^{\circ} = \sum(\Delta G_f^{\circ} \text{ C}_4 \text{ H}_8\text{O} + \Delta G_f^{\circ} \text{ H}_2\text{O}) - \sum(\Delta G_f^{\circ} \text{ C}_4 \text{ H}_{10}\text{O}_2)$$

$$\Delta G_{R 298 K}^{\circ} = -79,68 + (-228,6) - (-277,72) \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

$$\Delta G_{R 298 K}^{\circ} = -30,56 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \times \frac{1000 \text{ J}}{\text{kJ}}$$

$$\Delta G_{R 298 K}^{\circ} = -30.560 \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

Berdasarkan perhitungan diatas nilai $\Delta G^{\circ}_{R\ 298K}$ adalah negatif maka reaktan akan berubah menjadi produk secara spontan.

Berdasarkan persamaan 15.14 dari (Van Ness et al., 1997), maka:

$$\ln K_1 = \left(\frac{\Delta G^{\circ}_{R\ 298K}}{T \cdot R} \right) \quad (1.16)$$

$$\ln K_1 = \frac{1}{298} \times - \left(\frac{-30.560 \frac{J}{mol}}{8,314 \frac{J}{mol \cdot K}} \right)$$

$$K_1 = e^{\frac{1}{T} \times 12,33}$$

$$K_1 = 227.443,4$$

Konstanta kesetimbangan reaksi pada suhu operasi 423 K (150°C) pada reaktor:

1. Nilai konstanta kesetimbangan pada keadaan standar 298 K, dihitung nilai konstanta kesetimbangan reaksi pada suhu 423 K.

$$\ln \frac{K_2}{227.443,4} = - \left(\frac{\Delta H^{\circ}}{R} \right) \times \left(\frac{1}{423\ K} - \frac{1}{298\ K} \right) \quad (1.17)$$

$$\ln \frac{K_2}{227.443,4} = - \left(\frac{720 \frac{J}{mol}}{8,314 \frac{J}{mol \cdot K}} \right) \times \left(\frac{1}{423\ K} - \frac{1}{298\ K} \right)$$

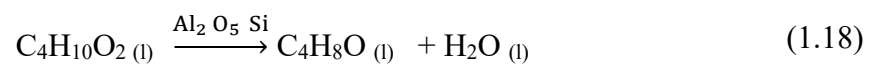
$$\ln \frac{K_2}{227.443,4} = 0,086$$

$$K_2 = 247.602,466$$

Dari perhitungan di atas dapat dilihat harga $K > 1$ sehingga dapat disimpulkan reaksi bersifat *irreversible* atau searah.

1.4.2 Tinjauan Kinetika

Reaksi pembentukan THF (C_4H_8O) merupakan reaksi dehidrasi dengan bahan baku 1,4-*butanediol* ($C_4H_{10}O_2$) sesuai dengan persamaan berikut ini:



Proses ini dilakukan dengan bantuan katalis *zeolite ZSM-5* dengan tujuan untuk mempercepat proses reaksi. Dalam skala industri katalis ini merupakan katalis yang umum dan mudah didapatkan. Reaksi dehidrasi dalam pembentukan THF (C_4H_8O) adalah reaksi orde dua.

$$k = A e^{\frac{E_a}{RT}}$$

$$\ln k = \ln A e^{\frac{E_a}{RT}}$$

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT}$$

$$\ln k = \ln A - \left(\frac{E_a}{R}\right) \frac{1}{T} \quad (1.19)$$

Dimana,

K = konstanta kecepatan reaksi

A = faktor frekuensi = k_0

E_a = energi aktivasi

R = konstanta hukum gas ideal

Berdasarkan referensi jurnal didapatkan nilai $E = 190,26 \text{ kJ/mol}$, $k_0 = 1,21 \times 10^{18} \text{ mol/(g.cat.s)}$. Berdasarkan hasil eksperimen diperoleh nilai k sebagai berikut:

Tabel 1. 13 nilai k dan konversi proses

Temperatur (K)	$k \left(\frac{\text{L}}{\text{g}_{\text{cat}}} \cdot \frac{1}{\text{s}} \right)$	$K_{\text{BDO}} \left(\frac{\text{L}}{\text{mol}} \right)$	Konversi (%)
423	$2,67 \times 10^{-6}$	2,47	93,8
453	$3,74 \times 10^{-4}$	1,51	80,6
473	$6,33 \times 10^{-4}$	0,90	87,9

(Aghaziarati et al., 2007)

Berdasarkan tabel diatas nilai k yang digunakan sebesar $2,67 \times 10^{-6} \frac{\text{L}}{\text{g}_{\text{cat}}} \cdot \frac{1}{\text{s}}$

$$k = 2,67 \times 10^{-6} \frac{\text{L}}{\text{g}_{\text{cat}}} \cdot \frac{1}{\text{s}}$$

$$k = \left(2,67 \times 10^{-6} \frac{\text{L}}{\text{g}_{\text{cat}}} \cdot \frac{1}{\text{s}} \right) \times \left(162,04 \frac{\text{g}_{\text{cat}}}{\text{mol}} \right)$$

$$k = 4,327 \times 10^{-4} \frac{\text{L}}{\text{mol.s}}$$

BAB II

PERANCANGAN PRODUK

Pemenuhan kualitas produk dapat sejalan dengan spesifikasi bahan baku, bahan penunjang, dan produk yang ditawarkan. Berikut spesifikasi dan pengendalian proses dari bahan baku, bahan pendukung pada pembuatan THF.

2.1 Spesifikasi Produk

2.1.1 Sifat Fisika Produk

Tabel 2. 1 Sifat Fisika Produk

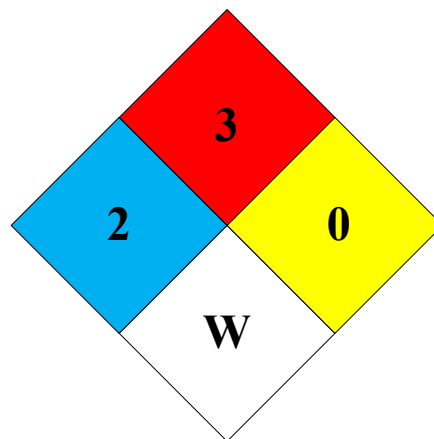
Spesifikasi	<i>Tetrahydrofuran</i>
Rumus Molekul	C ₄ H ₈ O
Berat Molekul	72 g/mol
Kemurnian	99% THF 1% Air
Kenampakan	Cairan tak berwarna
Densitas	0,89 g/cm ³ (20°C)
Titik Lebur	-108,44 °C
Titik Didih	65 °C
Tekanan Uap	170 hPa (20°C)
Titik Nyala	-21,2 °C

Viskositas	0,48 cP pada 25 °C
Kelarutan	Larut

(BASF, 2015)

2.1.2 Sifat Kimia Produk

Tetrahydrofuran (THF) adalah cairan tidak berwarna yang mudah menguap, dengan aroma yang mirip dengan aseton. Secara kimiawi, THF bersifat netral, sangat polar, dan mudah larut dalam air. THF yang diproduksi secara sintesis diperoleh dengan menghilangkan air dari 1,4-*butanediol*. Keunggulan utama THF terletak pada kemampuannya sebagai pelarut yang sangat efektif untuk banyak senyawa organik, baik larutan air maupun pelarut organik lainnya. Sebagai pelarut polar, senyawa ini tidak menyumbangkan ikatan hidrogen tetapi memiliki momen dipol permanen.



Gambar 2. 1 Hazard Diamond Tetrahydrofuran

a. Bahaya Kesehatan (Warna Biru)

THF diklasifikasikan sebagai zat berbahaya tingkat 2 karena sifatnya sebagai iritan sedang terhadap kulit dan mata. Paparan langsung terhadap THF dapat

mengakibatkan iritasi, seperti timbulnya kemerahan dan sensasi perih pada kulit dan mata.

b. Bahaya Kebakaran (Warna Merah)

THF diklasifikasikan sebagai zat berbahaya tingkat 3. Senyawa berupa cairan dan uap yang mudah terbakar dengan titik nyala yang sangat rendah yaitu $-21,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan uapnya dapat membentuk cairan eksplosif di udara.

c. Reaktivitas (Warna Kuning)

THF diklasifikasikan kedalam tingkat 0 karena senyawa ini umumnya stabil di bawah kondisi penyimpanan dan penanganan normal. Namun, jika penyimpanan terlalu lama atau terpapar udara dan cahaya dengan suhu tinggi mampu membentuk peroksida eksplosif.

d. Peringatan Khusus (Warna Putih)

THF dapat ditandai dengan huruf "W" untuk menunjukkan bahwa dapat membentuk peroksida berbahaya dibawah kondisi tertentu.

e. Kegunaan Produk

THF memiliki beragam aplikasi penting di berbagai bidang. THF adalah pelarut serbaguna yang sangat digunakan dalam laboratorium untuk melarutkan berbagai zat kimia. Dalam konteks sintesis senyawa organik, THF berperan penting sebagai pelarut dalam reaksi kimia untuk menghasilkan molekul baru dalam penelitian dan pengembangan. Selain itu, THF juga digunakan dalam pemurnian bahan kimia serta sebagai fase mobile dalam kromatografi cair kinerja tinggi (HPLC) untuk analisis komponen dalam campuran. Dalam

industri kimia, THF digunakan dalam produksi polimer sintetis, pembuatan cat, pernis, dan perekat, serta untuk ekstraksi bahan kimia seperti pewarna dan wewangian.

Selain aplikasi di laboratorium dan industri, THF juga memiliki peran penting dalam teknologi baterai, khususnya sebagai pelarut dalam elektrolit untuk baterai lithium-ion. Sifat konduktif dan kemampuannya melarutkan garam lithium membuatnya ideal untuk aplikasi ini. THF juga memiliki penggunaan lain seperti cairan pembersih untuk menghilangkan kontaminan tertentu dan sebagai cairan pendingin dalam aplikasi khusus. Dengan beragam aplikasi ini, THF telah membuktikan nilainya sebagai komponen penting dalam berbagai proses industri dan teknologi modern.

2.2 Spesifikasi Bahan Baku dan Bahan Pendukung

2.2.1 Sifat Fisika Bahan Baku dan Bahan Pendukung

Tabel 2. 2 Sifat Fisika Bahan Baku dan Bahan Pendukung

Spesifikasi	Bahan Baku	Bahan Pendukung
Nama Senyawa	1,4- <i>butanediol</i>	Katalisator (<i>zeolites ZSM-5</i>)
Rumus Molekul	C ₄ H ₁₀ O ₂	Al ₂ O ₅ Si
Wujud	Cair	Padat
Berat Molekul	90,12 g/mol	162,043 g/mol

Spesifikasi	Bahan Baku	Bahan Pendukung
Kemurnian	99% 1,4- <i>butanediol</i> dan 1 % Air	99,9%
Kenampakan	Tak berwarna	Padat berpori yang biasanya berbentuk serbuk putih atau butiran padat dengan warna putih hingga abu-abu muda
Densitas	1,0171 g/cm ³ (20°C)	2,2 g/cm ³
Titik Lebur	20 °C	
Titik Didih	229,2 °C	
Tekanan Uap	0,019 hPa pada 25 °C	
Viskositas	82,3 mm ² /s (20 °C)	
Kelarutan	Larut	Tidak larut (air)
Titik Nyala	135 °C	

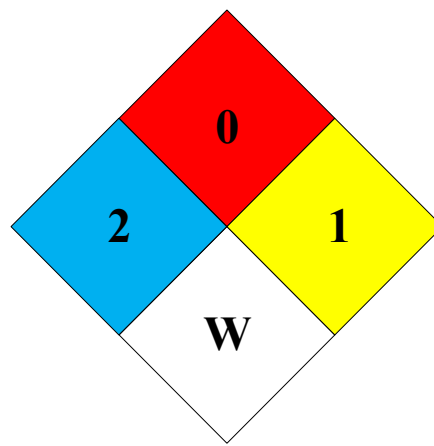
BASF, 2007

2.2.2 Sifat Kimia Bahan Baku dan Bahan Pendukung

1. 1,4-*butanediol*

1,4-*butanediol* (BDO) adalah senyawa organik dengan rumus molekul C₄H₁₀O₂. Senyawa ini berbentuk cairan tidak berwarna yang kental dengan aroma sedikit manis. BDO berfungsi sebagai bahan antara yang penting dalam

pembuatan berbagai bahan kimia dan material. Sebagai diol, BDO memiliki dua gugus hidroksil (-OH) yang melekat pada rantai karbonnya. BDO mampu mengalami berbagai reaksi kimia seperti oksidasi, dehidrasi, dan esterifikasi. Secara biologis, BDO mudah terurai dan memiliki tingkat toksisitas yang rendah.



Gambar 2. 2 Hazard Diamond 1,4-butanediol

a. Bahaya Kesehatan (Warna Biru)

1,4-*butanediol* diklasifikasikan sebagai zat berbahaya tingkat 2 karena sifatnya sebagai iritan sedang terhadap kulit, mata dan saluran pernapasan. Paparan langsung terhadap 1,4-*butanediol* dapat menyebabkan efek sistemik pada sistem saraf pusat, termasuk sakit kepala, pusing, dan kelelahan.

b. Bahaya Kebakaran (Warna Merah)

1,4- *butanediol* diklasifikasikan sebagai zat berbahaya tingkat 0. Senyawa ini berupa cairan yang mudah terbakar dengan titik nyala yaitu 135 °C dan uapnya dapat membentuk cairan eksplosif diudara. Saat terbakar senyawa

inimenghasilkan asap dan gas berbahaya termasuk karbon monoksida dan karbon dioksida.

c. Reaktivitas (Warna Kuning)

1,4-butanediol diklasifikasikan kedalam tingkat 1 karena senyawa ini umumnya stabil di bawah kondisi penyimpanan dan penanganan normal. Namun, dapat bereaksi dengan oksidan kuat serta dapat terurai pada suhu tinggi dan menghasilkan produk dekomposisi yang berbahaya.

d. Peringatan Khusus (Warna Putih)

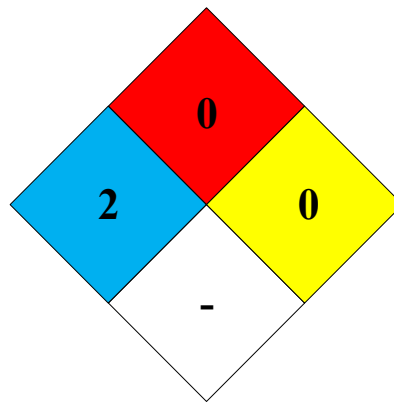
1,4-butanediol dapat ditandai dengan huruf “W” untuk menunjukkan bahwa *1,4-butanediol* mudah bereaksi dengan air sehingga dapat membentuk peroksida berbahaya dibawah kondisi tertentu.

e. Kegunaan Produk

1,4-butanediol merupakan komponen kunci dalam pembuatan sejumlah bahan kimia penting. Ini termasuk Polietilen tereftalat (PBT), jenis poliester yang digunakan dalam pembuatan plastik dan serat. Selain itu, BDO juga digunakan dalam produksi THF yang berfungsi sebagai pelarut penting dalam berbagai aplikasi industri dan laboratorium. Selain itu, BDO digunakan dalam pembuatan *1,4-butanediol diacrylate* (BDDA), suatu agen *crosslinking* yang digunakan dalam pembuatan pelapis dan perekat. Selain aplikasi tersebut, BDO juga diterapkan dalam industri farmasi untuk pembuatan obat-obatan, serta dalam industri kosmetik dan pembuatan perasa.

2. Zeolites ZSM-5

Zeolite ZSM-5, sering disebut sebagai *ZSM-5*, adalah jenis zeolit buatan yang termasuk dalam keluarga zeolit silikat berpori. Meskipun memiliki pori-pori internal yang berpori, permukaan eksternal *ZSM-5* sangat hidrofobik (menolak air), sementara pori-porinya yang seragam memungkinkan hanya molekul dengan ukuran tertentu untuk lewat, memberikan kegunaan dalam proses pemisahan dan katalisis.



Gambar 2. 3 Hazard Diamond Katalis Zeolite ZSM-5

a. Bahaya Kesehatan (Warna Biru)

Zeolite ZSM-5 diklasifikasikan sebagai zat berbahaya tingkat 2 karena sifatnya sebagai iritan sedang terhadap kulit, mata dan saluran pernapasan

b. Bahaya Kebakaran (Warna Merah)

Zeolite ZSM-5 diklasifikasikan sebagai zat berbahaya tingkat 0 karena tidak mudah terbakar dan tidak mendukung timbulnya pembakaran.

c. Reaktivitas (Warna Kuning)

Zeolite ZSM-5 diklasifikasikan kedalam tingkat 0 karena senyawa ini umumnya stabil di bawah kondisi penyimpanan dan penanganan normal serta tidak mudah bereaksi secara berbahaya dengan bahan lain.

d. Peringatan Khusus

Tidak ada

e. Kegunaan Produk

Zeolite ZSM-5 adalah katalis yang sangat efisien untuk berbagai reaksi kimia seperti *cracking* katalitik untuk mengubah molekul hidrokarbon besar menjadi molekul yang lebih kecil seperti bensin, alkilasi untuk menambahkan cabang alkil pada molekul hidrokarbon, reaksi dehidrasi, reaksi isomerisasi untuk mengubah struktur molekul hidrokarbon, dan konversi biomassa untuk mengubah biomassa menjadi bahan bakar nabati atau bahan kimia berharga lainnya. Selain sebagai katalis, *zeolite ZSM-5* juga dapat digunakan untuk adsorpsi molekul tertentu dari campuran gas atau cairan berdasarkan ukuran dan afinitasnya. Aplikasi adsorpsi ini termasuk pengeringan gas untuk menghilangkan air dari aliran gas, pemurnian udara untuk menghilangkan polutan dari udara, pemisahan gas untuk memisahkan gas yang berbeda dalam campuran, penyerapan karbon dioksida dari emisi gas buang, serta pemisahan molekul berdasarkan ukurannya dalam pemisahan minyak bumi, petrokimia, dan pemrosesan farmasi.

2.3 Pengendalian Kualitas

2.3.1 Pengendalian Kualitas Bahan Baku

Sebelum proses produksi, analisis atau pengujian dilakukan terhadap bahan baku. Bahan baku terdiri dari 1,4-*butanediol*. Tujuan pengujian ini dilakukan agar bahan baku yang digunakan sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan di dalam desain produksi. Pengujian yang dilakukan seperti kelarutan dalam air, densitas, titik lebur, dan lain sebagainya.

2.3.2 Pengendalian Kualitas Bahan Pendukung

Bahan pendukung seperti katalis *zeolite ZSM-5*, sebagai medium untuk proses pembuatan THF di pabrik ini juga perlu dianalisa untuk mengetahui sifat-sifat fisisnya, apakah sudah sesuai dengan spesifikasi dari masing-masing bahan untuk membantu kelancaran proses.

2.3.3 Pengendalian Kualitas Produk

Adanya pengawasan dan pengendalian produksi yang dilakukan untuk menjaga kualitas produk yang akan dihasilkan dan harus sudah dilakukan sejak dari bahan baku sampai menjadi produk. Selain pengawasan mutu bahan baku, produk setengah jadi, maupun produk penunjang mutu proses. Semua pengawasan ini dapat dilakukan analisa di laboratorium maupun menggunakan alat kontrol.

2.3.4 Pengendalian Proses Produk

Pengendalian proses produksi pabrik ini meliputi aliran dan alat sistem kontrol.

a. Alat Sistem Kontrol

Pengawasan dan pengendalian jalannya operasi dilakukan dengan alat pengendali yang berpusat di ruang kontrol, dilakukan dengan cara kontrol otomatis maupun secara manual yang menggunakan indikator. Apabila terjadi penyimpangan indikator yang telah ditetapkan tersebut atau di setting baik itu laju alir bahan baku, produk, *level control*, maupun *temperature control*, dapat diketahui dari sinyal atau tanda yang diberikan berupa: nyala lampu, bunyi alarm, dan sebagainya. Apabila terjadi penyimpangan, maka penyimpangan tersebut harus dikembalikan pada kondisi atau setting semula. Beberapa alat kontrol yang digunakan pada kondisi tertentu antara lain:

- *Temperature Control (TC)*

Temperature control merupakan alat kontrol yang berfungsi untuk mengontrol suhu dalam alat proses, yang apabila belum sesuai dengan kondisi yang ditetapkan akan menimbulkan masalah dan akan ditandai dengan isyarat berupa suara dan nyala lampu.

- *Flow Control (FC)*

Flow control merupakan alat yang digunakan untuk mengatur kecepatan aliran fluida dalam pipa atau unit proses lainnya. Pengukuran kecepatan aliran fluida dalam pipa biasanya diatur dengan mengatur output dari alat, yang mengakibatkan fluida mengalir dalam pipa. (fluida terdiri dari *vapor* dan *liquid*).

- *Level Control (LC)*

Level control merupakan alat yang dipakai untuk mengatur ketinggian (level) cairan dalam suatu alat dimana cairan tersebut bekerja. Pengukuran tinggi permukaan cairan dilakukan dengan operasi dari sebuah *control valve*, yaitu dengan mengatur laju cairan masuk atau keluar proses.

- *Pressure Controller (PC)*

Pressure controller merupakan alat yang dipasang untuk mengontrol tekanan pada sistem, dengan cara mengatur *set point pressure* ke jumlah tertentu. *Control valve* dihubungkan dengan suatu saklar. Jika pada suatu proses, tekanan naik lebih dari *set point* maka saklar akan aktif dan mematikan secara otomatis *control valve*.

2. Aliran Sistem Kontrol

- Aliran pneumatis (aliran udara tekan) digunakan untuk *valve* dari *controller* ke *actuator*.

Contoh: (—#—)

- Aliran elektrik (aliran listrik) digunakan untuk suhu dari sensor ke *controller*.

Contohnya: (---)

- Aliran mekanik (aliran gerakan/perpindahan level) digunakan untuk aliran dari sensor ke *controller*.

2.3.5 Pengendalian Kualitas Produk

Untuk memperoleh produk standar maka diperlukan bahan yang berkualitas, pengawasan serta pengendalian terhadap proses yang ada dengan

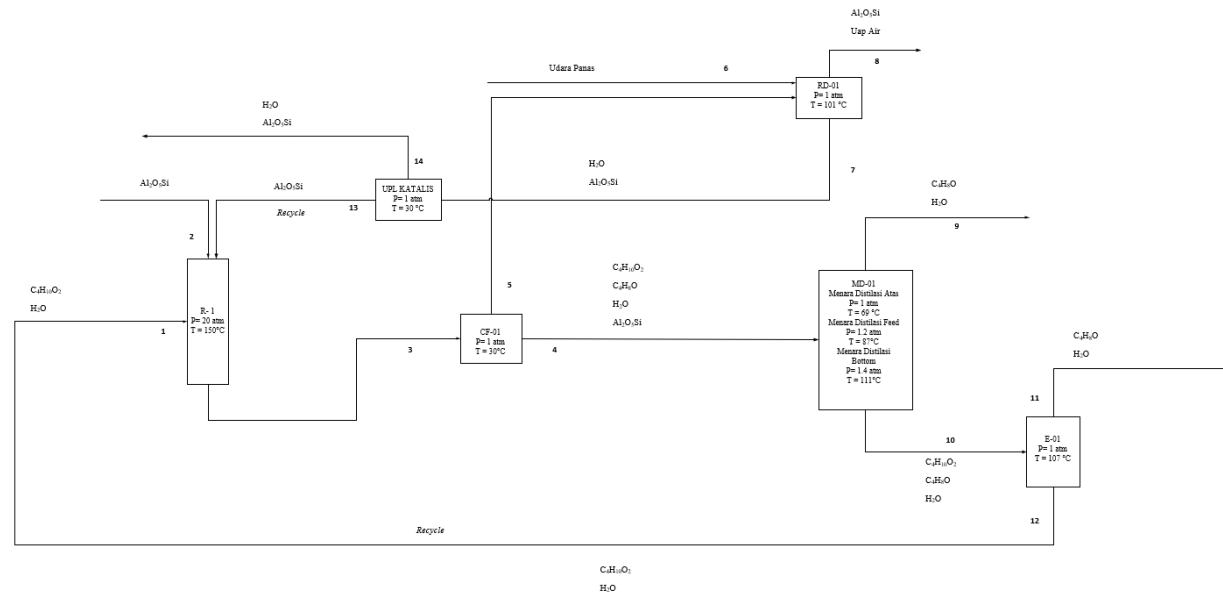
menggunakan sistem kontrol, selain itu penerapan *quality management* juga diterapkan dibawah kontrol departemen *quality assurance* juga *quality control*. Sehingga produk yang dihasilkan dapat terjaga kualitasnya dalam pemasaran. Juga memperhatikan kualitas produk pada saat pemipaan saat *loading* serta tangki yang digunakan untuk pembawaan produk sampai kepada konsumen.

BAB III

PERANCANGAN PROSES

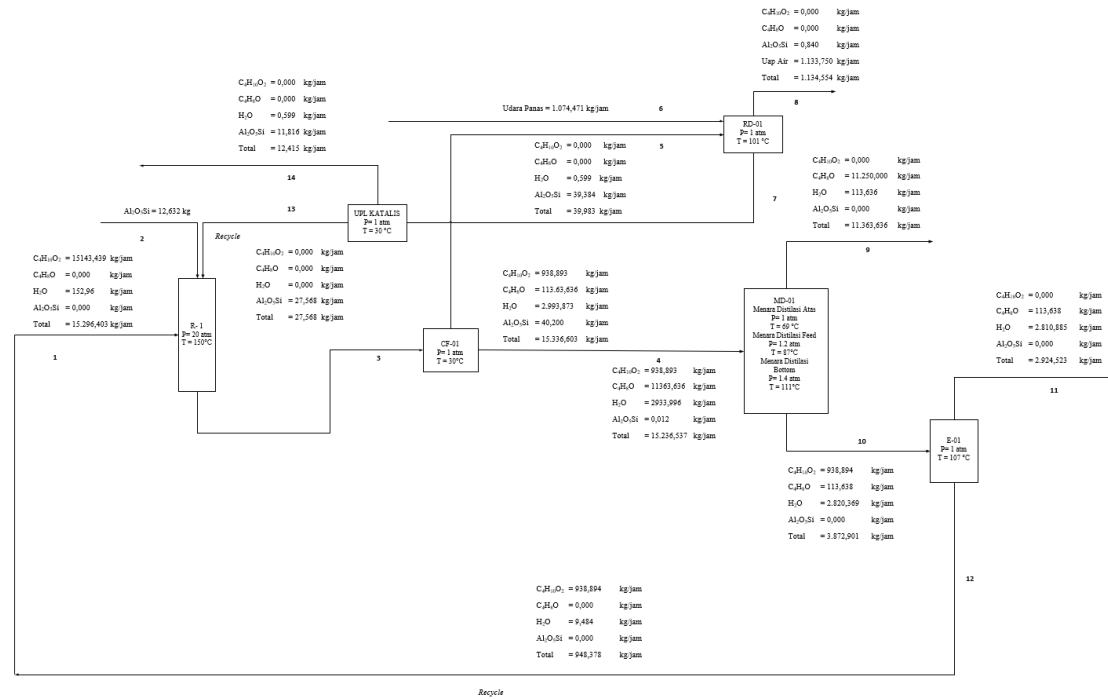
3.1 Diagram Alir Proses dan Material

3.1.1 Diagram Alir Kualitatif



Gambar 3. 1 Diagram Alir Kualitatif

3.1.2 Diagram Alir Kuantitatif



Gambar 3. 2 Diagram Alir Kuantitatif

3.2 Uraian Proses

Prarancangan pabrik THF ini di produksi dengan kapasitas 90.000 ton/tahun menggunakan bahan baku 1,4-*butanediol* dengan bantuan katalis *zeolite ZSM-5* dengan proses yang digunakan pada prarancangan pabrik ini menggunakan metode dehidrasi. Proses untuk menghasilkan THF pabrik akan beroperasi selama 24 jam perhari dalam 330 hari dalam 1 tahun. Proses yang terjadi dapat dibagi menjadi tiga tahap, yaitu:

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

3.2.1 Persiapan Bahan Baku

Bahan baku pembuatan THF adalah 1,4-*butanediol* dengan kemurnian 99% dan pengotor berupa air 1% yang disimpan dalam tangki penyimpanan bahan (T-01) pada fase cair dengan kondisi tekanan 1 atm dan suhu 30°C.

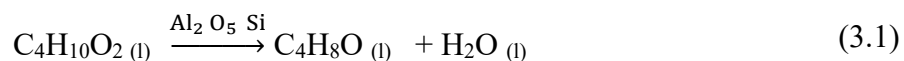
Bahan baku berupa 1,4-*butanediol* yang dialirkan dari tangki penyimpanan bahan baku (T-01) dan aliran *recycle* yang berasal dari produk bawah evaporator (E-01) dengan tekanan 1 atm dan suhu 30°C kemudian dialirkan menggunakan pompa (P-01) untuk naiknya menggunakan *Heater* (H-01) sampai 150°C.

3.2.2 Proses Reaksi Pembuatan Produk

Pada pembuatan THF digunakan reaksi dehidrasi dengan bantuan katalis *zeolite ZSM-5* yang sudah aktif secara langsung di dalam reaktor karena suhu operasi yang tinggi yaitu 150°C. Penambahan katalis *zeolite ZSM-5* pada Reaktor

(R-01) dilakukan secara manual oleh operator. Reaktor berupa *batch* berpengaduk yang berjalan pada kondisi operasi 20 atm dan suhu 150°C pada fase cair dengan waktu reaksi 3 jam. Setelah 1,4-*butanediol* dinaikkan suhunya di *Heater 1* (HE-01) kemudian dialirkan ke masing-masing reaktor menggunakan Pompa 2 (P-02). Aliran pada Pompa 2 (P-02) di paralelkan menjadi 4 menggunakan *valve* dengan kapasitas laju alir per jam sama.

Reaksi yang terjadi dapat dituliskan menggunakan persamaan dibawah ini:



Reaksi berlangsung secara adiabatik dan *isothermal* dengan fase cair-cair. Setelah proses reaksi berjalan selama 3 jam kemudian masing-masing *output* disatukan dalam *Expansion Valve* (EV-01) untuk diturunkan tekanannya hingga 1 atm yang kemudian dialirkan kedalam *Cooler 1* (CL-01) untuk diturunkan suhunya menjadi 30°C.

3.2.3 Proses Pemisahan dan Pemurnian Produk

Hasil keluaran reaktor berupa campuran THF, 1,4-*butanediol*, *air*, dan *zeolite ZSM-5*. Untuk mendapatkan produk berupa THF dengan kemurnian tinggi maka perlu dilakukan tahap-tahap pemisahan dan pemurnian produk. Tahap yang pertama yaitu dimurnikan kedalam *Centrifuge* (CF-01), hasil keluaran dari *Cooler-01* (CL-01) melalui Pompa 3 (P-03) masuk ke dalam *Centrifuge* (CF-01) untuk dipisahkan katalis *zeolite ZSM-5* dari campuran produk THF. Hasil keluaran meliputi dua aliran yang mana aliran pertama berupa katalis *zeolite ZSM-5* dengan *air* dan aliran kedua berupa campuran produk THF. Pada produk keluaran aliran

pertama kandungan kadar air cukup tinggi sehingga dilakukan proses pengeringan. Hasil keluaran pertama dikeringkan menggunakan *Rotary Dryer* (RD-01) melalui *Conveyor-01* (SC-01) agar hasil keluaran mendekati spesifikasi *zeolite ZSM-5* dan dapat mempercepat proses pemulihan aktivasi *zeolite ZSM-5* untuk mencapai kondisi awal sehingga dapat *di recycle* kembali.

Produk aliran kedua merupakan aliran utama produk THF, yang mana produk ini dialirkan menggunakan Pompa 4 (P-04) untuk dinaikkan tekannya hingga 1,2 atm kemudian dialirkan kedalam *Heater 2* (HE-02) untuk dinaikkan suhunya sebesar 87°C (sesuai kondisi operasi pada Menara Distilasi (MD-01)). Setelah mencapai suhu 87°C keluaran dari *Heater 2* (HE-02) dialirkan melalui Pompa 5 (P-05) untuk dialirkan kedalam Menara Distilasi (MD-01) sebagai tahap pemurnian produk lanjutan. Terdapat dua hasil produk pada Menara Distilasi (MD-01) yaitu *distillate product* (99% THF dan 1% Air) dan *bottom product* (Campuran 1,4-*butanediol*, THF, dan air). Hasil atas Menara Distilasi (MD-01) berupa campuran THF 99% dan air 1% dengan kondisi operasi 1 atm dan suhu 69°C yang kemudian diembunkan kedalam kondensor MD (CD-01) dengan media pendingin air fase cair. Kondensor yang digunakan adalah kondensor total, sehingga umpan berupa gas dicairkan seluruhnya yang kemudian menjadi reflux dan distilat. Hasil keluaran Kondenser MD-01 (CD-01) berupa fase cair ditampung sementara di dalam Tangki Akumulator (T-ACC). Campuran produk berupa THF dan air kemudian dialirkan sebagian ke Reflux MD-01 dan sebagian lagi *distillate product* dialirkan menggunakan Pompa (P-06) kedalam *Cooler 2* (CL-02) untuk diturunkan suhunya menjadi 30°C. Setelah mencapai suhu 30°C *distillate product* dialirkan kembali

menggunakan Pompa (P-07) kedalam tangki penyimpanan produk (T-02). Kemudian, *bottom product* diturunkan tekanannya menggunakan *Expansion Valve* 2 (EV-02) dari 1,2 atm menjadi 1 atm. Kemudian dialirkan menggunakan Pompa 8 (P-08) ke dalam Evaporator (E-01) sebagai tahap pemurnian yang terakhir sebagai produk samping agar dapat menjadi produk *recycle* dan produk limbah dengan kualitas campuran bahan kimia yang rendah. Hasil keluaran dari Evaporator (E-01) meliputi produk atas (campuran 4% THF dan 96% Air) sedangkan produk bawah berupa (99% 1,4-*butanediol* dan 1% Air). Produk atas kemudian dialirkan menggunakan pompa 9 (P-09) untuk didinginkan dan diubah fasenya dari uap menjadi cair dengan perubahan suhu dari 107°C ke 30°C ke dalam Kondenser 2 (CD-02). Setelah mencapai suhu 30°C, hasil keluaran dari Kondenser 2 (CD-02) dialirkan menggunakan Pompa 10 (P-10) kedalam Tangki UPL (T-03). Produk bawah Evaporator (E-01) berupa (99% 1,4-*butanediol* dan 1% Air) akan *direcycle* kembali sebagai bahan baku produk. Sebelum di *recycle* produk bawah Evaporator (E-01) harus disesuaikan spesifikasinya sehingga harus diturunkan suhunya. Untuk produk bawah Evaporator (E-01) dialirkan menggunakan Pompa 11 (P-11) untuk didinginkan suhunya dari 107 °C menjadi 30°C menggunakan *Cooler* 3 (CL-03) yang mana hal tersebut sesuai dengan kondisi operasi Tangki Penyimpanan Bahan Baku (T-01). Setelah mencapai suhu 30°C, keluaran dari *Cooler* 3 (CL-03) dialirkan menuju Tangki Bahan Baku (T-01) menggunakan Pompa 12 (P-12).

3.3 Spesifikasi Alat

Perancangan spesifikasi alat pada pabrik THF telah dirancang berdasarkan pertimbangan efisiensi dan optimasi proses yang telah disesuaikan. Spesifikasi alat-alat pada perancangan pabrik THF dari 1,4-*butanediol*:

3.3.1 Spesifikasi Alat Proses

a. Reaktor

Spesifikasi Umum

Kode	: R-1
Fungsi	: Mereaksikan $C_4H_{10}O_2$ dengan proses dehidrasi menggunakan katalis Al_2O_3Si untuk menghasilkan C_4H_8O
Jenis	: Reaktor Alir Tangki Berpengaduk
Mode Operasi	: <i>Continues</i>
Jumlah	: 4
Harga	: \$1,054,569.83

Kondisi Operasi

Suhu	: 150°C
Tekanan	: 20 atm

Kondisi Proses : *Isothermal*

Konstruksi dan Material

Bahan konstruksi : *Stainless Steel 316*

ID *shell* : 211,50 in

OD *shell* : 216 in

Tebal *shell* : 2,25 in

Tebal *head* : 1,875 in

Tebal *bottom* : 1,875 in

Tinggi reaktor : 8,705 m

Diameter reaktor : 4,699 m

Volume reaktor : 81,472 m³

Volume *head* : 0,028 m³

Tinggi fraksi ruang

kosong

Jenis *head* : *Eleptical Dished Head*

Spesifikasi Pengaduk

Jenis : *Flat six blad turbine*

Diameter pengaduk : 1,566 m

Tinggi *impeller* dari
dasar tangki : 2,036 m

Jumlah *impeller* : 1

Diameter batang
penyangga *impeller* : 1,044 m

Lebar *baffle* : 0,266 m

Tebal *baffle* : 0,313 m

Jarak *baffle* dari dasar
tangki : 0,783 m

Jarak *baffle* dari
permukaan cairan : 0,044 m

Jumlah *baffle* : 4

Panjang *baffle* : 3,871 m

Power : 60 Hp

Kecepatan putar : 155 rpm

Spesifikasi Jacket Pemanas

Tinggi : 330 in

Diameter (ID) : 220 in

Tebal dinding jaket pemanas : 0,187 in

Luas selimut : 49,370 m²

Luas perpindahan panas : 9,273 m²

b. Centrifuge (CF-01)

Nama dan Kode : *Centrifuge (CF-01)*

Jenis : *Continous Noozle Centrifuge*

Fungsi : Untuk memisahkan padatan katalis Al₂O₅Si dari campuran THF hasil produk dari R-01

Bahan Konstruksi : *Stainless Steel 316*

Kondisi Operasi

Suhu : 30°C

Tekanan : 1 atm

Spesifikasi

Kapasitas : 15.336,602 kg/jam

Diameter bucket	: 0,762 m
Panjang bucket	: 2 m
Laju putar motor	: 4.571 rpm
Waktu tinggal	: 2,6 menit
Daya motor	: 40 Hp
Harga	: \$54,200

c. Rotary Dryer (RD-01)

Nama dan Kode	: <i>Rotary Dryer (RD-01)</i>
Fungsi	: Mengurangi kadar air pada katalis Al_2O_3Si sebelum diproses pada UPL katalis
Jenis	: <i>FCI Heat</i>
Bahan Konstruksi	: <i>Stainlees steel 316</i>

Kondisi Operasi

Suhu Bahan Masuk	: 30°C
Suhu Udara Masuk	: 216,7°C
Suhu Bahan Keluar	: 80 °C
Suhu Udara Keluar	: 87°C
Diameter	: 0,886 m
Panjang	: 1,602 m
Waktu tinggal	: 3 menit
<i>Power</i>	: 5 Hp

Harga : \$99,900

d. Menara Distilasi (MD-01)

Nama dan Kode : Menara Distilasi (MD-01)

Fungsi : Untuk memurnikan 99% C_4H_8O dan 1% H_2O dari campuran $C_4H_{10}O_2$ dan H_2O pada hasil produk R-01

Jenis : *Multicomponent Distillation*

Tipe : *Plate tower (sieve tray) berbentuk torispherical roof*

Material : *Stainless Steel 316*

Kondisi Operasi

Umpan

Suhu : $87^{\circ}C$

Tekanan : 1,2 atm

Distilat

Suhu : $69^{\circ}C$

Tekanan : 1 atm

Bottom

Suhu : 111°C

Tekanan : 1,4 atm

Spesifikasi***Shell***

Diameter : 1,820 m

Tinggi : 15,700 m

Tebal : 1,820 m

Head

Jenis : *Torispherical roof*

Tebal : 0,0048 m

Tinggi : 0,364 m

Untuk tipe menara *tray*

Jenis *tray* : *Sieve tray*

Feed plate : 14

Jumlah *plate* aktual : 23

Susunan *hole* : *Triangular*

Diameter *hole* : 0,05 m

Tray spacing : 0,6 m

Jumlah buah lubang : 100,74

Harga : \$274,600

e. Evaporator (E-01)

Nama dan Kode : Evaporator (E-01)

Fungsi : Memurnikan kembali $C_4H_{10}O_2$ hingga mencapai kadar 99% agar dapat digunakan sebagai bahan baku ($C_4H_{10}O_2$ *recycle*)

Tipe : *Short Tube Vertical*

Bahan Konstruksi : *Stainless Steel 316*

Jumlah : 1

Kondisi Operasi

Tekanan : 1 atm

Suhu : 107°C

Kapasitas : 3.872,9 kg/jam

Spesifikasi Silinder

Diameter dalam : 1,610 m

Diameter luar : 1,623 m

Tinggi : 2,415 m

Tebal : 0,013 m

Spesifikasi Tutup

Jenis : *Torispherical dished head*

Tebal : 0,0048 m

Tinggi : 0,377 m

Harga : \$36,088.46

3.3.2 Spesifikasi Alat Penyimpanan Bahan

i. Tangki Penyimpanan Fase Cair

Tabel 3. 1 Tangki Penyimpanan Fase Cair

Tangki	T-01	T-02	T-03	T-Acc
Fungsi	Menyimpan bahan baku (99% $C_4H_{10}O_2$ dan 1% H_2O)	Menyimpan produk (99% C_4H_8O dan 1% H_2O)	Menyimpan hasil samping produk berupa campuran 96% $C_4H_{10}O_2$ dan 4% H_2O	Menampung produk sementara distilat dari MD-01
Lama Penyimpanan (hari)	60	7	30	0,007
Fasa	Cair	Cair	Cair	Cair
Jumlah tangki	2	1	1	1
Suhu ($^{\circ}C$)	60	30	30	67
Tekanan (atm)	1	1	1	1
Bahan Konstruksi	<i>Carbon Steel</i>	<i>Carbon Steel</i>	<i>Carbon Steel</i>	<i>Carbon Steel</i>

Tangki	T-01	T-02	T-03	T-Acc
Volume Tangki (m ³)	4.483,307	3.486,486	3.486,486	2,722
Diameter (m)	18,293	21,341	21,341	1,038
Tinggi/ Panjang (m)	18,800	13,482	11,514	3,114
Tinggi tutup (m)	1,731	3,726	1,760	-
Jumlah <i>course</i>	8	4	4	-
Tebal <i>shell</i> (in)	0,750	0,188	0,500	0,188
Jenis <i>Head</i>	<i>Conical roof</i>	<i>Torispherical Dished</i>	<i>Conical roof</i>	<i>Torispherical Dished</i>
Tebal <i>Head</i> (in)	0,500	1,500	0,500	0,188
Jenis <i>Bottom</i>	<i>Flat Bottom</i>	<i>Flat Bottom</i>	<i>Flat bottom</i>	-
Tebal <i>Bottom</i> (in)	0,250	1,625	0,250	-
Harga	\$1,565,777.747	\$1,544,477.417	\$2,922,215.310	\$17,772.887

ii. Tangki Penyimpanan Fase Padat

Nama dan Kode : Silo (S-01)

Fungsi : Menyimpan katalis *zeolite ZSM-5*

Lama : 7 hari

Penyimpanan

Fasa : Padat

Jumlah : 1

Jenis : Silinder tegak tutup datar dan alas berbentuk kerucut

Kondisi Operasi

Suhu : 30°C

Tekanan : 1 atm

Spesifikasi

Bahan Konstruksi : *Stainless Steel 316*

Volume : 105,8773 m³

Diameter : 4,0376 m

Tinggi : 10,0939 m

Tebal shell : 0,375 in

Harga : \$281,652.769

3.3.3 Spesifikasi Alat Transportasi

a. Alat transportasi pada fase cair

Tabel 3. 2 Spesifikasi Pompa pada Alat Proses

Kode	P-01 A/B	P-02 A/B	P-03 A/B	P-04 A/B	P-05 A/B	P-06 A/B
Fungsi	Mengalirkan $C_4H_{10}O_2$ dari T-01 menuju HE-01	Mengalirkan output dari HE-01 ke Reaktor	Mengalirkan keluaran CL-01 ke CF-01	Mengalirkan dari CF-01 ke HE-02	Mengalirkan dari HE-02 ke MD-01	Mengalirkan produk distilat MD-01 ke CL-02
Tipe	<i>Centrifugal Pump</i>	<i>Centrifugal Pump</i>	<i>Centrifugal Pump</i>	<i>Centrifugal Pump</i>	<i>Centrifugal Pump</i>	<i>Centrifugal Pump</i>
Impeller	<i>Mixed flow impellers</i>	<i>Radial flow impellers</i>	<i>Radial flow impellers</i>	<i>Radial flow impellers</i>	<i>Radial flow impellers</i>	<i>Mixed flow impellers</i>
Jumlah	1	1	1	1	1	1
Bahan Konstruksi	<i>Stainless Steel 316</i>	<i>Stainless Steel 316</i>	<i>Stainless Steel 316</i>	<i>Stainless Steel 316</i>	<i>Stainless Steel 316</i>	<i>Stainless Steel 316</i>
Suhu (°C)	30	150	30	30	87	69
Tekanan (atm)	1	20	1	1	1	1
Total Head (m)	5,043	225,683	35,021	65,800	32,607	5,092

Kode	P-01 A/B	P-02 A/B	P-03 A/B	P-04 A/B	P-05 A/B	P-06 A/B
Viskositas (kg/m.s)	0,058	0,002	0,004	0,004	0,001	0,0004
Instalasi	<i>Horizontal</i>	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal
Spesifikasi						
Kapasitas (m ³ /s)	0,178	0,067	0,004	0,004	0,004	0,004
Laju Alir (m/s)	0,019	0,019	0,067	0,067	0,070	0,080
Jenis Aliran	<i>Viscous flow</i>	<i>Viscous flow</i>	<i>Viscous flow</i>	<i>Viscous flow</i>	<i>Turbulen</i>	<i>Turbulen</i>
Ukuran Pipa						
ID (in)	3,068	4,000	3,068	3,068	3,068	3,068
OD (in)	3,500	4,500	3,500	3,500	3,500	3,500
IPS (in)	3,000	4,000	3,000	3,000	3,000	3,000
<i>Flow Area</i> (m ²)	0,005	0,008	0,005	0,005	0,005	0,005
Efisiensi Pompa	40%	20%	40%	40%	40%	40%
Efisiensi Motor	80%	88%	85%	87%	85%	80%
<i>Power Pompa</i> (Hp)	0,845	7,687	5,886	11,060	5,480	0,634

Kode	P-01 A/B	P-02 A/B	P-03 A/B	P-04 A/B	P-05 A/B	P-06 A/B
<i>Power Motor (Hp)</i>	1,500	10,000	7,500	15,000	7,500	1,000
Harga	\$17,637.216	\$23,064.051	\$17,637.216	\$17,637.216	\$17,637.216	\$17,637.216

Tabel 3. 3 Lanjutan (Spesifikasi Pompa pada Alat Proses)

Kode	P-07 A/B	P-08 A/B	P-09 A/B	P-10 A/B	P-11 A/B
Fungsi	Mengalirkan <i>output</i> dari CL-02 kedalam T-02	Mengalirkan hasil produk atas E-01 ke CD-02	Mengalirkan <i>output</i> dari CD-02 ke Tangki-03 (UPL)	Mengalirkan <i>output bottom</i> E-01 ke CL-03	Mengalirkan output dari CL-03 ke T-01 untuk di <i>recycle</i>
Tipe	<i>Centrifugal Pump</i>	<i>Centrifugal Pump</i>	<i>Centrifugal Pump</i>	<i>Centrifugal Pump</i>	<i>Centrifugal Pump</i>
<i>Impeller</i>	<i>Mixed flow impellers</i>	<i>Radial flow impeller</i>	<i>Radial flow impeller</i>	<i>Radial flow impeller</i>	<i>Radial flow impeller</i>
Jumlah	1	1	1	1	1
Bahan Konstruksi	<i>Stainless Steel 316</i>	<i>Stainless Steel 316</i>	<i>Stainless Steel 316</i>	<i>Stainless Steel 316</i>	<i>Stainless Steel 316</i>
Suhu (°C)	30	107	30	107	30

Kode	P-07 A/B	P-08 A/B	P-09 A/B	P-10 A/B	P-11 A/B
Tekanan (atm)	1	1	1	1	1
Total Head (m)	5,079	5,043	5,042	5,054	199,786
Viskositas (kg/m.s)	0,0009	0,0003	0,0008	0,004	0,058
Instalasi	<i>Horizontal</i>	<i>Horizontal</i>	<i>Horizontal</i>	<i>Horizontal</i>	<i>Horizontal</i>
Kapasitas (m ³ /s)	0,004	0,001	0,001	0,0003	0,0003
Laju Alir (m/s)	0,076	0,065	0,060	0,051	0,047
Jenis Aliran	<i>Turbulen</i>	<i>Turbulen</i>	<i>Turbulen</i>	<i>Turbulen</i>	<i>Turbulen</i>
ID (in)	3,068	1,610	1,610	1,049	1,049
OD (in)	3,500	1,900	1,900	1,320	1,320
IPS (in)	3,000	1,500	1,500	1,000	1,000
Flow Area (m ²)	0,005	0,001	0,001	0,0006	0,0006
Efisiensi Pompa	20%	20%	20%	20%	20%
Efisiensi Motor	80%	80%	80%	80%	80%
Power Pompa (Hp)	1,265	0,311	0,311	0,105	0,105

Kode	P-07 A/B	P-08 A/B	P-09 A/B	P-10 A/B	P-11 A/B
<i>Power</i> Motor (Hp)	2,000	0,500	0,500	0,170	0,170
Harga (\$)	\$17,637.216	\$10,039.646	\$10,039.646	\$5,969.519	\$5,969.519

a. Alat transportasi pada fase padat

Nama dan Kode	<i>Conveyor (SC-01)</i>	<i>Conveyor (SC-02)</i>	<i>Conveyor (SC-03)</i>	<i>Conveyor (SC-04)</i>
Fungsi	Mengangkut katalis <i>zeolite ZSM-5</i> menuju Reaktor	Mengangkut katalis <i>zeolite ZSM-5</i> menuju RD-01	Mengangkut katalis <i>zeolite ZSM-5</i> menuju UPL	Mengangkut katalis <i>zeolite ZSM-5</i> menuju S-01
Fasa	Padat	Padat	Padat	Padat
Jumlah	1	1	1	1
Jenis	<i>Screw Conveyor</i>	<i>Screw Conveyor</i>	<i>Screw Conveyor</i>	<i>Screw Conveyor</i>
Kondisi Operasi				
Suhu (°C)	30	30	80	30
Tekanan (atm)	1	1	1	1
Kapasitas (kg/jam)	40,200	40,188	39.983	39.983
Spesifikasi				
Bahan konstruksi	<i>Stainless Steel 316</i>	<i>Stainless Steel 316</i>	<i>Stainless Steel 316</i>	<i>Stainless Steel 316</i>

Nama dan Kode	<i>Conveyor (SC-01)</i>	<i>Conveyor (SC-02)</i>	<i>Conveyor (SC-03)</i>	<i>Conveyor (SC-04)</i>
Panjang (m)	9,144	9,144	9,144	9,144
Diameter <i>flight</i> (m)	0,229	0,229	0,229	0,229
Diameter <i>shaft</i> (m)	0,063	0,063	0,063	0,063
Diameter <i>feed</i> <i>section</i> (m)	0,051	0,051	0,051	0,051
Kecepatan (rpm)	40	40	40	40
<i>Power</i> motor (Hp)	0,05	0,05	0,05	0,05
Harga	\$8,547.266	\$8,547.266	\$8,547.266	\$8,547.266

b. Alat transportasi pada fase cair sebagai konversi tekanan

1) Spesifikasi *Expansion Valve* 1

Nama dan Kode	:	<i>Expansion Valve</i> 1 (EV-01)
Fungsi	:	Menurunkan tekanan pada produk Reaktor sebelum dialirkan kedalam CL-01
Fasa	:	Cair
Jumlah	:	1
Jenis	:	<i>Gate Valve</i>

Kondisi Operasi

Suhu	:	150 °C
Tekanan masuk	:	20 atm
Tekanan keluar	:	1 atm
Kapasitas	:	40,188 kg/jam

Spesifikasi

Bahan konstruksi	:	<i>Stainless Steel 316</i>
ID	:	7,981 in
OD	:	8,625 in
IPS	:	8
Flow Area	:	0,0002 m ²
Panjang	:	1 ,524 m

ekuivalen

Harga : \$76,247.040

2) Spesifikasi *Expansion Valve 2*

Nama dan Kode : *Expansion Valve 2 (EV-02)*

Fungsi : Menurunkan tekanan pada produk *bottom* MD-01
sebelum dialirkan kedalam HE-03

Fasa : Cair

Jumlah : 1

Jenis : *Gate Valve*

Kondisi

Operasi

Suhu : 111 °C

Tekanan masuk : 1,4 atm

Tekanan keluar : 1,1 atm

Kapasitas : 3872,901 kg/jam

Spesifikasi

Bahan : *Stainless Steel 316*

konstruksi

ID : 2,067 in

OD : 2,380 in

IPS : 2

Flow Area : 0,00001 m²

Panjang : 0,609 m
ekuivalen
 Harga : \$109,350.738

3.3.4 Spesifikasi Alat Penukar Panas

a. Heater 1 (HE-01)

Kode : HE-01
 Fungsi : Memanaskan C₄H₁₀O₂ dari T-01 menuju Reaktor
 Jenis : *Shell and Tube*
 Bahan Konstruksi : *Stainless Steel 304*
 Harga : \$127,530.637

<i>Operating Condition</i>				
<i>Position</i>	<i>Shell</i>		<i>Tube</i>	
<i>Fluid</i>	C ₄ H ₁₀ O ₂ , H ₂ O		Steam	
<i>Fluid type</i>	Cold		Hot	
	<i>In</i>	<i>Out</i>	<i>In</i>	<i>Out</i>
<i>Liquid flowrate (kg/jam)</i>	15.296,403	15.296,403		2.605,991
<i>Vapor flowrate (kg/jam)</i>			2.605,991	
<i>Temperature</i>	30	150	175	175

Operating Condition				
(°C)				
Pressure (atm)	1	1	1	1

Mechanical Design			
Shell		Tube	
Length (m)	6,050	Length (m)	6,050
Passes		Passes	4,000
ID (m)	0,540	ID (m)	0,029
Baffle spaces (m)	0,324	Number	105,000
		A (m²)	63,816
		BWG	18,000
		Pitch	0,040
$\Delta P_{cal} / \Delta P_{allow}$ (psi)	0,059	$\Delta P_{cal} / \Delta P_{allow}$ (psi)	0,019
Rd_{cal} / Rd_{min}	0,017	Rd_{cal} / Rd_{min}	0,017

b. Heater 2 (HE-02)

Kode : HE-02

Fungsi : Memanaskan *output* dari CF-01 sebelum dialirkan ke MD-01

Jenis : *Shell and Tube*

Bahan Konstruksi : *Stainless Steel 304*

Harga : \$157,785.25

Operating Condition				
Position	Shell		Tube	
Fluid	C ₄ H ₈ O, C ₄ H ₁₀ O ₂ , H ₂ O, Al ₂ O ₅ Si		Steam	
Fluid type	Cold		Hot	
	In	Out	In	Out
Liquid flowrate (kg/jam)	15.236,537	15.236,537		995,869
Vapor flowrate (kg/jam)			995,869	
Temperature (°C)	30	87	175	175
Pressure (atm)	1	1	1	1

Mechanical Design			
Shell		Tube	
Length (m)	6,100	Length (m)	6,100
Passes		Passes	1,000
ID (m)	0,337	ID (m)	0,017
Baffle spaces (m)	0,202	Number	61,000

Mechanical Design			
		<i>A (m²)</i>	29,673
		<i>BWG</i>	8,000
		<i>Pitch (m)</i>	0,032
<i>ΔPcal / ΔPallow (psi)</i>	0,301	<i>ΔPcal / ΔPallow</i>	0,005
<i>Rdcal / Rdmin</i>	0,014	<i>Rdcal / Rdmin</i>	0,014

c. Reboiler-MD

Kode : RB-01

Fungsi : Menguapkan sebagian hasil bawah menara distilasi

Jenis : *Shell and Tube*

Bahan Konstruksi : *Stainless Steel 304*

Harga : \$431,162.09

Operating Condition				
<i>Position</i>	<i>Shell</i>		<i>Tube</i>	
<i>Fluid</i>	C ₄ H ₈ O, C ₄ H ₁₀ O ₂ , H ₂ O		<i>Steam</i>	
<i>Fluid type</i>	<i>Cold</i>		<i>Hot</i>	
	<i>In</i>	<i>Out</i>	<i>In</i>	<i>Out</i>
<i>Liquid flowrate (kg/jam)</i>	14.635,572	14.635,572		1.897,990
<i>Vapor</i>			1.897,990	

Operating Condition				
flowrate (kg/jam)				
Temperature (°C)	111	166	175	175
Pressure (atm)	1,4	1,4	1,4	1,4

Mechanical Design			
Shell		Tube	
Length (m)	3,658	Length (m)	3,658
Passes		Passes	1,000
ID (m)	0,387	ID (m)	0,029
Baffle spaces (m)	0,291	Number	54,000
		A (m²)	19,692
		BWG	18,000
		Pitch (m)	1,250
$\Delta P_{cal} / \Delta P_{allow}$ (psi)	0,0003	$\Delta P_{cal} / \Delta P_{allow}$	2,294
R_{dcal} / R_{dmin}	0,019	R_{dcal} / R_{dmin}	0,019

a. Condenser-MD

Kode : CD-01

Fungsi : Mengembunkan uap hasil atas Menara Distilasi

Jenis : *Shell and Tube*

Bahan Konstruksi : *Stainless Steel 304*

Harga : \$57,388.79

Operating Condition				
Position	Shell		Tube	
Fluid	Air pendingin		C ₄ H ₈ O, H ₂ O	
Fluid type	Cold		Hot	
	In	Out	In	Out
Liquid flowrate (kg/jam)	65.293,198	65.293,198		11.363,636
Vapor flowrate (kg/jam)			11.363,636	
Temperature (°C)	25	40	69	67
Pressure (atm)	1	1	1	1

Mechanical Design				
	Shell		Tube	
Length (m)	6,096	Length (m)	6,096	
Passes		Passes	4,000	

Mechanical Design			
ID (m)	0,591	ID (m)	0,029
Baffle spaces (m)	0,354	Number	127,000
		A (m²)	77,186
		BWG	18,000
		Pitch (m)	0.040
$\Delta P_{cal} / \Delta P_{allow}$ (psi)	7,633	$\Delta P_{cal} / \Delta P_{allow}$	4,009
Rdcal / Rdmin	0,009	Rdcal / Rdmin	0,009

b. Condenser -02

Kode	: CD-02
Fungsi	: Mengembunkan uap hasil atas evaporator (E-01) sebelum dialirkan ke T-03 (UPL)
Jenis	: <i>Double Pipe</i>
Bahan Konstruksi	: <i>Stainless Steel 304</i>
Harga	: \$58,609.82

Operating Condition		
Position	Inner	Annulus
Fluid	C ₄ H ₈ O, H ₂ O	Air Pendingin

Operating Condition				
Position	Inner		Annulus	
Fluid type	Hot		Cold	
	In	Out	In	Out
Liquid flowrate (kg/jam)	2.924,523	2.924,523		6.658,456
Vapor flowrate (kg/jam)			6.658,456	
Temperature (°C)	107	30	25	40
Pressure (atm)	1	1	1	1

Mechanical Design			
Inner		Annulus	
Length (m)	3,630	Length (m)	3,630
Hairpin	9,000	Hairpin	9,000
ID (m)	0,078	ID (m)	0,102
OD (m)	0,089	OD (m)	0,114
A (m²)	0,085	A (m²)	0,109
IPS	0,076	IPS	0,102
Rdcal / Rdmin	0,011	Rdcal / Rdmin	0,011
$\Delta P_{cal} / \Delta P_{allow}$ (psi)	0,002	$\Delta P_{cal} / \Delta P_{allow}$ (psi)	0,574

c. Cooler - 01

Kode : CL-01

Fungsi : Menurunkan temperatur dari produk reaktor sebelum dialirkan kedalam CF-01

Jenis : *Double Pipe*

Bahan Konstruksi : *Stainless Steel 304*

Harga : \$3,527.44

<i>Operating Condition</i>				
<i>Position</i>	<i>Inner</i>		<i>Annulus</i>	
<i>Fluid</i>	Air Pendingin		C ₄ H ₈ O, C ₄ H ₁₀ O ₂ , H ₂ O, Al ₂ O ₅ Si	
<i>Fluid type</i>	<i>Cold</i>		<i>Hot</i>	
	<i>In</i>	<i>Out</i>	<i>In</i>	<i>Out</i>
<i>Liquid flowrate (kg/jam)</i>	3.817,274	3.817,274	15.296.403	15.296.403
<i>Temperature (°C)</i>	25	40	150	30
<i>Prsure (atm)</i>	1	1	1	1

<i>Mechanical Design</i>				
	<i>Inner</i>		<i>Annulus</i>	
<i>Length (m)</i>	3,630		<i>Length (m)</i>	3,630
<i>Hairpin</i>	8,000		<i>Hairpin</i>	8,000
<i>ID (m)</i>	0,076		<i>ID (m)</i>	0,102
<i>OD (m)</i>	0,089		<i>OD (m)</i>	0,114

Mechanical Design			
<i>A (m²)</i>	0,085	<i>A (m²)</i>	0,109
<i>IPS</i>	0,076	<i>IPS</i>	0,102
<i>Rdcal / Rdmin</i>	0,003	<i>Rdcal / Rdmin</i>	0,003
<i>ΔPcal / ΔPallow (psi)</i>	0,007	<i>ΔPcal / ΔPallow (psi)</i>	1,091

d. Cooler-02

Kode : CL-02

Fungsi : Menurunkan temperatur dari produk distilat MD-01 sebelum dialirkan kedalam T-02

Jenis : *Double Pipe*

Bahan Konstruksi : *Stainless Steel 304*

Harga : \$2,984.76

Operating Condition				
<i>Position</i>	<i>Inner</i>		<i>Annulus</i>	
<i>Fluid</i>	Air Pendingin		C ₄ H ₈ O, H ₂ O	
<i>Fluid type</i>	<i>Cold</i>		<i>Hot</i>	
	<i>In</i>	<i>Out</i>	<i>In</i>	<i>Out</i>
<i>Liquid flowrate (kg/jam)</i>	677,128	677,128	11.363,636	11.363,636
<i>Temperature (°C)</i>	25	40	69	30

Operating Condition				
Position	Inner		Annulus	
Pressure (atm)	1	1	1	1

Mechanical Design			
Inner		Annulus	
Length (m)	3,630	Length (m)	3,630
Hairpin	8,000	Hairpin	8,000
ID (m)	0,078	ID (m)	0,102
OD (m)	0,089	OD (m)	0,114
A (m²)	0,005	A (m²)	0,002
IPS	0,076	IPS	0,102
Rdcal / Rdmin	0,010	Rdcal / Rdmin	0,010
$\Delta P_{cal} / \Delta P_{allow}$ (psi)	0,0003	$\Delta P_{cal} / \Delta P_{allow}$ (psi)	2,487

e. Cooler-03

Kode : CL-03

Fungsi : Mendiginkan produk *bottom* E-01 sebelum dialirkan kedalam T-01

Jenis : *Double Pipe*

Bahan Konstruksi : *Stainless Steel 304*

Harga : \$3,527.44

Operating Condition				
Position	Inner		Annulus	
Fluid	Air Pendingin		C ₄ H ₁₀ O ₂ , H ₂ O	
Fluid type	Cold		Hot	
	In	Out	In	Out
Liquid flowrate (kg/jam)	182,149	182,149	948,378	948,378
Temperature (°C)	25	40	107	30
Pressure (atm)	1	1	1	1

Mechanical Design			
Inner		Annulus	
Length (m)	3,630	Length (m)	3,630
Hairpin	1,000	Hairpin	1,000
ID (m)	0,078	ID (m)	0,102
OD (m)	0,089	OD (m)	0,114
A (m²)	0,085	A (m²)	0,109
IPS	0,076	IPS	0,102
Rdcal / Rdmin	0,005	Rdcal / Rdmin	0,005
ΔPcal / ΔPallow (psi)	0,020	ΔPcal / ΔPallow (psi)	2,669

3.4 Neraca Massa

Neraca massa pendirian pabrik THF dari bahan baku 1,4-*butanediol* dengan kapasitas 90.000 ton/tahun meliputi:

1. Neraca massa reaktor
2. Neraca massa *centrifuge*
3. Neraca massa *rotary dryer*
4. Neraca massa menara distilasi
5. Neraca massa evaporator

Basis perhitungan neraca massa:

Kapasitas pabrik = 90.000 ton/tahun

Dalam 1 tahun = 330 hari (basis)

Perhitungan = 1 jam

$$= \frac{90000 \text{ ton}}{\text{tahun}} \times \frac{1000 \text{ kg}}{\text{ton}} \times \frac{1 \text{ tahun}}{330 \text{ hari}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}}$$

$$= 11.363,636 \text{ kg/jam}$$

a. Neraca Massa Reaktor

Komponen	Input (kg/jam)			Output (kg/jam)
	Arus 1	Arus 2	Arus 13	Arus 3
C ₄ H ₁₀ O ₂	15.143,439	0,000	0,000	938,893
C ₄ H ₈ O	0,000	0,000	0,000	11.363,636
H ₂ O	152,964	0,000	0,000	2.993,873
Al ₂ O ₅ Si	0,000	12,632	27,568	40,200
Subtotal	15.296,403	40,200		15.336,603
Total	15.336,603			15.336,603

b. Neraca Massa *Centrifuge* (CF-01)

Komponen	Input (kg/jam)		Ouput (kg/jam)	
	Arus 3	Arus 4	Arus 4	Arus 5
C ₄ H ₁₀ O ₂	938,893	938,893	938,893	0,000
C ₄ H ₈ O	11.363,636	11.363,636	11.363,636	0,000
H ₂ O	2.993,873	2.934,00	2.934,00	59,877
Al ₂ O ₅ Si	40,200	0,012	0,012	40,188
Subtotal	15336,603	15.236,537	15.236,537	100,065
Total	15336,603	15336,603	15336,603	15336,603

c. Neraca Massa *Rotary Dryer* (RD-01)

Komponen	Input (kg/jam)		Ouput (kg/jam)	
	Arus 5	Arus 6	Arus 7	Arus 8
C ₄ H ₁₀ O ₂	0,000	0,000	0,000	0,000
C ₄ H ₈ O	0,000	0,000	0,000	0,000
H ₂ O	59,877	0,000	0,599	0,000
Al ₂ O ₅ Si	40,188	0,000	39,384	0,804
Udara Panas	0,000	1.074,471	0,000	0,000
Uap Air	0,000	0,000	0,000	1.133,750
Subtotal	100,065	1.074,471	39,983	1.134,554
Total	1.174,537	1.174,537	1.174,537	1.174,537

d. Neraca massa Menara Distilasi (MD-01)

Komponen	Input (kg/jam)	Ouput (kg/jam)	
	Arus 4	Arus 9	Arus 10
C ₄ H ₁₀ O ₂	938,893	0,000	938,894
C ₄ H ₈ O	11.363,636	11.250,000	113,638
H ₂ O	2.933,996	113,636	2.820,369
Al ₂ O ₅ Si	0,012	0,000	0,000
Subtotal	15.236,537	11.363,636	3.872,901
Total	15.236,537	15.236,537	

e. Neraca Massa Evaporator (E-01)

Komponen	Input (kg/jam)	Ouput (kg/jam)	
	Arus 10	Arus 11	Arus 12
C ₄ H ₁₀ O ₂	938,894	0,000	938,894
C ₄ H ₈ O	113,638	113,638	0,000
H ₂ O	2.820,369	2.810.885	9,484
Al ₂ O ₅ Si	0,000	0,000	0,000
Subtotal	3.872,901	2924,523	948,378
Total	3.872,901	3.872,901	

f. Neraca Massa UPL Katalis

Komponen	Input (kg/jam)	Ouput (kg/jam)	
	Arus 7	Arus 13	Arus 14
C ₄ H ₁₀ O ₂	0,000	0,000	0,000
C ₄ H ₈ O	0,000	0,000	0,000

Komponen	Input (kg/jam)	Ouput (kg/jam)	
	Arus 7	Arus 13	Arus 14
H ₂ O	0,599	0,000	0,599
Al ₂ O ₅ Si	39,384	27,568	11,816
Subtotal	39,983	27,568	12,415
Total	39,983	39,983	

3.5 Neraca Panas

a. Neraca Panas *Heater 1* (HE-01)

ALIRAN MASUK		ALIRAN KELUAR	
Komponen	Energi (kJ/jam)	Komponen	Energi (kJ/jam)
C ₄ H ₁₀ O ₂	203.518,334	C ₄ H ₁₀ O ₂	5.420.456,298
H ₂ O	3.208,019	H ₂ O	80.468,840
Subtotal	206.726,354	Subtotal	5.500.925,139
<i>Q Steam</i>			
Komponen	Energi (kJ/jam)		
Q (<i>steam</i>)	5.294.198,785		
Subtotal	5.294.198,785		
Total	5.500.925,139	Total	5.500.925,139

b. Neraca Panas *Heater 2* (HE-02)

ALIRAN MASUK		ALIRAN KELUAR	
Komponen	Energi (kJ/jam)	Komponen	Energi (kJ/jam)
C ₄ H ₁₀ O ₂	12.618,137	C ₄ H ₁₀ O ₂	161.337,179

ALIRAN MASUK		ALIRAN KELUAR	
Komponen	Energi (kJ/jam)	Komponen	Energi (kJ/jam)
C ₄ H ₈ O	94.224,117	C ₄ H ₈ O	1.211.182,643
H ₂ O	61.532,865	H ₂ O	760.059,183
Al ₂ O ₅ Si	4.687,752	Al ₂ O ₅ Si	63.640,886
Subtotal	173.062,871	Subtotal	2.196.219,890
<i>Q steam</i>			
Q (steam)	2.023.157,020		
Subtotal	2.023.157,020		
Total	2.196.219,890	Total	2.196.219,890

c. Neraca Panas *Cooler 1 (CL-01)*

ALIRAN MASUK		ALIRAN KELUAR	
Komponen	Energi (kJ/jam)	Komponen	Energi (kJ/jam)
C ₄ H ₁₀ O ₂	112.022,764	C ₄ H ₁₀ O ₂	12.618,137
C ₄ H ₈ O	856.173,583	C ₄ H ₈ O	94.224,117
H ₂ O	524.989,444	H ₂ O	61.532,865
Al ₂ O ₅ Si	0,000	Al ₂ O ₅ Si	0,000
Subtotal	1.493.185,791	Subtotal	168.375,119
<i>Q air pendingin</i>			
Komponen	Energi (kJ/jam) Total		
Q (air pendingin)	-1.324.810,755		
Subtotal	-1.324.810,755		

ALIRAN MASUK		ALIRAN KELUAR	
Komponen	Energi (kJ/jam)	Komponen	Energi (kJ/jam)
Total	168.375,119	Total	168.375,119

d. Neraca Panas *Cooler 2 (CL-02)*

ALIRAN MASUK		ALIRAN KELUAR	
Komponen	Energi (kJ/jam)	Komponen	Energi (kJ/jam)
C ₄ H ₁₀ O ₂	0,000	C ₄ H ₁₀ O ₂	0,000
C ₄ H ₈ O	840.624,508	C ₄ H ₈ O	93.281,876
H ₂ O	20.896,682	H ₂ O	2.383,225
Subtotal	861.521,190	Subtotal	95.665,101
Q air pendingin			
Komponen	Energi (kJ/jam)		
Q (air pendingin)	-765.856,090		
Subtotal	-765.856,090		
Total	95.665,101	Total	95.665,101

e. Neraca Panas *Cooler 3 (CL-03)*

ALIRAN MASUK		ALIRAN KELUAR	
Komponen	Energi (kJ/jam)	Komponen	Energi kJ/jam)
C ₄ H ₁₀ O ₂	215.581,580	C ₄ H ₁₀ O ₂	12.618,153
C ₄ H ₈ O	0,000	C ₄ H ₈ O	0,000
H ₂ O	3.252,138	H ₂ O	198,897
Subtotal	218.833,718	Subtotal	12.817,050

ALIRAN MASUK		ALIRAN KELUAR	
Komponen	Energi (kJ/jam)	Komponen	Energi kJ/jam)
<i>Q air pendingin</i>			
Komponen	Energi (kJ/jam)		
Q (air pendingin)	-206.016,667		
Subtotal	-206.016,667		
Total	12.817,050	Total	12.817,050

f. Neraca Panas *Condenser 2 (CD-02)*

ALIRAN MASUK		ALIRAN KELUAR	
Komponen	Energi (kJ/jam)	Komponen	Energi (kJ/jam)
C ₄ H ₁₀ O ₂	0,000	C ₄ H ₁₀ O ₂	0,000
C ₄ H ₈ O	11.469,206	C ₄ H ₈ O	625,263
H ₂ O	433.816,475	H ₂ O	26.274,120
Al ₂ O ₅ Si	0,000	Al ₂ O ₅ Si	0,000
Subtotal	445.285,681	Subtotal	26.899,383
<i>Q air pendingin</i>			
Komponen	Energi (kJ/jam)		
Q (air pendingin)	- 418.386,298		
Subtotal	- 418.386,298		
Total	26.899,383	Total	26.899,383

g. Neraca Panas Reaktor

ALIRAN MASUK		ALIRAN KELUAR	
Komponen	Energi (kJ/jam)	Komponen	Energi (kJ/jam)
C ₄ H ₁₀ O ₂	1.355.114,075	C ₄ H ₁₀ O ₂	84.017,073
H ₂ O	20.117,210	C ₄ H ₈ O	642.130,188
		H ₂ O	393.742,083
		Al ₂ O ₅ Si	0,000
Subtotal	1.375.231,285	Subtotal	1.119.889,343
		<i>Q steam</i>	
Komponen	Energi (kJ/jam)	Komponen	Energi (kJ/jam)
Al ₂ O ₅ Si	0,000	Q (<i>steam</i>)	283.751
Subtotal	0,000	Subtotal	283.751
<i>Q reaksi</i>			
Komponen	Energi (kJ/jam)		
Q (reaksi)	28.409		
Subtotal	28.409		
Total	1.403.640,40	Total	1.403.640,40

h. Neraca Panas Rotary Dryer (RD-01)

ALIRAN MASUK		ALIRAN KELUAR	
Komponen	Energi (kJ/jam)	Komponen	Energi (kJ/jam)
H ₂ O	1.014,033	H ₂ O	11.530,253
Al ₂ O ₅ Si	0,248	Al ₂ O ₅ Si	0,248
Subtotal	1.014,281	Subtotal	11.530,501

ALIRAN MASUK		ALIRAN KELUAR	
Komponen	Energi (kJ/jam)	Komponen	Energi (kJ/jam)
<i>Q pemanas</i>			
Komponen	Energi (kJ/jam)	Komponen	Energi (kJ/jam)
Q (pemanas)	59.325,902	Qpemanas	30.602,899
Subtotal	59.325,902	Q loss	18.207,783
		Subtotal	48.809,682
Total	60.340,183	Total	60.340,183

i. Neraca Panas Menara Distilasi (MD-01)

ALIRAN MASUK		ALIRAN KELUAR	
<i>Q feed</i>		<i>Q Distilat</i>	
Komponen	Energi (kJ/jam)	Komponen	Energi (kJ/jam)
C ₄ H ₁₀ O ₂	161.337,179	C ₄ H ₁₀ O ₂	0,000
C ₄ H ₈ O	1.211.182,643	C ₄ H ₈ O	4.012.480,690
H ₂ O	760.059,183	H ₂ O	65.204,435
Al ₂ O ₅ Si	0,000	Al ₂ O ₅ Si	0,000
Subtotal	2.132.579,004	Subtotal	4.077.685,125
<i>Q reboiler</i>		<i>Q Bottom</i>	
Komponen	Energi (kJ/jam)	Komponen	Energi (kJ/jam)
Q (pemanas)	3.855.860,549	C ₄ H ₁₀ O ₂	1.082.731,059
Subtotal	3.855.860,549	C ₄ H ₈ O	81.725,201
		H ₂ O	4.849.017,885
		Al ₂ O ₅ Si	0,000

ALIRAN MASUK		ALIRAN KELUAR	
<i>Q feed</i>		<i>Q Distilat</i>	
		Subtotal	6.013.474,145
		<i>Q Condensor</i>	
		Komponen	Energi (kJ/jam)
		Q air pendingin	-4.102.719,716
		Subtotal	
Total	5.988.439,554	Total	5.988.439,554

j. Neraca Panas Evaporator (E-01)

ALIRAN MASUK		ALIRAN KELUAR	
Komponen	Energi (kJ/jam)	Komponen	Energi (kJ/jam)
C ₄ H ₁₀ O ₂	199.194,361	C ₄ H ₁₀ O ₂	215.581,580
C ₄ H ₈ O	14.998,088	Subtotal	215.581,580
H ₂ O	896.029,846		
Subtotal	1.110.222,296		
<i>Q steam</i>			
Komponen	Energi (kJ/jam)	Komponen	Energi (Kj/jam)
Q (steam)	85.511,404	C ₄ H ₈ O	16.255,504
Subtotal	85.511,404	C ₄ H ₈ O	963.896,616
		Subtotal	980.152,120
Total	1.195.733,700	Total	1.195.733,700

BAB IV

PERANCANGAN PABRIK

Perancangan pabrik merupakan syarat penting untuk memperkirakan biaya dan keperluan lainnya secara akurat sebelum mendirikan pabrik yang meliputi desain sarana perpipaan, fasilitas bangunan, jenis dan jumlah peralatan dan kelistrikan. Hal ini secara khusus akan memberikan informasi yang dapat diandalkan terhadap biaya bangunan dan tempat sehingga dapat diperoleh perhitungan biaya yang terperinci sebelum pendirian.

4.1 Penentuan Lokasi

Pemilihan dan penentuan letak suatu pabrik merupakan aspek yang sangat penting dalam perencanaan pabrik. Hal tersebut akan memengaruhi kemajuan serta kelangsungan suatu industri yang berkorelasi terhadap faktor produksi, distribusi dan besarnya keuntungan yang dihasilkan serta perluasan di masa yang akan datang. Perluasan suatu pabrik yang baik akan mempertimbangkan besarnya *production cost* dan *operating cost* yang minimum yang mana hal tersebut menjadi suatu pertimbangan terhadap ketersediaan ruang yang cukup. Dalam penentuan lokasi pabrik perlu mempertimbangkan biaya produksi serta distribusi dan juga sosiologi dari masyarakat yang hidup di sekitar kawasan pabrik. Beberapa aspek dalam penentuan lokasi pabrik dibagi menjadi dua, yaitu faktor primer dan sekunder.

4.1.1 Faktor Primer Penentuan Lokasi Pabrik

4.1.1.1 Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan THF yaitu 1,4-*butanediol* dimana bahan baku tersebut didapatkan melalui impor perusahaan BASF - Xinjiang (Markor Meiou Chemical Co.,Ltd. yang berlokasi di Kota Banyingolin Mongol Autonomous Prefecture, Korla, Provinsi Xinjiang, China dengan kapasitas produksinya mencapai 100.000 ton/tahun. Untuk pengiriman ke Indonesia dapat dilakukan jalur laut, maka dipilihlah lokasi pabrik THF di Kawasan Industri Gresik yang lokasinya dekat dengan Pelabuhan JIPE Manyar. Lokasi tersebut memiliki akses mudah terhadap bahan baku dalam transportasi dan pengiriman.

4.1.1.2 Sarana Utilitas yang Cukup dan Memadai

Dalam pendirian suatu pabrik, tenaga listrik, ketersediaan air, dan bahan bakar adalah faktor penunjang yang paling penting. Lokasi pabrik dekat dengan Sungai Mireng dan perairan laut utara, maka keperluan air (air proses, air pendingin/penghasil *steam*, perumahan dan lain-lain) dapat diperoleh dengan mudah. Akan tetapi, sumber perairan yang dipilih yaitu perairan pada Sungai Mireng. Sungai sering dijadikan alternatif yang lebih dipilih daripada air laut untuk berbagai proses karena beberapa alasan yang mendasar. Pertama-tama, sungai lebih mudah diakses dan lebih terjangkau secara fisik daripada laut. Karena terletak di daratan, sungai memungkinkan akses yang lebih mudah untuk memanfaatkan airnya dalam berbagai keperluan, seperti irigasi pertanian dan pembangkit listrik tenaga air. Meskipun kualitas air sungai dapat bervariasi, air sungai cenderung

memiliki kadar garam dan mineral yang lebih rendah dibandingkan dengan air laut. Biaya pengolahan air sungai juga cenderung lebih rendah dibandingkan dengan air laut, karena air sungai memerlukan sedikit pengolahan tambahan. Selain itu, sungai memiliki potensi pencemaran yang lebih rendah daripada laut, karena umumnya berada di wilayah yang lebih terbatas dan lebih mudah dipantau dan dikelola. Ketersediaan jumlah tenaga listrik pabrik ini didapatkan dari PLN, listrik dari generator bersifat cadangan apabila *supply* listrik dari PLN terdapat kendala. Kebutuhan bahan bakar berupa solar untuk kebutuhan generator listrik dan bahan bakar boiler didapatkan dari Pertamina sebagai pemasok bahan bakar terbesar yang ada di Indonesia.

4.1.1.3 Penyediaan Sumber Daya Manusia (Tenaga Kerja)

Sumber daya manusia atau tenaga kerja adalah salah satu faktor kunci dalam pendirian pabrik dan operasionalnya. Tenaga kerja sangat dibutuhkan untuk pembangunan suatu pabrik, tenaga kerja bisa didapatkan dari daerah Gresik maupun dari luar daerah Gresik. Tenaga kerja yang berada pada Kawasan Industri Gresik lebih mudah untuk didapatkan, baik tenaga berpendidikan tinggi, menengah maupun tenaga terampil yang siap pakai. Hal tersebut dikarenakan daerah ini sudah banyak berdiri sarana-sarana pendidikan dengan kualitas yang dapat diandalkan. Untuk penghasilan atau upah minimum regional (UMR) di daerah kabupaten Gresik berkisar Rp 4.522.030 (BPS Kabupaten Probolinggo, 2023).

4.1.1.4 Transportasi dan Distribusi yang Lancar

Hal yang perlu diperhatikan adalah akses transportasi ke lokasi pabrik. Karena tergantung pada transportasi melalui laut, lokasi pabrik harus berdekatan dengan Pelabuhan JIPE Manyar. Hal ini penting untuk mendukung proses pengiriman bahan baku. Kawasan industri Gresik memiliki letak yang strategis dengan memiliki akses jalan yang memadai, baik melalui darat maupun laut. Dengan demikian, distribusi barang ke pasar domestik maupun internasional akan menjadi lebih efisien, tanpa memerlukan biaya yang tinggi.

4.1.1.5 Pemasaran yang Cukup Potensial

Hasil produksi THF akan dipasarkan kepada beberapa pabrik disekitar, misalnya pabrik pembuat cat dan tinta di daerah Kawasan Industri Gresik seperti, PT. Nipsea Paint and Chemical, PT. Colorpak Indonesia dll. Daya serap pasar dan prospek pemasaran masa yang akan mendatang, produk THF mempunyai prospek yang sangat bagus karena produk ini dapat digunakan sebagai pelarut beberapa senyawa dan juga sangat berguna untuk beberapa pengolahan polimer serta didukung dengan pemasaran yang mudah dijangkau karena tersedianya sarana transportasi yang memadai. Produk ini juga akan dipasarkan melalui situs web perusahaan serta dijual di *marketplace* internasional seperti Alibaba.

4.1.1.6 Keadaan Iklim yang Stabil

Secara umum, suhu di kawasan industri Gresik tetap berada dalam kisaran suhu tropis sepanjang tahun, berkisar antara 25-30°C. Perbedaan suhu antara musim kemarau dan musim hujan tidak terlalu ekstrem. Meskipun terdapat perbedaan

antara musim hujan dan musim kemarau, curah hujan cenderung stabil dalam arti tidak terjadi fluktuasi ekstrim dari tahun ke tahun. Curah hujan terutama tinggi selama musim hujan, sementara musim kemarau cenderung lebih kering. Kelembaban udara relatif tinggi sepanjang tahun di daerah ini. Meskipun bisa berfluktuasi sedikit antara musim hujan dan kemarau, kelembaban tinggi tetap menjadi ciri khas iklim tropis di wilayah ini. Kondisi cuaca laut relatif stabil, walaupun wilayah pesisir memiliki potensi pengaruh dari suhu dan kondisi laut. Namun, umumnya tidak ada fluktuasi drastis yang memengaruhi kondisi iklim di darat.

4.1.1.7 Peraturan dan Perundang-undangan

Peraturan-peraturan mengenai daerah industri ditulis dalam undang-undang Republik Indonesia No 3 tahun 2014 tentang perindustrian.

4.1.2 Faktor Sekunder Penentuan Lokasi Pabrik

4.1.2.1 Perluasan Area Unit

Ekspansi pabrik dimungkinkan karena tanah sekitar memang dikhususkan untuk daerah pembangunan industri.

4.1.2.2 Biaya Perizinan Tanah

Segi keamanan kerja terpenuhi, tanah yang tersedia untuk lokasi pabrik masih cukup luas dan dalam harga yang terjangkau, pengoperasian, pengontrolan, pengangkutan, pemindahan maupun perbaikan semua peralatan proses dapat

dilakukan dengan mudah dan aman, pemanfaatan area tanah seefisien mungkin dan transportasi yang baik dan efisien.

4.1.2.3 Faktor Lingkungan

Sikap masyarakat diperkirakan akan mendukung pendirian pabrik THF karena akan menjamin tersedianya lapangan kerja bagi mereka. Selain itu pendirian pabrik ini diperkirakan tidak akan mengganggu keselamatan dan keamanan masyarakat di sekitarnya. Dalam pembangunan pabrik perlu memperhatikan kebudayaan di sekitar lokasi pabrik, sehingga diperlukan pemahaman agar bisa saling menghormati adat istiadat dan agar terciptanya kerukunan di sekitar kawasan pabrik. Fasilitas perumahan, sekolah poliklinik, dan tempat ibadah Dalam pembangunan pabrik perlu untuk memperhatikan fasilitas tempat tinggal atau mess, sekolah, poliklinik, perusahaan, serta tempat ibadah. Sehingga semua fasilitas harus dibangun agar terciptanya kenyamanan pada pekerja pabrik.

4.1.2.4 Pembuangan Limbah

Dalam mendirikan suatu pabrik perlu memperhatikan aspek pembuangan limbah pabrik yang berupa gas, cair, maupun padat dengan menataati dan mengikuti aturan dari pemerintah.

4.1.3 Karakterisasi Lokasi

Kontur tanah, daya dukung terhadap lokasi pondasi pembangunan pabrik bisa ditinjau dari kondisi kontur tanah pada daerah Kawasan Industri Gresik terdapat dua macam, yaitu kontur tanah curam dan kontur tanah landai. Sehingga dalam

pembangunan pabrik di Kawasan Gresik bisa dibangun di atas kontur tanah yang landai. Kondisi jalan di daerah Kawasan Industri Gresik cukup bagus dan bisa digunakan untuk transportasi angkutan pengolahan pabrik. Ketersediaan dan fasilitas tanah untuk perluasan atau unit baru ketersediaan tanah di daerah Kawasan Industri Gresik dari data *Google Earth* bahwa tersedia semua fasilitas yang dibutuhkan untuk pembangunan pabrik serta tanah juga yang luas. Berdasarkan faktor-faktor diatas, dapat dipilih lokasi Pabrik THF dengan bahan baku 1,4-*butanediol* di Kawasan Industri Gresik yang lokasinya dekat dengan Pelabuhan JIPE Manyar Gresik. Berikut ini perencanaan lokasi Pabrik THF.



Gambar 4. 1 Lokasi Pendirian Pabrik

4.2 Tata Letak Pabrik (*Plant Layout*)

Tata letak pabrik adalah suatu perencanaan dan perintegrasian aliran dari komponen-komponen produksi suatu pabrik, sehingga diperoleh suatu hubungan yang efisien dan efektif antara operator, peralatan dan gerakan material dari bahan baku menjadi produk. Desain yang rasional harus memasukkan unsur lahan proses, *storage* (persediaan) dan lahan alternatif (*are handling*) dalam posisi yang efisien

dan dengan mempertimbangkan faktor faktor sebagai berikut (Peters & Timmerhaus, 2004):

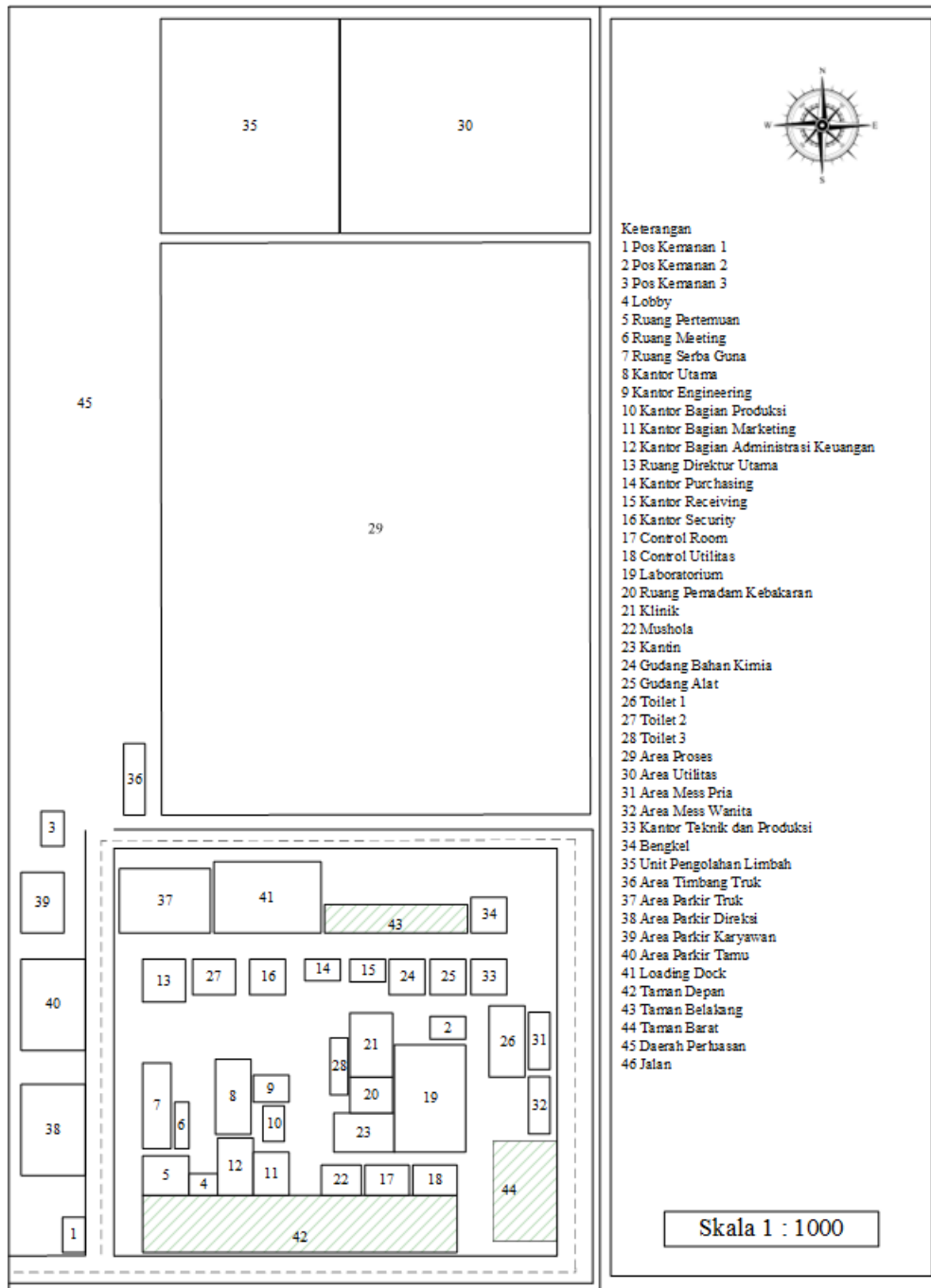
- a. Urutan proses produksi,
- b. Pengembangan lokasi baru atau penambahan/pelebaran lokasi yang belum dikembangkan pada masa yang akan datang,
- c. Distribusi ekonomis pada pengadaan air, steam proses, tenaga listrik dan bahan baku,
- d. Pemeliharaan dan perbaikan,
- e. Keamanan (*safety*) terutama dari kemungkinan kebakaran dan keselamatan kerja,
- f. Bangunan yang meliputi luas bangunan, kondisi bangunan dan konstruksinya memenuhi syarat,
- g. Fleksibilitas dalam perencanaan tata letak pabrik dengan mempertimbangkan kemungkinan perubahan dari proses/mesin, sehingga perubahan-perubahan yang dilakukan tidak memerlukan biaya yang tinggi,
- h. Masalah pembuangan limbah cair,
- i. *Service area* seperti kantin, tempat parkir, ruang ibadah dan sebagainya diatur sedemikian rupa sehingga tidak terlalu jauh dari tempat kerja.
- j. Adapun perincian luas tanah sebagai bangunan pabrik dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 4. 1 Perincian Luas Tanah dan Bangunan Pabrik

No	Lokasi	Panjang (m)	Lebar (m)	Luas (m²)
1	Pos Kemanan 1	4,97	3,2	15,904
2	Pos Kemanan 2	4,97	3,2	15,904
3	Pos Kemanan 3	4,97	3,2	15,904
4	<i>Lobby</i>	4	3	12
5	Ruang Pertemuan	6,5	5,5	35,75
6	Ruang <i>Meeting</i>	6,5	2	13
7	Ruang Serba Guna	12	4	48
8	Kantor Utama	10,5	5	52,5
9	Kantor <i>Engineering</i>	5	3,8	19
10	Kantor Bagian Produksi	5	3	15
11	Kantor Bagian <i>Marketing</i>	6	5	30
12	Kantor Bagian Administrasi Keuangan	8	5	40
13	Ruang Direktur Utama	6	6	36
14	Kantor <i>Purchasing</i>	5	3	15
15	Kantor <i>Receiving</i>	5	3,2	16
16	Kantor <i>Security</i>	5	5	25
17	<i>Control Room</i>	6,2	4,2	26,04
18	<i>Control Utilitas</i>	6,2	4,2	26,04
19	Laboratorium	15	10	150

No	Lokasi	Panjang (m)	Lebar (m)	Luas (m ²)
20	Ruang Pemadam Kebakaran	6	5	30
21	Klinik	9	6	54
22	Mushola	5,6	4,2	23,52
23	Kantin	8,5	5,6	47,6
24	Gudang Bahan Kimia	5	5	25
25	Gudang Alat	5	5	25
26	Toilet 1	10	5	50
27	Toilet 2	6	5	30
28	Toilet 3	8	2,5	20
29	Area Proses	60	80	4.800
30	Area Utilitas	35	30	1.050
31	Area Mess Pria	8	3	24
32	Area Mess Wanita	8	3	24
33	Kantor Teknik dan Produksi	5	5	25
34	Bengkel	5	5	25
35	Unit Pengolahan Limbah	30	25	750
36	Area Timbang Truk	10	3	30
37	Area Parkir Truk	12,75	9	114,75
38	Area Parkir Direksi	12,75	9	114,75

No	Lokasi	Panjang (m)	Lebar (m)	Luas (m ²)
39	Area Parkir Karyawan	8,5	6	51
40	Area Parkir Tamu	12,75	9	114,75
41	Loading Dock	15	10	150
42	Taman Depan	44	8	352
43	Taman Belakang	20	4	80
44	Taman Barat	14	9	126
45	Daerah Perluasan	25	25	625
46	Jalan	125	6	750
47	Luas Tanah	10.118,412		
48	Luas Bangunan	8.743,412		
Total (m²)		10.118,412		



Gambar 4. 2 *Layout* Tata Letak Pabrik

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

Pemasangan alat-alat proses produksi harus diperhatikan terutama pada aliran bahan baku dan produk, lalu lintas alat berat dan jarak antar alat proses. Tujuannya agar kelancaran produksi, keamanan, dan keselamatan terjaga sehingga dapat menekan biaya produksi dan meningkatkan keuntungan. Dalam perencanaan tata letak peralatan proses ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, yaitu:

4.3.1 Aliran Bahan Baku dan Produk

Pengaliran bahan baku dan produk yang tepat akan memberikan keuntungan ekonomis yang besar, serta menunjang kelancaran dan keamanan produksi. Penempatan pipa juga perlu diperhatikan, dimana untuk pipa diatas tanah perlu dipasang pada ketinggian tiga meter atau lebih, sedangkan untuk pemipaan pada permukaan tanah diatur sedemikian rupa sehingga tidak mengganggu lalu lintas bekerja.

4.3.2 Aliran Udara

Aliran udara di dalam dan di sekitar area proses diperhatikan supaya lancar. Hal ini bertujuan untuk menghindari stagnasi udara pada suatu tempat yang dapat mengakibatkan akumulasi bahan kimia yang berbahaya. Sehingga dapat membahayakan keselamatan pekerja, sehingga perlu juga diperhatikan hembusan angin

4.3.3 Pencahayaan

Penerangan seluruh pabrik harus memadai. Pada tempat-tempat proses yang berbahaya atau beresiko tinggi harus diberi penerangan tambahan.

4.3.4 Lalu Lintas Manusia

Dalam hal perancangan tata letak peralatan perlu diperhatikan agar pekerja dapat mencapai seluruh alat proses dengan cepat dan mudah. Jika terjadi gangguan alat proses maka harus cepat diperbaiki, selain itu keamanan pekerja selama menjalankan tugasnya perlu diprioritaskan.

4.3.5 Pertimbangan Ekonomi

Penempatan alat-alat proses diusahakan dapat menekan biaya operasi serta menjamin kelancaran dan keamanan produksi pabrik, dari segi ekonomi, hal tersebut dapat menguntungkan.

4.3.6 Jarak Antara Alat Proses

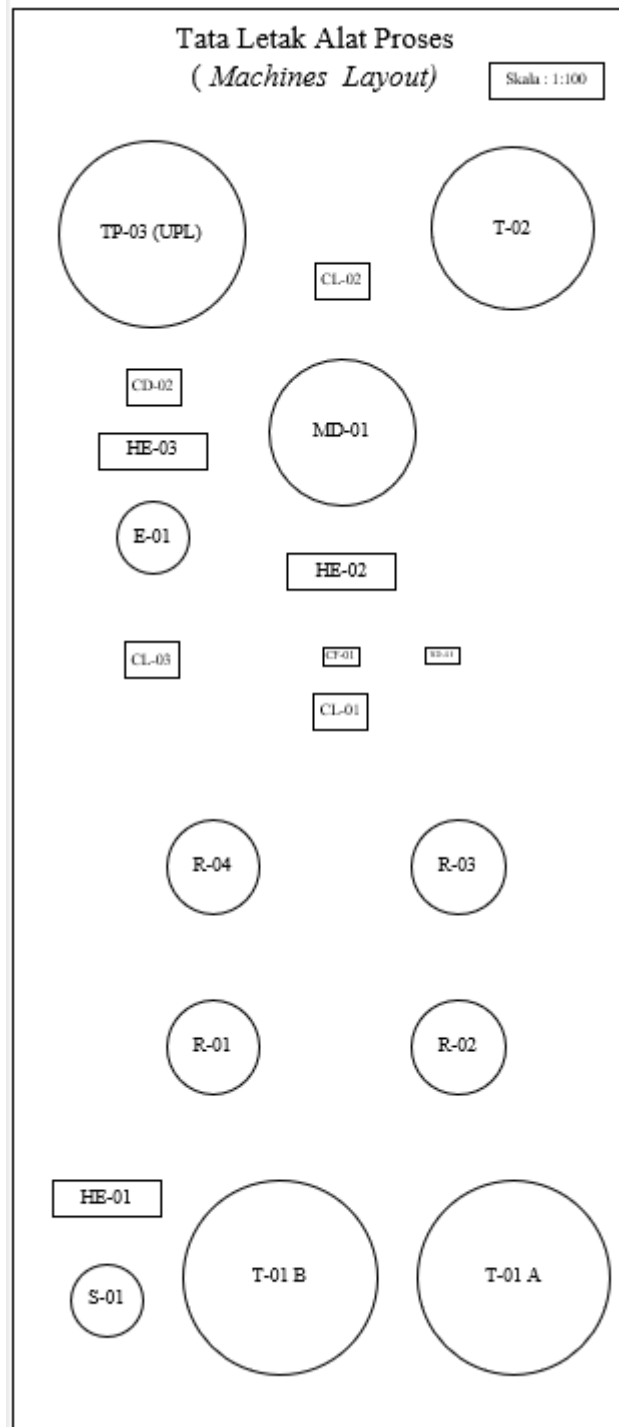
Untuk alat proses yang mempunyai suhu dan tekanan tinggi sebaiknya dipisahkan dari alat proses lain. Sehingga apabila terjadi ledakan atau kebakaran pada alat tersebut tidak membahayakan alat proses lainnya. Tata letak alat proses harus dirancang sedemikian rupa sehingga:

- a. Kelancaran proses produksi dapat terjamin.
- b. Dapat mengefektifkan penggunaan luas tanah.
- c. Biaya *material handling* menjadi rendah, sehingga menyebabkan menurunnya pengeluaran untuk capital yang tidak penting.
- d. Jika tata letak peralatan proses sedemikian rupa sehingga urutan proses produksi lancar, maka perusahaan tidak perlu untuk memakai alat angkut dengan biaya mahal.
- e. Karyawan mendapat kepuasan kerja

4.3.7 Maintenance

Maintenance berguna untuk menjaga sarana dan fasilitas peralatan pabrik dengan cara pemeliharaan dan perbaikan alat agar produksi dapat berjalan dengan lancar dan produktivitas menjadi tinggi sehingga akan tercapai target produksi dan spesifikasi bahan baku yang diharapkan.

Berikut ini perincian mengenai tata letak alat proses:



Tabel 4. 3 Tata Letak Alat Proses

4.4 Organisasi Perusahaan

4.4.1 Bentuk Perusahaan

Untuk menjalankan segala aktivitas di dalam perusahaan secara efisien dan efektif, diperlukan adanya struktur organisasi. Struktur organisasi merupakan salah satu unsur yang sangat diperlukan dalam suatu perusahaan. Dengan adanya struktur yang baik maka para atasan dan para karyawan dapat memahami posisi masing-masing. Dengan demikian struktur organisasi suatu perusahaan dapat menggambarkan bagian, posisi, tugas, kedudukan, wewenang dan tanggung jawab dari masing-masing personil dalam perusahaan tersebut.

Untuk mendapatkan suatu sistem organisasi yang terbaik maka perlu diperhatikan beberapa asas yang dapat dijadikan pedoman antara lain:

- a. Perumusan tujuan perusahaan dengan jelas
- b. Pendelegasian wewenang
- c. Pembagian tugas kerja yang jelas
- d. Kesatuan perintah dan tanggung jawab
- e. Sistem pengontrol atas pekerjaan yang telah dilaksanakan
- f. Organisasi perusahaan yang fleksibel.

Dengan berpedoman terhadap azas-azas tersebut, maka diperoleh bentuk struktur organisasi yang baik, yaitu: sistem *line* dan *staff*. Pada sistem ini, garis kekuasaan sederhana dan praktis. Demikian pula kebaikan dalam pembagian tugas kerja seperti yang terdapat dalam sistem organisasi fungsional, sehingga seorang karyawan hanya bertanggung jawab pada seorang atasan saja. Sedangkan untuk mencapai kelancaran produksi maka perlu dibentuk staf ahli yang terdiri atas orang-

orang yang ahli dalam bidangnya. Staf ahli akan memberi bantuan pemikiran dan nasihat pada tingkat pengawas demi tercapainya tujuan perusahaan.

Ada dua kelompok orang-orang yang berpengaruh dalam menjalankan organisasi garis dan staf ini, yaitu:

- a. Sebagai garis atau *line* yaitu orang-orang yang menjalankan tugas pokok organisasi dalam rangka mencapai tujuan.
- b. Sebagai staf yaitu orang-orang yang melakukan tugasnya dengan keahlian yang dimilikinya, dalam hal ini berfungsi untuk memberikan saran-saran kepada unit operasional.

Pemegang saham sebagai pemilik perusahaan, dalam pelaksanaan tugas sehari-harinya diwakili oleh seorang Dewan Komisaris, sedangkan tugas menjalankan perusahaan dilaksanakan oleh seorang Direktur Utama yang dibantu oleh Manajer Produksi serta Manajer Keuangan dan Umum. Dimana Manajer Produksi membawahi bidang produksi, utilitas dan pemeliharaan. Sedangkan Manajer Keuangan dan Umum membidangi yang lainnya. *Manager* membawahi beberapa Kepala Bagian yang akan bertanggung jawab membawahi atas bagian dalam perusahaan, sebagai bagian daripada pendelegasian wewenang dan tanggung jawab. Masing-masing Kepala Bagian akan membawahi beberapa seksi dan masing-masing akan membawahi dan mengawasi beberapa karyawan perusahaan pada masing-masing bidangnya. Karyawan perusahaan akan dibagi dalam beberapa kelompok regu yang dipimpin oleh masing-masing kepala regu, dimana kepala regu akan bertanggung jawab kepada pengawas pada masing-masing seksi.

Sedangkan untuk mencapai kelancaran produksi maka perlu dibentuk staf ahli yang terdiri dari orang-orang yang ahli dibidangnya. Staf ahli akan memberikan bantuan pemikiran dan nasehat kepada tingkat pengawas, demi tercapainya tujuan perusahaan.

Manfaat adanya struktur organisasi tersebut adalah sebagai berikut:

- a. Menjelaskan mengenai pembatasan tugas, tanggung jawab dan wewenang.
- b. Sebagai bahan orientasi untuk pejabat.
- c. Penempatan pegawai yang lebih tepat.
- d. Penyusunan program pengembangan manajemen.
- e. Mengatur kembali langkah kerja dan prosedur kerja yang berlaku bila terbukti kurang lancar

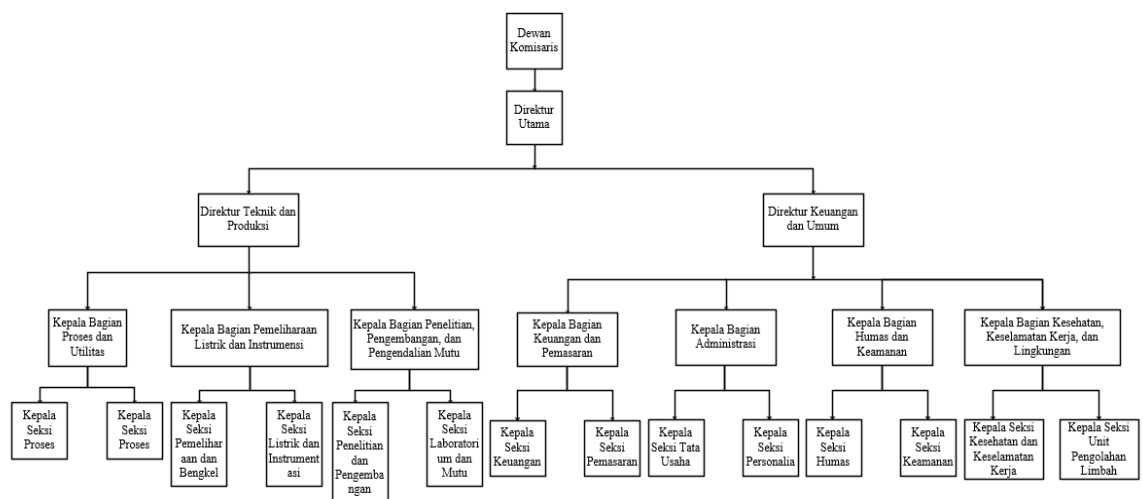
4.4.2 Struktur Organisasi

Struktur organisasi yang jelas dan sistematis di dalam suatu perusahaan merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap kelangsungan dan kemajuan perusahaan karena berhubungan langsung dengan komunikasi dan kerjasama yang baik antar karyawan sehingga operasional perusahaan dapat berjalan dengan baik. Setiap perusahaan bisa saja memiliki struktur organisasi yang berbeda beda tergantung pada kebutuhannya masing-masing. Struktur organisasi berhubungan erat dengan jalannya aliran komunikasi dan tanggung jawab serta akan memberikan mandat sebagai berikut:

- a. Menjelaskan dan menjernihkan persoalan mengenai pembatasan tugas, tanggung jawab, hak, wewenang dan lain-lain.

- b. Sebagai bahan orientasi untuk pejabat dan para calon penanam modal.
- c. Penempatan pegawai yang tepat sesuai dengan kebutuhan.
- d. Memindahkan penyusunan program dan pengembangan manajemen.
- e. Memudahkan pengaturan kembali langkah kerja dan prosedur kerja yang terbukti kurang lancar.

Dalam menjalankan tugas dan wewenangnya, para pemegang saham yang merupakan pemilik perusahaan diwakili oleh Dewan Komisaris, sementara dalam hal tugas menjalankan perusahaan dilaksanakan oleh Direktur Utama yang dibantu oleh beberapa Direktur di bawahnya. Baik Dewan Komisaris maupun Direktur Utama dipilih oleh para pemegang saham dalam Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS) yang merupakan kekuasaan tertinggi dalam perusahaan.



Gambar 4. 3 Struktur Organisasi Pabrik THF

4.4.3 Tugas dan Wewenang

4.4.1 Pemegang Saham

Pemegang saham (pemilik perusahaan) merupakan kumpulan individu yang mengumpulkan dana untuk membangun dan menjalankan operasi perusahaan. Badan tertinggi perseroan terbatas adalah rapat umum pemegang saham. Pada rapat tersebut, para pemegang saham menyatakan:

- a. Pengangkatan dan Pemberhentian Komite
- b. Pemilihan dan Pemberhentian Direksi
- c. Hitung laba rugi tahunan perusahaan dengan meninjau hasil operasi dan neracanya.

4.4.2 Dewan Komisaris

Dewan komisaris merupakan pelaksana pemegang saham, hal ini untuk membuat dewan bertanggung jawab kepada pemegang saham. Tanggung jawab Dewan Komisaris meliputi:

- a. Mengevaluasi dan menyetujui rencana dewan untuk kebijakan dan tujuan umum Keuntungan perusahaan, alokasi sumber pendanaan, arah pemasaran.
- b. Mengawasi tugas-tugas direktur utama.
- c. Membantu direktur utama dalam hal-hal penting

4.4.3 Direktur Utama

Direktur utama merupakan pimpinan tertinggi dalam perusahaan dan bertanggung jawab sepenuhnya dalam hal maju mundurnya perusahaan. Direktur utama bertanggung jawab pada dewan komisaris atas segala tindakan dan kebijakan

yang telah diambil sebagai pimpinan perusahaan. Direktur Utama direktur produksi dan teknik, serta direktur administrasi, keuangan dan umum. Tugas Direktur Utama antara lain:

Tugas kebijakan perusahaan dan mempertanggungjawabkan pekerjaannya pada pemegang saham di akhir masa jabatannya.

- a. Menjaga stabilitas organisasi perusahaan dan membuat kontinuitas hubungan yang baik antara pemilik saham, pimpinan, karyawan, dan konsumen.
- b. Mengangkat dan memberhentikan kepala bagian dengan persetujuan rapat pemegang saham
- c. Mengkoordinir kerjasama dengan direktur Teknik dan Produksi serta Direktur Administrasi, Keuangan dan Umum.

4.4.4 Kepala Bagian

Secara umum tugas Kepala Bagian adalah mengkoordinir, mengatur dan mengawasi pelaksanaan pekerjaan dalam lingkungan bagiannya sesuai dengan garis-garis yang diberikan oleh pimpinan perusahaan. Kepala bagian dapat juga bertindak sebagai staf direktur. Kepala bagian ini bertanggung jawab kepada direktur masing-masing. Kepala bagian terdiri dari:

- a. Kepala Bagian Proses dan Utilitas mengkoordinasikan kegiatan pabrik dalam bidang proses serta penyediaan bahan baku dan utilitas.

- b. Kepala Bagian Pemeliharaan, Listrik, dan Instrumentasi Bertanggung jawab terhadap kegiatan pemeliharaan dan fasilitas penunjang kegiatan produksi.
- c. Kepala Bagian Penelitian Pengembangan dan Pengendalian Mutu mengkoordinasikan kegiatan yang berhubungan dengan penelitian, pengembangan perusahaan, dan pengawasan mutu.
- d. Kepala Bagian Keuangan dan Pemasaran mengkoordinasikan kegiatan pemasaran, pengadaan barang, serta pembukuan keuangan.
- e. Kepala Bagian Administrasi bertanggung jawab terhadap kegiatan yang berhubungan dengan tata usaha dan personalia.
- f. Kepala Bagian Humas dan Keamanan bertanggung jawab terhadap kegiatan yang berhubungan antara perusahaan dan masyarakat serta menjaga keamanan perusahaan.
- g. Kepala Bagian Kesehatan Keselamatan Kerja dan Lingkungan Bertanggung jawab terhadap keamanan pabrik dan kesehatan dan keselamatan kerja karyawan.

4.4.5 Kepala Seksi

Kepala seksi adalah pelaksanaan pekerjaan dalam lingkungan bagiannya sesuai dengan rencana yang telah diatur oleh para Kepala Bagian masing- masing. Setiap

kepala seksi bertanggung jawab terhadap kepala bagian masing- masing sesuai dengan seksinya.

a. Kepala Seksi Proses

Memimpin langsung serta memantau kelancaran proses produksi. Bertanggung jawab terhadap penyediaan bahan baku dan menjaga kemurnian bahan baku, serta mengontrol produk yang dihasilkan.

b. Kepala Seksi Utilitas

Bertanggung jawab terhadap penyediaan air, steam, bahan bakar, dan udara tekan baik untuk proses maupun instrumentasi.

c. Kepala Seksi Pemeliharaan dan Bengkel

Bertanggung jawab atas kegiatan perawatan dan penggantian alat-alat serta fasilitas pendukungnya.

d. Kepala Seksi Listrik dan Instrumentasi

Bertanggung jawab terhadap penyediaan listrik serta kelancaran alat-alat instrumentasi.

e. Kepala Seksi Bagian Penelitian dan Pengembangan

Mengkoordinasi kegiatan-kegiatan yang berhubungan dengan peningkatan produksi dan efisiensi proses secara keseluruhan.

f. Kepala Seksi Laboratorium dan Pengendalian Mutu

Menyelenggarakan pengendalian mutu untuk bahan baku, bahan pembantu, produk dan limbah.

g. Kepala Seksi Keuangan

Bertanggung jawab terhadap pembukuan serta hal-hal yang berkaitan dengan keuangan perusahaan.

h. Kepala Seksi Pemasaran

Mengkoordinasikan kegiatan pemasaran produk dan pengadaan bahan baku pabrik.

i. Kepala Seksi Tata Usaha

Bertanggung jawab terhadap kegiatan yang berhubungan dengan rumah tangga perusahaan serta tata usaha kantor.

j. Kepala Seksi Personalia

Mengkoordinasikan kegiatan yang berhubungan dengan kepegawaian.

k. Kepala Seksi Humas

Menyelenggarakan kegiatan yang berkaitan dengan relasi perusahaan, pemerintah, dan masyarakat.

l. Kepala Seksi Keamanan

Menyelenggarakan kegiatan yang berkaitan dengan mengawasi langsung masalah keamanan perusahaan.

m. Kepala Seksi Kesehatan dan Keselamatan Kerja

Mengurus masalah kesehatan karyawan dan keluarga, serta menangani masalah keselamatan kerja di perusahaan.

n. Kepala Seksi Unit Pengolahan Limbah

Bertanggung jawab terhadap limbah pabrik agar sesuai dengan baku mutu limbah.

4.4.5.1 Pembagian Jam Kerja Karyawan

Pabrik ini dijadwalkan beroperasi 330 hari dalam setahun dan 24 jam setiap hari. Hari yang tidak merupakan hari libur akan digunakan untuk perbaikan atau pemeliharaan dan penutupan (*maintenance* atau *shutdown*). Sementara itu, jam kerja karyawan di pabrik ini terbagi menjadi dua kategori, yaitu karyawan *shift* dan karyawan *non shift*.

a. Karyawan *non-shift*

Karyawan *non-shift* adalah para karyawan yang tidak menangani proses produksi secara langsung. Yang termasuk para karyawan *non-shift* adalah direktur, staf ahli, kepala bagian, kepala seksi serta seluruh yang tugasnya berada di kantor. Karyawan *non-shift* dalam satu minggu bekerja selama 5 hari dengan jam kerja sebagai berikut:

Senin-Kamis :

Jam Kerja : 07.00-12.00 WIB (istirahat 13.00-16.00)

Istirahat : 12.00-13.00 WIB

Jumat :

Jam Kerja : 07.00-11.30 WIB (istirahat 13.30-17.00)

Istirahat : 11.30-13.30 WIB

Sabtu-Minggu : Hari libur, termasuk hari libur nasional

b. Karyawan *shift*

Karyawan *shift* adalah karyawan yang langsung menangani proses produksi atau mengatur bagian-bagian tertentu dari pabrik yang mempunyai hubungan dengan masalah keamanan dan kelancaran produksi sehingga tidak dapat

ditinggalkan. Yang termasuk karyawan *shift* ini adalah operator produksi, sebagian dari bagian teknik, bagian gudang dan bagian utilitas, pengendalian, laboratorium, termasuk petugas keamanan yang menjaga keamanan selama proses produksi berlangsung. Para karyawan akan bekerja secara bergantian sehari semalam. Karyawan shift dibagi dalam 3 *shift* dengan pengaturan sebagai berikut:

Shift Pagi : 07.00-15.00 WIB

Shift Sore : 15.00-23.00 WIB

Shift Malam : 23.00-07.00 WIB

Karyawan shift ini dibagi menjadi 4 regu, yaitu 3 regu bekerja dan satu regu istirahat yang dilakukan secara bergantian. Setiap regu mendapatkan giliran 3 hari kerja dan satu hari libur untuk setiap *shift* dan masuk lagi untuk shift berikutnya. Untuk hari libur atau hari besar yang ditetapkan oleh pemerintah, regu yang bertugas tetap masuk. Jadwal kerja masing-masing regu disajikan dalam Tabel 4.2 sebagai berikut:

Tabel 4. 2 Jadwal Kerja

Hari/Regu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	P	P	P	L	M	M	M	L	S	S	S	L	P	P	P
2	S	S	L	P	P	P	L	M	M	M	L	S	S	S	L
3	M	L	S	S	S	L	P	P	P	L	M	M	M	L	S
4	L	M	M	M	L	S	S	S	L	P	P	P	L	M	M

Hari/Regu	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	L	M	M	M	L	S	S	S	L	P	P	P	L	M	M
2	P	P	P	L	M	M	M	L	S	S	S	L	P	P	P
3	S	S	L	P	P	P	L	M	M	M	L	S	S	S	L
4	M	L	S	S	S	L	P	P	P	L	M	M	M	L	S

Keterangan:

P = *Shift* Pagi

S = *Shift* Siang

M = *Shift* Malam

L = Libur

4.4.6 Jumlah Penggolong Pekerja dan Sistem Penggajian

4.4.6.1 Jumlah Pekerja dan Sistem Gaji

a. Gaji harian

Gaji harian adalah gaji yang diberikan kepada karyawan tidak tetap.

b. Gaji bulanan

Gaji bulanan adalah gaji yang diberikan kepada pegawai tetap dengan jumlah sesuai peraturan perusahaan.

c. Gaji lembur

Gaji lembur adalah gaji yang diberikan kepada karyawan yang bekerja melebihi jam kerja pokok yang sudah ditentukan.

Perincian gaji sesuai dengan jabatan adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 3 Jumlah Tenaga Kerja dan Sistem Penggajian

No	Jabatan	Jumlah	Gaji	Gaji
			(/orang/bulan)	(/tahun)
1	Dewan Komisaris	1	Rp40.000.000	Rp480.000.000
2	Direktur Utama	1	Rp25.000.000	Rp300.000.000
3	Direktur Teknik dan Produksi	1	Rp25.000.000	Rp300.000.000
4	Direktur Keuangan dan Umum	1	Rp25.000.000	Rp300.000.000
5	Ka. Bag. Proses dan Utilitas	1	Rp13.000.000	Rp156.000.000
6	Ka. Bag. Pemeliharaan, Listrik dan Instrumentasi	1	Rp13.000.000	Rp156.000.000
7	Ka. Bag. Penelitian, Pengembangan dan Pengendalian Mutu	1	Rp13.000.000	Rp156.000.000
8	Ka. Bag. Keuangan	1	Rp13.000.000	Rp156.000.000
9	Ka. Bag. Pemasaran	1	Rp13.000.000	Rp156.000.000

No	Jabatan	Jumlah	Gaji	Gaji
			(/orang/bulan)	(/tahun)
10	Ka. Bag. Kesehatan, Keselamatan Kerja dan Lingkungan	1	Rp13.000.000	Rp156.000.000
11	Ka. Bag. Administrasi dan Sumber Daya Manusia	1	Rp13.000.000	Rp156.000.000
12	Ka. Bag. Umum dan Keamanan	1	Rp13.000.000	Rp156.000.000
13	Ka. Sek. Proses	1	Rp10.000.000	Rp120.000.000
14	Ka. Sek. Utilitas	1	Rp10.000.000	Rp120.000.000
15	Ka. Sek. Pemeliharaan dan Bengkel	1	Rp10.000.000	Rp120.000.000
16	Ka. Sek. Listrik dan Instrumentasi	1	Rp10.000.000	Rp120.000.000
17	Ka. Sek. Penelitian dan Pengembangan	1	Rp10.000.000	Rp120.000.000
18	Ka. Sek. Laboratorium dan Pengendalian Mutu	1	Rp10.000.000	Rp120.000.000
19	Ka. Sek. Kesehatan dan Keselamatan Kerja	1	Rp10.000.000	Rp120.000.000
20	Ka. Sek. Unit Pengolahan Limbah	1	Rp10.000.000	Rp120.000.000

No	Jabatan	Jumlah	Gaji	Gaji
			(/orang/bulan)	(/tahun)
21	Ka. Sek. Tata Usaha	1	Rp10.000.000	Rp120.000.000
22	Ka. Sek. Personalia	1	Rp10.000.000	Rp120.000.000
23	Ka. Sek. Hubungan Masyarakat	1	Rp10.000.000	Rp120.000.000
24	Ka. Sek. Keamanan	1	Rp8.000.000	Rp96.000.000
25	Karyawan Proses	4	Rp7.000.000	Rp336.000.000
26	Karyawan Utilitas	4	Rp7.000.000	Rp336.000.000
27	Karyawan Pemeliharaan dan Bengkel	4	Rp7.000.000	Rp336.000.000
28	Karyawan Listrik dan Instrumentasi	4	Rp7.000.000	Rp336.000.000
29	Karyawan Penelitian dan Pengembangan	8	Rp7.000.000	Rp672.000.000
30	Karyawan Laboratorium dan Pengendalian Mutu	8	Rp7.000.000	Rp672.000.000
31	Karyawan Kesehatan dan Keselamatan Kerja	6	Rp7.000.000	Rp504.000.000
32	Karyawan Unit Pengolahan Limbah	4	Rp7.000.000	Rp336.000.000
33	Karyawan Tata Usaha	5	Rp4.000.000	Rp240.000.000

No	Jabatan	Jumlah	Gaji	Gaji
			(/orang/bulan)	(/tahun)
34	Karyawan Personalia	5	Rp4.000.000	Rp240.000.000
35	Karyawan Hubungan Masyarakat	5	Rp4.000.000	Rp240.000.000
36	Karyawan Keamanan	8	Rp4.000.000	Rp384.000.000
37	Operator	57	Rp4.000.000	Rp2.736.000.000
38	Dokter	2	Rp10.000.000	Rp240.000.000
39	Perawat	4	Rp4.000.000	Rp192.000.000
40	Sopir	6	Rp3.000.000	Rp216.000.000
41	Cleaning Service	10	Rp3.000.000	Rp360.000.000
Total		168	Rp433.000.000	Rp12.420.000.000

4.4.6.2 Penggolongan Jabatan

Dalam mendirikan suatu pabrik harus adanya penggolongan jabatan, karena hal ini akan berkaitan dengan keberlangsungan pabrik untuk bersaing di bersaing di pasaran. Berikut rincian penggolongan jabatan:

Tabel 4. 4 Penggolongan Jabatan

Jabatan	Penggolongan
Dewan Komisaris	S-2
Direktur Utama	S-2

Jabatan	Penggolongan
Kepala Bagian	S-1
Kepala Seksi	S-1
Perawat	D-3/D-4/S-1
Karyawan	D-3/S-1
Satpam	SLTA
Supir	SLTA
<i>Cleaning Service</i>	SLTA

4.4.6.4 Fasilitas dan Hak Karyawan

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

a. Hak Karyawan

- Tunjangan yang berupa gaji pokok yang diberikan berdasarkan golongan karyawan yang bersangkutan.
- Tunjangan jabatan yang diberikan berdasarkan jabatan yang dipegang.
- Tunjangan lembur untuk karyawan yang bekerja di luar jam kerja diberikan berdasarkan jumlah jam kerja.
- Tunjangan hari raya keagamaan
- Tunjangan jabatan
- Tunjangan istri dan anak
- Tunjangan rumah sakit dan kematian

- Jamsostek
- Uang makan

b. Fasilitas Karyawan

1) Poliklinik

Untuk meningkatkan efisiensi produksi, faktor kesehatan karyawan merupakan hal yang sangat berpengaruh. Oleh karena itu perusahaan menyediakan fasilitas poliklinik yang ditangani oleh dokter dan perawat.

2) Pakaian kerja

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

3) Makan dan minum

Perusahaan menyediakan makan dan minum 1 kali sehari yang rencananya akan dikelola oleh perusahaan *catering* yang ditunjuk oleh perusahaan.

4) Koperasi

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

5) Tunjangan Hari Raya (THR)

Tunjangan ini diberikan setiap tahun yaitu menjelang hari raya Idul Fitri dan besarnya tunjangan tersebut sebesar satu bulan gaji.

6) Jamsostek

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

7) Tempat ibadah

Perusahaan membangun tempat ibadah agar karyawan dapat menjalankan kewajiban rohaninya dan melaksanakan aktivitas keagamaan lainnya.

8) Transportasi

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

9) Hak cuti

- **Cuti tahunan**

Karyawan mempunyai hak cuti tahunan selama 12 hari setiap tahun. Bila dalam waktu 1 tahun hak cuti tersebut tidak dipergunakan maka hak tersebut akan hilang untuk tahun itu dan tidak bisa diakumulasikan.

- **Cuti massal**

Setiap tahun diberikan cuti massal untuk karyawan bertepatan dengan hari raya Idul Fitri selama 4 hari kerja (bagi karyawan harian (*non shift*)).

- **Cuti hamil**

Wanita yang akan melahirkan berhak cuti selama 6 bulan dan selama cuti tersebut gaji tetap dibayar dengan ketentuan jarak kelahiran anak pertama dan anak kedua minimal 2 tahun.

- **Hari Libur Nasional**

Bagi karyawan harian (*non shift*), hari libur nasional tidak masuk kerja. Sedangkan bagi karyawan shift, hari libur nasional tetap masuk kerja dengan catatan hari itu diperhitungkan sebagai kerja lembur (*overtime*).

- **Kerja Lembur (*Overtime*)**

Kerja lembur dapat dilakukan apabila ada keperluan yang mendesak dan atas persetujuan kepala bagian.

- **Sistem Gaji Karyawan**

Gaji karyawan dibayarkan setiap bulan pada tanggal 1. Bila tanggal tersebut merupakan hari libur, maka pembayaran gaji dilakukan sehari sebelumnya.

10) Pengobatan

- Biaya pengobatan bagi karyawan yang menderita sakit yang diakibatkan oleh kecelakaan kerja ditanggung perusahaan sesuai dengan undang-undang yang berlaku.
- Biaya pengobatan bagi karyawan yang menderita sakit yang tidak diakibatkan oleh kecelakaan kerja diatur berdasarkan kebijaksanaan perusahaan.

BAB V

UTILITAS

Unit utilitas merupakan unit penunjang yang memiliki peran penting dalam berjalannya suatu proses di industri. Perancangan utilitas dibutuhkan untuk menjamin keberlangsungan suatu pabrik. Beberapa penyediaan utilitas yang dibutuhkan pabrik antara lain:

1. Unit Penyediaan dan Pengolahan Air
2. Unit Pembangkit *Steam*
3. Unit Pembangkit Listrik
4. Unit Penyedia Udara Tekan
5. Unit Penyedia Bahan Bakar
6. Unit Pengolahan Limbah

5.1 Unit Penyediaan dan Pengolahan Air

5.1.1 Unit Penyediaan Air

Air merupakan salah satu bahan baku maupun bahan penunjang yang sangat dibutuhkan dalam proses produksi. Secara umum kebutuhan air suatu industri dipenuhi menggunakan air sumur, air danau, air sungai, atau air laut sebagai sumbernya. Perancangan pabrik THF ini menggunakan Sungai Mireng sebagai sumber mendapatkan air karena dekat dengan lokasi pabrik. Untuk menghindari *fouling* yang terjadi pada alat-alat penukar panas maka perlu diadakan

pengolahan air sungai yang dilakukan secara fisis dan kimia. Adapun pertimbangan dalam memilih air sungai sebagai sumber untuk mendapatkan air adalah sebagai berikut:

- a. Air sungai merupakan sumber air yang kontinuitasnya relatif tinggi, sehingga akan selalu tersedia dan akan terhindarkan dari kendala kekurangan air.
- b. Pengolahan air sungai relatif lebih mudah, sederhana, dan biaya pengolahan relatif murah dibandingkan dengan proses pengolahan air laut yang lebih rumit dan biaya pengolahannya lebih besar karena membutuhkan alat yang relatif lebih mahal.
- c. Jumlah air sungai yang lebih banyak dibandingkan jumlah air sumur.
- d. Lokasi sungai berada tidak jauh dari lokasi pembangunan pabrik.

Secara keseluruhan, kebutuhan air pada pabrik ini digunakan untuk keperluan:

a. Air Domestik

Air domestik merupakan air yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan karyawan seperti air minum, toilet, perumahan dan sebagainya. Air domestik yang digunakan harus memenuhi persyaratan kualitas tertentu, yaitu:

1) Syarat Fisika

- Suhu : dibawah suhu udara
- Warna : jernih
- Rasa : tidak mempunyai rasa

- Bau : tidak berbau

2) Syarat kimia

- Tidak mengandung zat organik dan anorganik yang terlarut dalam air.
- Tidak mengandung bahan beracun.
- Tidak mengandung bakteri terutama *pathogen* yang dapat mengubah fisik air.

Berdasarkan standar WHO, kebutuhan air perorang berkisar antara 100-120 liter per hari. Untuk suatu pabrik atau kantor, kebutuhan air untuk satu orang sebesar 100 liter per hari atau sama dengan 1,023 kg/L. Jumlah karyawan pada pabrik ini berjumlah 168 orang. Pabrik merencanakan mendirikan sebanyak 20 rumah yang diperkirakan dihuni oleh 60 orang. Sehingga total kebutuhan air domestik sebesar:

Tabel 5. 1 Kebutuhan Air Domestik

No.	Keperluan	Jumlah (kg/jam)
1	Kebutuhan Air Karyawan	16.422,1
2	Kebutuhan Air <i>Mess</i>	5.000
Total		21.422,1

b. Air Pendingin

Air pendingin diproduksi menggunakan menara pendingin (*cooling tower*). Unit air pendingin berfungsi untuk memproses air melalui proses pendinginan agar dapat digunakan sebagai air pendingin dalam alat pertukaran panas (*heat*

exchanger). Air pendingin yang keluar dari alat pertukaran panas di area proses akan sirkulasi kembali dan didinginkan sepenuhnya di dalam *cooling tower*. Proses ini dapat menyebabkan penguapan dan kebocoran air dari *cooling tower*. Oleh karena itu, untuk menjaga jumlah air pendingin tetap stabil, perlu ditambahkan air *make up* sesuai dengan jumlah air yang hilang.

Pada umumnya air digunakan sebagai media pendingin karena faktor - faktor berikut:

- 1) Air merupakan materi yang dapat diperoleh dalam jumlah besar.
- 2) Mudah dalam pengolahan dan pengaturannya.
- 3) Dapat menyerap jumlah panas yang relatif tinggi persatuan volume.
- 4) Tidak mudah menyusut secara berarti dalam batasan dengan adanya perubahan temperatur pendingin.

Air pendingin digunakan untuk peralatan yang membutuhkan penurunan suhu. Kebutuhan air pendingin pada pabrik THF ini terlampir pada Tabel 5.2 sebagai berikut:

Tabel 5. 2 Kebutuhan Air Pendingin

No.	Nama Alat	Kode Alat	Jumlah (kg/jam)
1	<i>Cooler 1</i>	CL-01	1.272,425
2	<i>Cooler 2</i>	CL-02	677,130
3	<i>Cooler 3</i>	CL-03	182,149
4	<i>Condenser MD</i>	CD-01	65.293,200

No.	Nama Alat	Kode Alat	Jumlah (kg/jam)
5	Condenser 2	CD-02	6.658,460
Total			74.083,364

Perancangan dibuat *over design* sebanyak 20% sehingga menjadi 88.900,037 kg/jam. Pada saat berlangsungnya proses, air pendingin mengalami *blowdown* pada unit *cooling tower* sehingga diperlukan adanya air *make-up*. Setelah dilakukan perhitungan didapatkan kebutuhan air *make-up* yaitu sebesar 11.112,505 kg/jam.

c. Air untuk *Steam*

Umpan atau *steam* dalam pabrik digunakan sebagai media pemanas.

Adapun syarat air umpan boiler, yaitu:

- 1) Tidak membuih (berbusa)
- 2) Tidak membentuk kerak dalam reboiler
- 3) Tidak menyebabkan korosi pada pipa

Air *steam* yang dapat digunakan untuk boiler harus memenuhi persyaratan diatas. Apabila air boiler tidak memenuhi persyaratan dapat mengakibatkan kerusakan pada alat sehingga dilakukan pencegahan agar tidak terjadi *scalling*, *fouling* dan *foaming*. Kebutuhan *steam* untuk peralatan pada pabrik THF ini terlampir pada Tabel 5.3 sebagai berikut:

Tabel 5. 3 Kebutuhan *Steam*

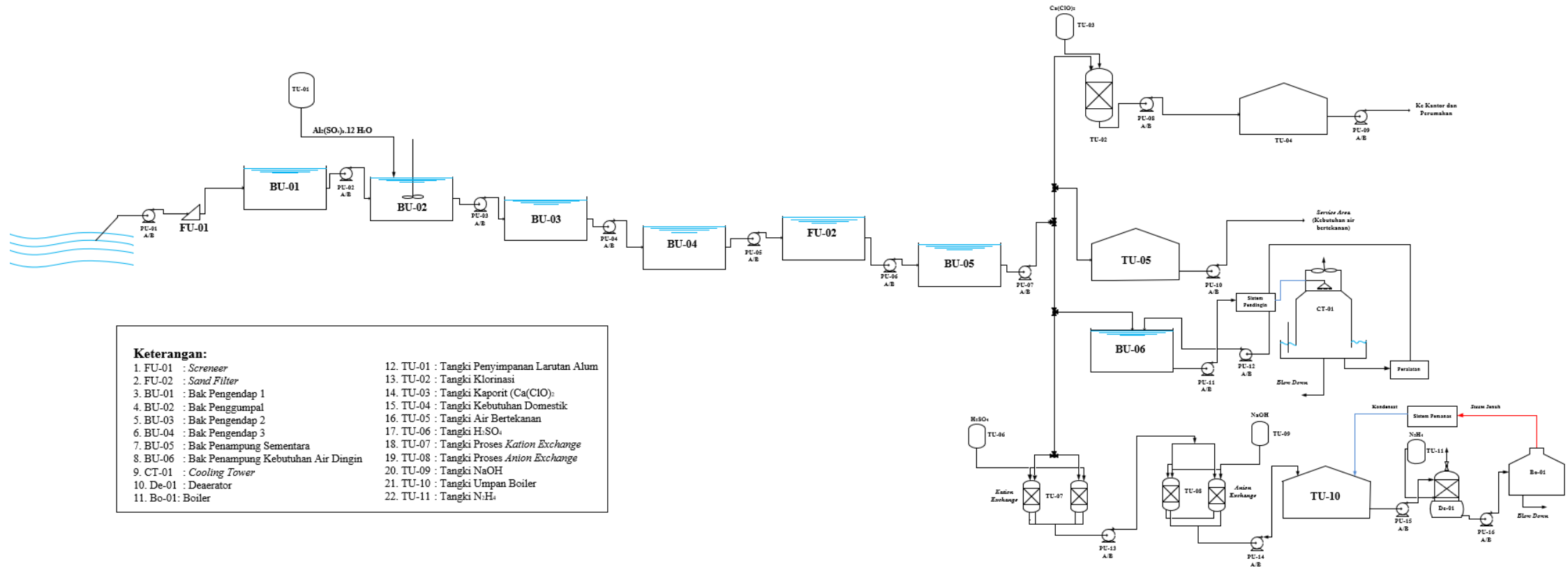
No	Nama Alat	Kode Alat	Jumlah (kg/jam)
1	<i>Heater 1</i>	HE-01	2.605,991
2	<i>Heater 2</i>	HE-02	893,248
3	Evaporator 1	EV-01	83.479,900
4	Reaktor-1	R-01	139,672
5	Reaktor-2	R-02	139,672
6	Reaktor-3	R-03	139,672
7	Reaktor-4	R-04	139,672
8	Reboiler MD	RB-01	1.897,990
Subtotal			91.111,889

Perancangan dibuat *over design* sebanyak 20% sehingga menjadi 107.322,982 kg/jam. Pada saat berlangsungnya proses, air pembangkit *steam* 85% dimanfaatkan kembali, sehingga diperlukan 15% air *make-up*, dikarenakan terjadinya *blowdown* pada *boiler* sebesar 10% dan penggunaan *steam trap* sebesar 5%, sehingga jumlah air *make-up* yang dibutuhkan setelah dilakukan perhitungan yaitu sebesar 16.098,447 kg/jam.

d. Air Service

Perkiraan kebutuhan air untuk penggunaan layanan umum seperti bengkel, laboratorium, masjid, kantin, pemadam kebakaran, dan lain-lain sebesar 5.700 kg/jam.

DIAGRAM PENGOLAHAN AIR



Gambar 5. 1 Diagram Pengolahan Air

5.1.2 Unit Pengolahan Air

Pada umumnya suatu pabrik memenuhi kebutuhan air dengan menggunakan air danau, air sungai, air sumur maupun air laut sebagai sumbernya. Dalam perancangan pabrik THF ini, untuk mencukupi kebutuhan air diperoleh dari sungai yang terletak tidak jauh dari lokasi pabrik. Air dibutuhkan untuk keperluan membuat *steam*, *domestic water*, *cooling water*, *service water*. Pertimbangan menggunakan air sungai sebagai sumber untuk mendapatkan air adalah letak sungai tidak terlalu jauh dengan pabrik, terdapat dua sungai sehingga kendala kekurangan air dapat dihindari.

Air sungai tidak dapat langsung digunakan, memerlukan beberapa pengolahan untuk dapat dipakai sebagaimana mestinya. Beberapa tahapan dalam pengolahan air yaitu:

a. Penghisapan

Air dari sungai dipompa dan dialirkan menuju alat penyaringan (*screen*) untuk menghilangkan partikel kotoran yang berukuran cukup besar.

b. Screening

Tahap ini dilakukan untuk memisahkan kotoran-kotoran yang berukuran cukup besar seperti daun, ranting, dan sampah-sampah lainnya tanpa menggunakan bahan kimia. Sedangkan partikel kecil yang masih terbawa akan diolah di tahap-tahap berikutnya.

c. Penggumpalan/Koagulasi

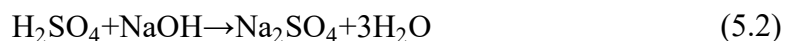
Air masuk ke dalam bak sedimentasi untuk mengendapkan dan memisahkan lumpur yang mungkin terbawa, yang dapat menyebabkan gangguan *fouling* di dalam proses penyediaan air bebas mineral. Partikel yang besar dihilangkan dengan penyaringan, tetapi koloidal yang ada dilepas melalui proses klarifikasi dalam penetralan dan penggumpalan (*coagulation*). Sebelum dikeluarkan dilakukan injeksi larutan alum, soda kaustik dan kaporit. Jumlah aliran bahan kimia yang masuk dikontrol secara otomatis sebanding dengan jumlah air yang masuk

Koagulasi merupakan proses penggumpalan partikel koloid akibat penambahan bahan koagulan atau zat kimia sehingga partikel-partikel tersebut bersifat netral dan membentuk endapan karena gravitasi. Koagulan yang digunakan adalah tawas atau Aluminium Sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), yang merupakan garam yang berasal dari asam kuat dan basa lemah, sehingga dalam air yang mempunyai suasana basa akan mudah terhidrolisis. Untuk memperoleh sifat alkalis agar proses flokulasi dapat berjalan efektif, sering ditambahkan kapur karena kapur berfungsi untuk mengurangi atau menghilangkan kesadahan karbonat dalam air untuk membuat suasana basa sehingga mempermudah penggumpalan. Sedangkan proses flokulasi bertujuan untuk menggumpalkan partikel-partikel tersebut menjadi flok dengan ukuran yang memungkinkan untuk dipisahkan dengan sedimentasi dan filtrasi. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Gumpalan $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang berupa koloid akan mengendap bersama kotoran lain yang terikut ke dalam air dan H_2SO_4 yang akan mengakibatkan air bersifat asam. Pembentukan flok terbaik pada Ph 6,5 – 7,5. Jumlah alum yang diinjeksikan sebanyak 0,06 % dari air umpan dengan konsentrasi 26 % volume.

Penambahan aluminium sulfat pada proses ini menyebabkan air bersifat asam sehingga perlu dinetralkan menggunakan soda kaustik (NaOH). Berikut ini reaksi penetralan antara NaOH dan H_2SO_4 :



Jumlah soda abu yang diinjeksikan sebanyak 0.05% dari air umpan dengan konsentrasi volume 40%.

d. Pengendapan

Pengendapan ini dilakukan di dalam bak pengendapan yang bertujuan untuk mengendapkan *flok* yang terbentuk dari proses koagulasi-flokulasi. Bentuk-bentukan *flok* tadi akan mengendap yang selanjutnya dapat dibuang (*blow down*).

e. Sand Filter

Air dari bak pengendap yang masih mengandung padatan tersuspensi selanjutnya memasuki alat *sand filter* untuk difiltrasi. Filtrasi ini bertujuan untuk menghilangkan mineral-mineral yang terkandung di dalam air, seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , dan lain-lain dengan menggunakan resin. Penyaringan ini menggunakan media pasir atau *sand filter* berbentuk silinder vertikal yang terdiri dari *antrasit*, *coarse sand*, *fine sand* dan *activated carbon*. *Activated carbon* digunakan untuk

menyerap CO_2 terlarut dalam air dan zat-zat organik sebelum masuk ke tahap demineralisasi. Apabila *sand filter* ini telah jenuh maka perlu dilakukan regenerasi, dengan cara mencuci aliran balik (*backwash*) dengan aliran yang lebih tinggi dari aliran filtrasi, hal ini dilakukan untuk melepaskan kotoran (*suspended matters*) dari permukaan filter dan untuk memperluas bidang penyaringan. Setelah di-*backwash* dan *filter* dioperasikan kembali, air hasil saringan untuk beberapa menit pertama dikirim ke pembuangacentrigun, hal ini dilakukan untuk membersihkan sistem dari benda-benda padat yang masih terbawa dan setelah itu dibuang. Larutan kaustik diinjeksikan melalui pipa dari *sand filter* untuk mengatur pH dari produk air filter yang masuk ke tangki penyimpanan air sementara. Untuk mencegah tumbuhnya mikroorganisme yang ada dalam air filter dilakukan injeksi kaporit.

f. Penampungan air bersih

Air yang sudah melalui tahap filtrasi bisa disebut sebagai air bersih dan ditampung dalam bak penampungan air bersih. Air tersebut kemudian didistribusikan untuk keperluan *service water*, air domestik, *make up cooling tower*, dan bahan baku *demin plan*.

g. Demineralisasi

Demineralisasi air adalah proses penghilangan mineral-mineral dalam bentuk anion (ion negatif) dan kation (ion positif) dari air sehingga diperoleh air bebas mineral (*demineralized water*). Air bebas mineral diperlukan untuk air umpan boiler. Pada proses ini terjadi reaksi kimia yang didalamnya terdapat interaksi muatan listrik antar reaktan dalam larutan, sehingga adanya kation dan anion yang

akan mengganggu mekanisme berjalannya reaksi. Air yang digunakan untuk boiler harus bebas mineral khususnya garam-garam dengan kesadahan tetap seperti garam kalsium, magnesium, dan silikat dari sulfat dan klorida.

- **Proses Pertukaran Kation dan Anion dalam Air.**

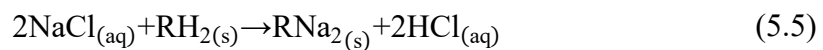
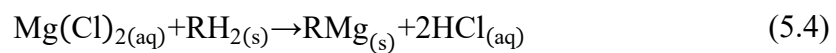
Proses demineralisasi ini terbagi menjadi 2, yaitu pelunakan air dan dealkalinasi. Proses pelunakan air terjadi pada kation *exchanger*. Di dalam kation *exchanger*, mineral-mineral sadat seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} dan mineral lainnya akan dibebaskan dari air bersih. Mineral ini akan ditangkap oleh suatu resin berjenis *hydrogen-zeolite*. Resin memiliki kapasitas untuk menangkap mineral, maka akan disubjekkan ke dalam proses regenerasi resin. Regenerasi resin *kation exchanger* dilakukan dengan penambahan asam kuat H_2SO_4 . Air keluaran dari *kation exchanger* adalah air bebas mineral yang tendensi untuk membentuk *scalling*-nya sudah diminimalkan.

Air yang telah melewati *kation exchanger* akan disubjekkan ke dalam *anion exchanger* untuk dilakukan proses dealkalinasi. Proses ini bertujuan untuk menangkap ion-ion negatif seperti HCO_3^{3-} , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^- , dan lain-lain. Ion negatif ini harus ditangkap karena jika air bersifat basa ini dipanaskan, akan berpotensi untuk membentuk gas CO_2 yang bisa menurunkan performa boiler dan alat proses lainnya. Proses penangkapan ion-ion memiliki mekanisme yang mirip pada proses pelunakan air. Perbedaan utama nya adalah jenis resin yang digunakan. Jenis resin yang digunakan *weakly basic anion exchanger*. Pada proses ini, saat resin sudah memenuhi kapasitasnya untuk menangkap ion, resin akan

diregenerasikan dengan menambahkan basa kuat NaOH. Air keluaran dari *anion exchanger* ini sudah bisa digunakan sebagai air proses. Tetapi untuk penggunaan sebagai air umpan boiler, perlu dilakukan proses lebih lanjut.

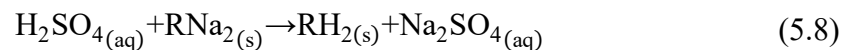
Reaksi yang terjadi pada *ion exchanger*:

- *Cation exchanger*

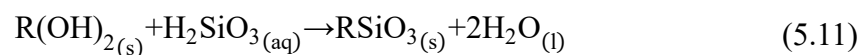
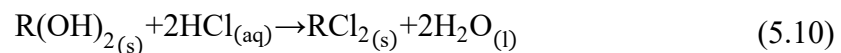
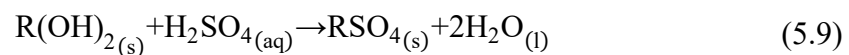


Jika resin sudah dalam kondisi jenuh maka dilakukan pencucian menggunakan larutan H_2SO_4 4%.

- Reaksi regenerasi kation

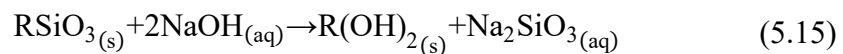
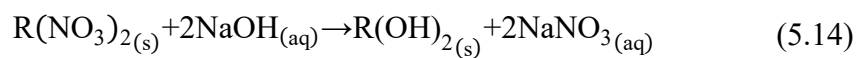
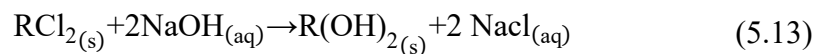
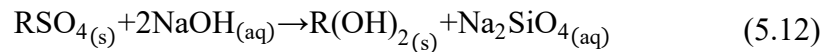


- *Anion exchanger*



Jika resin sudah mencapai titik jenuh maka dilakukan pencucian menggunakan larutan NaOH 40%.

- Regenerasi resin anion

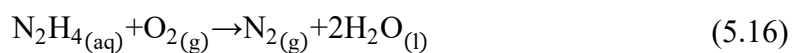


h. Deaerasi

Air keluaran dari proses demineralisasi yang akan dijadikan umpan boiler akan disubjekkan ke proses deaerasi untuk menghilangkan gas-gas terlarut dalam air, terutama gas O_2 yang berpotensi untuk menyebabkan korosi pada boiler. Korosi pada boiler memiliki konsekuensi yang sangat berbahaya, selain perpendekan umur boiler. Pengikisan di dalam boiler berpotensi menyebabkan ledakan dikarenakan ekspansi tekanan yang tidak sesuai dengan tekanan desain.

Untuk menghilangkan gas-gas terlarut, senyawa N_2H_4 (hidrazin) ditambahkan untuk mengikat O_2 dan gas terlarut lainnya sehingga dapat mencegah terbentuknya kerak. Kandungan O_2 keluar dari deaerator didesain tidak lebih besar dari 0.007 ppm.

Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Setelah dihilangkan kandungan gas terlarut, maka air keluaran deaerator dapat langsung diumpankan ke boiler feed water, kemudian diumpankan ke boiler. Di dalam boiler akan berlangsung proses pembangkitan air menjadi steam. Namun, untuk menjaga konsentrasi *suspended solid* yang terakumulasi di dalam *boiler*, dilakukan sistem *blowdown* pada periode tertentu sehingga menghilangkan sejumlah air. Untuk mengganti air yang hilang tersebut, ditambahkan *make up water* agar tetap memenuhi kebutuhan proses.

5.2 Unit Pembangkit *Steam* (*Steam Generator System*)

Keberadaan unit ini bertujuan untuk mencukupi kebutuhan *steam* pada proses produksi THF, yaitu dengan menyediakan ketel uap (boiler) dengan spesifikasi:

Kapasitas : 107.322,982 kg/jam

Jenis : *Water Tube Boiler*

Jumlah : 1 buah

Boiler tersebut dilengkapi dengan sebuah unit *economizer safety valve* sistem dan pengaman-pengaman yang bekerja secara otomatis. Air dari *water treatment plant* yang akan digunakan sebagai umpan boiler terlebih dahulu diatur kadar silika O₂, Ca dan Mg yang mungkin masih terikut dengan jalan menambahkan bahan-bahan kimia ke dalam *boiler feed water tank*. Selain itu juga perlu diatur pH nya yaitu sekitar 10,5–11,5 karena pada pH yang terlalu tinggi korosifitasnya tinggi. Sebelum masuk ke boiler, umpan dimasukkan dahulu ke dalam *economizer*, yaitu alat penukar panas yang memanfaatkan panas dari gas sisa pembakaran batubara

yang keluar dari boiler. Di dalam alat ini air dinaikkan temperaturnya hingga 175 °C, kemudian diumpankan ke boiler.

Di dalam boiler, api yang keluar dari alat pembakaran (*burner*) bertugas untuk memanaskan lorong api dan pipa - pipa api. Gas sisa pembakaran ini masuk ke *economizer* sebelum dibuang melalui cerobong asap, sehingga air di dalam boiler menyerap panas dari dinding-dinding dan pipa-pipa api maka air menjadi mendidih. Uap air yang terbentuk terkumpul sampai mencapai tekanan 10 bar, baru kemudian dialirkan ke *steam header* untuk didistribusikan ke area-area proses produksi.

Perancangan dibuat *over design* sebesar 20%, maka kebutuhan air pembangkit listrik menjadi 107.322,982 kg/jam. Pada saat berlangsungnya proses, air pembangkit steam 85% dimanfaatkan kembali, sehingga diperlukan 15% air *make-up*, dikarenakan terjadinya *blowdown* pada boiler sebesar 10% dan penggunaan *steam trap* sebesar 5%, sehingga jumlah air *make-up* yang dibutuhkan dengan *over design* 20% setelah dilakukan perhitungan yaitu sebesar 16.098,447 kg/jam.

5.3 Unit Pembangkit Listrik

Kebutuhan listrik di pabrik THF ini dipenuhi oleh PLN, selain itu listrik cadangan dihasilkan dari generator pabrik apabila ada gangguan pasokan listrik dari PLN setempat. Hal ini bertujuan agar pasokan tenaga listrik dapat berlangsung kontinyu meskipun ada gangguan pasokan dari PLN. Generator yang digunakan adalah generator arus bolak-balik karena:

- a. Tenaga listrik yang dihasilkan cukup besar.

- b. Tegangan dapat dinaikkan atau diturunkan sesuai kebutuhan.

Energi listrik yang dihasilkan generator berasal dari putaran poros engkol yang digerakkan oleh panas yang dihasilkan dari bahan bakar solar. Spesifikasi generator yang digunakan dalam pabrik ini yaitu

Kapasitas : 531,029 kW

Jenis : *AC Generator*

Jumlah : 1

Berikut merupakan rincian untuk kebutuhan listrik pabrik THF diantaranya sebagai berikut:

a. Kebutuhan listrik untuk alat proses

Tabel 5. 4 Kebutuhan Listrik Alat Proses

Alat	Kode Alat	Daya	
		Hp	Watt
Reaktor-1	R-01	60,000	44.742
Reaktor-2	R-02	60,000	44.742
Reaktor-3	R-03	60,000	44.742
Reaktor-4	R-04	60,000	44.742
<i>Centrifuge</i>	CF-01	40,000	29.828,000
<i>Rotary Dryer</i>	RD-01	5,000	3.728,500
Pompa 01	P-01 A/B	1,500	23.237,100

Alat	Kode Alat	Daya	
		Hp	Watt
Pompa 02	P-02 A/B	10,000	14.914,000
Pompa 03	P-03 A/B	7,500	11.185,500
Pompa 04	P-04 A/B	15,000	22.371,000
Pompa 05	P-05 A/B	7,500	11.185,500
Pompa 06	P-06 A/B	1,000	1.491,400
Pompa 07	P-07 A/B	2,000	2.982,800
Pompa 08	P-08 A/B	0,500	745,700
Pompa 09	P-09 A/B	0,500	745,700
Pompa 10	P-10 A/B	0,170	253,538
Pompa 11	P-11 A/B	0,170	253,538
<i>Conveyor 01</i>	SC-01	0,200	149,14
<i>Conveyor 02</i>	SC-02	0,050	37,285
<i>Conveyor 03</i>	SC-03	0,050	37,285
<i>Conveyor 04</i>	SC-04	0,050	37,285
<i>Expansion Valve 01</i>	EV-01	0,050	37,285
<i>Expansion Valve 02</i>	EV-02	10,000	7.454,000
Total		351,190	296.059,271

Power yang dibutuhkan = 296.059,271 Watt = 296,1 kW

b. Kebutuhan Listrik untuk Utilitas

Tabel 5. 5 Kebutuhan Listrik Alat Utilitas

Alat	Kode Alat	Daya	
		Hp	Watt
Bak Flokultor (Bak Pengendap 2)	BU-02	2,000	1.491,400
<i>Blower Cooling Tower</i>	B-01	10,000	7.475,700
<i>Kompressor</i>	K-01	60,000	44.742,000
Blower Udara	B-02	15,000	11.185,500
Pompa 1	PU-01 A/B	15,000	22.371,000
Pompa 2	PU-02 A/B	15,000	22.371,000
Pompa 3	PU-03 A/B	15,000	22.371,000
Pompa 4	PU-04 A/B	7,500	11.185,500
Pompa 5	PU-05 A/B	5,000	7.457,000
Pompa 6	PU-06 A/B	15,000	22.371,000
Pompa 7	PU-07 A/B	15,000	22.371,000
Pompa 8	PU-08 A/B	2,000	2.982,800
Pompa 9	PU-09 A/B	2,000	2.982,800
Pompa 10	PU-10 A/B	0,050	74,570
Pompa 11	PU-11 A/B	1,000	1.491,400
Pompa 12	PU-12 A/B	1,500	2.237,100
Pompa 13	PU-13 A/B	5,000	7.457,000

Alat	Kode Alat	Daya	
		Hp	Watt
Pompa 14	PU-14 A/B	5,000	7.457,000
Pompa 15	PU-15 A/B	5,000	7.457,000
Pompa 16	PU-16 A/B	5,000	7.457,000
Total (Watt)			234.970,070

Power yang dibutuhkan = 234.970,070 W = 234,970 kW

Kebutuhan motor penggerak total = 531,029 kW

c. Kebutuhan listrik alat kontrol

Power yang dibutuhkan untuk alat kontrol diperkirakan 25% dari total kebutuhan listrik untuk menggerakkan motor:

$$P = 132,757 \text{ kW}$$

d. Kebutuhan listrik untuk penerangan

Power yang dibutuhkan untuk alat penerangan diperkirakan 15% dari total kebutuhan listrik untuk menggerakkan motor:

$$P = 79,654 \text{ kW}$$

e. Kebutuhan listrik untuk peralatan kantor

Power yang dibutuhkan untuk kantor seperti (AC, komputer, dan lain-lain) diperkirakan 15% dari total kebutuhan listrik untuk menggerakkan motor

$$P = 79,654 \text{ kW}$$

f. Kebutuhan listrik untuk bengkel, laboratorium, dan lain-lain

Power yang dibutuhkan untuk bengkel, laboratorium, dan lain-lain diperkirakan 15% dari total kebutuhan listrik untuk menggerakkan motor:

$$P = 79,654 \text{ kW}$$

g. Kebutuhan listrik perumahan

Setiap rumah diperkirakan memerlukan listrik = 1.300 Watt

Jumlah rumah = 20 unit

Kebutuhan listrik perumahan = 26.000 Watt

= 26 kW

Total kebutuhan listrik pabrik dapat dilihat berdasarkan tabel dibawah ini:

Tabel 5. 6 Kebutuhan Listrik Total Pabrik

No	Keperluan	Kebutuhan (kW)
1	<i>Power Plant</i>	296,059
2	Utilitas	234,970
3	Alat Kontrol	132,757
4	Penerangan	79,654
5	Peralatan Kantor	79,654
6	Bengkel, Laboratorium	79,654
7	Perumahan	26

Total	928,750
--------------	----------------

Kebutuhan listrik disuplai dari PLN, namun sebagai cadangan terdapat sebuah generator mandiri sebagai cadangan jika terjadi pemadaman listrik oleh PLN.

5.4 Unit Penyedia Bahan Bakar

Unit ini bertujuan untuk menyediakan bahan bakar yang dipergunakan pada *boiler* dan generator. Bahan bakar yang digunakan adalah solar sebesar 4.308,410 L/jam sedangkan untuk generator yaitu 136,439 L/jam.

5.5 Unit Penyedia Udara Tekan dan Udara Proses

Dalam pabrik ini udara tekan dibutuhkan untuk menggerakkan instrumen *control* sebagai penggerak alat-alat kontrol di pabrik yang bekerja secara pneumatis. Tekanan udara instrumen yang digunakan adalah 5,5 bar. Dalam pabrik THF ini terdapat sekitar 91 alat kontrol yang memerlukan udara tekan untuk menggerakkannya. Mekanisme atau proses untuk membuat udara tekan yaitu udara lingkungan diambil menggunakan blower udara dan dilewatkan kedalam filter udara untuk menyaring debu-debu yang terkandung didalamnya. Udara bersih sejumlah 196,34 m^3 /jam dilewatkan kedalam kompressor untuk ditekan tekananya dari 1 hingga 5,5 bar. Selanjutnya udara yang masih mengandung sisa-sisa uap air dilewatkan pada tangki silika untuk diserap oleh bahan isian berupa silika sehingga menjadi udara kering. Udara kering kemudian disimpan didalam tangki bertekanan. Total kebutuhan udara instrumen diperkirakan sebesar 169,97 m^3 /jam.

Udara panas yang dibutuhkan pada proses *Rotary Dryer* (RD-01) sebesar 188,75 m^3 /jam. Distribusi udara panas proses dimulai setelah udara melewati

Kompresor (K-01) kemudian sejumlah $188,75 \text{ m}^3/\text{jam}$ langsung didistribusikan sebagai udara proses yang mana hal ini berbeda dengan udara tekan yang harus disimpan dalam tangki penyimpanan udara tekan.

5.6 Unit Pengolahan Limbah atau Air Buangan

Limbah yang dihasilkan dari pabrik THF dapat diklasifikasikan menjadi dua:

1. Bahan buangan cair

Buangan cairan dapat berupa:

- a. Air buangan yang mengandung zat organik (BDO)
- b. Buangan air domestik
- c. *Back washfilter*, air berminyak dari pompa
- d. *Blow down cooling water*
- e. Air hasil pencucian reaktor

Air buangan domestik berasal dari toilet di sekitar pabrik dan perkantoran. Air tersebut dikumpulkan dan diolah dalam unit stabilisasi dengan menggunakan lumpur aktif, aerasi dan injeksi gas klorin.

Air limbah dari laboratorium diolah melalui beberapa proses terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan karena mengandung zat-zat kimia. Proses pengolahan limbah cair ini adalah *physical treatment*, (pengendapan, penyaringan), *chemical treatment* (penambahan bahan kimia, pengontrolan pH) dan *biological treatment*. Proses pengolahan limbah didukung oleh instalansi pengolahan air limbah Kawasan Industri Gresik JIPE.

2. Bahan buangan padat berupa lumpur dari proses pengolahan air dan *slurry* dari unit proses

Untuk menghindari pencemaran dari bahan buangan padat maka dilakukan penanganan terhadap bahan buangan tersebut dengan cara membuat unit pembuangan limbah yang aman bagi lingkungan sekitar.

Salah satu padatan yang dihasilkan dalam proses ini ada limbah hasil filtrasi katalis *zeolite ZSM-5*, yang mana katalis tersebut akan memasuki UPL untuk melakukan aktivasi katalis dengan cara aktivasi termal. *Zeolite ZSM-5* dipanaskan pada suhu tertentu (biasanya antara 300 °C hingga 500 °C) dalam aliran udara atau inert gas (seperti nitrogen). Proses ini membantu menghilangkan molekul air yang teradsorpsi pada permukaan *zeolite ZSM-5* dan dalam porinya, menciptakan lebih banyak situs aktif untuk reaksi katalitik atau adsorpsi. Setelah aktivasi sudah dilakukan kemudian dilakukan uji laboratorium apakah *zeolite ZSM-5* masih layak digunakan kembali atau tidak, jika hal tersebut masih memenuhi standar kualitas *zeolite-ZSM-5* maka dapat dilakukan proses *recycle* katalis.

5.7 Spesifikasi Alat Utilitas

Tabel 5. 7 Spesifikasi Pompa pada Unit Utilitas

Kode	PU-01	PU-02	PU-03	PU-04	PU-05	PU-06	PU-07	PU-08
Fungsi	Mengalirkan air dari sungai menuju <i>screening</i> (FU-01)	Mengalirkan air dari Bak Sedimentasi (BU-01) menuju Bak Koagulasi dan Flokulasi (BU-02)	Mengalirkan air dari Bak Koagulasi dan Flokulasi (BU-02) menuju ke Bak Pengendapan 1 (BU-03)	Mengalirkan air dari Bak Pengendapan 1 (BU-03) menuju Bak Pengendapan 2 (BU-04)	Mengalirkan air dari Bak Pengendapan II (BU-04) menuju Bak Saringan Pasir (FU-02)	Mengalirkan air dari Bak Sand Filter/ Bak Saringan Pasir (FU-02) menuju Bak Penampung Sementara (BU-05)	Mengalirkan air dari Bak Penampung Sementara (BU-05) menuju masing masing kebutuhan	Mengalirkan air dari tangki klorinasi (TU-02) menuju tangki air bersih (TU-04)
Nama Bahan yang dipompa	H ₂ O	H ₂ O	H ₂ O	H ₂ O	H ₂ O	H ₂ O	H ₂ O	H ₂ O
Type	<i>Centrifugal Pump</i>	<i>Centrifugal Pump</i>	<i>Centrifugal Pump</i>	<i>Centrifugal Pump</i>	<i>Centrifugal Pump</i>	<i>Centrifugal Pump</i>	<i>Centrifugal Pump</i>	<i>Centrifugal Pump</i>
<i>Impeller</i>	<i>Axial flow impellers</i>	<i>Axial flow impellers</i>	<i>Axial flow impellers</i>	<i>Axial flow impellers</i>	<i>Axial flow impellers</i>	<i>Axial flow impellers</i>	<i>Axial flow impellers</i>	<i>Mixed flow impellers</i>

Tabel 5. 8 Spesifikasi Bak Utilitas

Kode	PU-09	PU-10	PU-11	PU-12	PU-13	PU-14	PU-15	PU-16
Fungsi	Mengalir kan air dari tangki bersih (TU-04) menuju area domestik	Mengalir kan air dari Tangki air bertekana n (TU- 05) menuju area kebutuha n servis	Mengalir kan air dari Bak Air Dingin (BU-06) menuju ke Cooling Tower (CT-01)	Mengalir kan air dari alat proses menuju bak air dingin (BU-06)	Mengalir kan air dari proses <i>anion exchange</i> ke <i>kation exchange</i>	Mengalir kan air dari <i>kation exchange</i> ke TU-10	Mengalir kan air dari TU- 10 ke De- 01	Mengalir kan air dari De- 01 ke Bo- 01
Nama Bahan yang dipompa	H ₂ O	H ₂ O	H ₂ O	H ₂ O	H ₂ O	H ₂ O	H ₂ O	H ₂ O
Type	<i>Centrifug al Pump</i>	<i>Centrifug al Pump</i>	<i>Centrifug al Pump</i>	<i>Centrifug al Pump</i>	<i>Centrifug al Pump</i>	Centrifug al Pump	Centrifug al Pump	<i>Centrifug al Pump</i>
Impeller	<i>Mixed flow impellers</i>	<i>Radial flow impellers</i>	<i>Mixed flow impellers</i>	<i>Mixed flow impeller</i>	<i>Axial flow impeller</i>	<i>Axial flow impeller</i>	<i>Axial flow impeller</i>	<i>Axial flow impeller</i>

Kode	PU-09	PU-10	PU-11	PU-12	PU-13	PU-14	PU-15	PU-16
Ukuran Pipa								
ID (in)	4,030	0,622	7,981	7,981	7,981	7,981	7,981	7,981
OD (in)	4,500	0,840	8,625	8,625	8,625	8,625	8,625	8,625
IPS (in)	4,000	0,500	8,00	8,00	8,000	8,000	8,000	8,000
<i>Flow Area (in²)</i>	12.700	0,304	50,000	50,000	50,00	50,00	50,00	50,00
Efisiensi Pompa	68%	43%	80%	80%	80%	80%	80%	80%
Efisiensi Motor	82%	80%	83%	83%	83%	83%	83%	83%
Power Pompa (Hp)	1,461	0,007	0,500	1,000	2,800	3,000	3,000	3,000
Power Motor (Hp)	2,000	0,050	1,000	1,500	5,000	5,000	5,000	5,000

Kode	PU-09	PU-10	PU-11	PU-12	PU-13	PU-14	PU-15	PU-16
Harga	\$18,451,241	\$4,612.810	\$11,939.038	\$11,939.038	\$36,902.482	\$36,902.482	\$36,902.482	\$36,902.482

Tabel 5. 9 Spesifikasi Bak pada Unit Utilitas

Bak	BU-01	BU-02	BU-03	BU-04	BU-05	BU-06
Fungsi	Mengendapkan kotoran dan lumpur yang terbawa dari air sungai dengan proses sedimentasi	Mengendapkan kotoran yang berupa dispersi koloid dalam air dengan menambahkan koagulan yang berfungsi untuk menggumpalkan kotoran	Mengendapkan endapan yang terbentuk flok yang terbawa dari air sungai dengan proses flokulasi (menghilangkan flokulasi)	Mengendapkan endapan yang terbentuk flok yang terbawa dari air sungai dengan proses flokulasi (menghilangkan flokulasi)	Menampung sementara <i>raw water</i> setelah disaring di <i>sand filter</i>	Menampung kebutuhan air pendingin
Jenis	Bak Persegi	Bak Silinder Tegak	Bak Persegi	Bak Persegi	Bak Persegi	Bak Persegi Panjang
Bahan	Beton Bertulang	Beton Bertulang	Beton Bertulang	Beton Bertulang dan dilapisi porselin	Beton Bertulang dan dilapisi porselin	Beton Bertulang

Bak	BU-01	BU-02	BU-03	BU-04	BU-05	BU-06
Spesifikasi						
Panjang (m)	13,811	-	13,347	13,121	12,895	8,618
Lebar (m)	13,811	-	13,347	13,121	12,895	8,618
Tinggi (m)	6,906	7,357	6,674	6,560	6,447	4,309
Diameter (m)	-	7,357	-	-	-	-
Jumlah	1	1	1	1	1	1
Harga	\$96,597.674	\$10,039.646	\$84,658.636	\$84,658.636	\$84,658.636	\$40,200.000

Tabel 5. 10 Spesifikasi Tangki pada Unit Utilitas

Tangki	TU-01	TU-02	TU-03	TU-04	TU-05	TU-06	TU-07
Fungsi	Menyimpan dan menyiapkan larutan alum	Menampung kebutuhan kaporit selama 1 minggu yang akan	Mencampur klorin dalam bentuk kaporit ke dalam air untuk	Menampung air untuk keperluan	Menampung air bertekanan untuk keperluan layanan umum	Menampung/menyimpan larutan H_2SO_4 yang akan digunakan untuk	Menghilangkan mineral yang masih terkandung dalam air

Tangki	TU-01	TU-02	TU-03	TU-04	TU-05	TU-06	TU-07
	5% untuk 2 minggu operasi	dimasukkan ke dalam tangki klorinasi	kebutuhan rumah tangga	kantor dan rumah		meregenerasi <i>kation exchanger</i>	dengan cara mengikat ion-ion positif yang ada dalam air
Jenis	Silinder Tegak	Silinder Tegak Berpengaduk	Silinder Tegak	Silinder Tegak	Silinder Tegak	Silinder Tegak	Silinder Tegak
Bahan	<i>Carbon Steel</i>						
Spesifikasi							
Tinggi (m)	3,632	0,661	5,079	9,228	2,058	2,390	3,344
Diameter (m)	1,816	0,661	5,079	9,228	2.058	2,390	4,013
Volume (m ³)	9,406	0,227	102,826	616,956	6,840	10,717	6,690
Jumlah	1	1	1	1	1	1	2
Harga	\$30,661.621	\$9,225.621	\$81,945.218	\$153,579.448	\$84,658.636	\$37,445.166	\$74,347.648

Tangki	TU-08	TU-09	TU-10	TU-11	TU-12	TU-13	TU-14
Fungsi	Menghilangkan mineral yang masih terkandung dalam air dengan cara mengikat ion-ion negatif yang ada dalam air	Menampung larutan NaOH yang akan digunakan untuk meregenerasi <i>anion Exchanger</i>	Tangki air penampung boiler	Menyimpan N_2H_4	Menampung kebutuhan bahan bakar solar	Menghilangkan uap air yang masih terkandung dalam udara	Menyimpan kebutuhan udara bertekanan
Jenis	Silinder Tegak	Silinder Tegak	Silinder Tegak	Silinder Tegak	Silinder Tegak	Silinder Tegak	Silinder Tegak
Bahan	<i>Carbon Steel</i>						
Tinggi (m)	3,344	0,835	5,574	5,504	12,021	10,287	7,347
Diameter (m)	4,013	0,835	5,574	5,504	24,042	10,287	7,347
Volume (m ³)	6,690	0,458	128,8	130,909	868,575	854,972	934,502
Jumlah	2	1	1	1	2	1	1

Harga	\$74,347.648	\$12,346.051	\$89,542.788	\$84,929.977	\$56,167.749	\$51,690.609	\$232,675.577
-------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	---------------

5.7.1 Spesifikasi Alat Utilitas

a. Spesifikasi *Screener* (FU-01)

Nama Alat dan Kode : *Screener* (FU-01)

Fungsi : Menyaring kotoran-kotoran yang berukuran besar seperti ranting, daun dan sampah sampah lainnya

Jenis : Alumunium

Spesifikasi

Kapasitas (kg/jam) : 277,798

Panjang (m) : 3,048

Lebar (m) : 2,438

Diameter (m) : 1

Jumlah : 1

Harga : \$64,850.69

b. Spesifikasi *Sand Filter* (FU-02)

Nama Alat dan Kode : *Sand Filter* (FU-02)

	Menyaring partikel-partikel halus yang ada dalam air
Fungsi	: sungai.
Jenis	: Bak berbentuk balok
Material	: <i>Spheres</i>
Ukuran pasir (<i>mesh</i>)	: 28

Spesifikasi

Volume (m^3)	: 29,346
Panjang (m)	: 3,886
Lebar (m)	: 3,886
Tinggi (m)	: 1,943
Jumlah	: 1
Harga	: \$80,181.50

c. Spesifikasi *Cooling Tower* (CT-01)

Nama Alat dan Kode	: <i>Cooling Tower</i> (CT-01)
Fungsi	: Mendinginkan air pendingin setelah digunakan
Jenis	: <i>Cooling Tower Induced Draft</i>

Spesifikasi

Laju Alir Volumetrik (m^3/jam)	: 88,900
Panjang (m)	: 4,216
Tinggi (m)	: 2
Diameter (m)	: 4,216
Daya (Hp)	: 1,000
Jumlah	: 1,000
Harga	: \$71,634.23

d. Spesifikasi *Deaerator* (De-01)

Nama Alat dan Kode	: <i>Deaerator</i> (De-01)
Fungsi	: Menghilangkan gas CO_2 dan O_2 yang terikat dalam <i>feed water</i> yang menyebabkan kerak pada reboiler dan turbin
Jenis	: Tangki Silinder Tegak dengan Tutup <i>Torispherical</i>

Bahan *Carbon steel SA-85 grade C*

Spesifikasi

Laju Alir Volumetrik

(m^3 /jam) : 110,246

Diameter Tangki (m) : 5,524

Tinggi Tangki (m) : 5,524

Volume Tangki (m^3) : 132,295

Jumlah : 1

Harga : \$60,273.88

e. Spesifikasi *Blower Cooling Tower* (BL-01)

Nama Alat dan Kode : *Blower Cooling Tower* (BL-01)

Fungsi : Menghembuskan udara ke *cooling tower*

Jenis : *Centrifugal Blower*

Bahan *Carbon steel SA-85 grade C*

Spesifikasi

Laju Alir Volumetrik (m^3/jam)	: 76.286,445
Efisiensi	: 95%
Power (Hp)	: 10
Jumlah	: 1
Harga	: \$16,823.19

f. Spesifikasi Filter Udara (FU-03)

Nama Alat dan Kode	: Filter Udara (FU-03)
Fungsi	: Menyaring debu yang terdapat dalam udara
Tipe	: <i>Dry Throwaway</i>
Bahan Konstruksi	: <i>Carbon steel SA-85 grade C</i>
Laju Alir Bahan (kg/jam)	: 185,42
Laju Alir Volumetrik (m^3/s)	: 0,045
Berat Debu (gram/menit)	: 0,093

Ukuran Standar (in)	: 24 X 24
Kedalaman Gasket (m)	: 0,29
Jumlah	: 1
Harga	: \$146,524.56

g. Spesifikasi Blower Udara (BL-01)

Nama Alat dan Kode	: Blower Udara (BL-01)
Fungsi	: Menghisap udara untuk dialirkan ke filter udara
Tipe	: <i>Centrifugal Blower</i>
Jenis	: Backward
Bahan Konstruksi	: <i>Stainless Steel 316</i>
Laju Alir Bahan (kg/jam)	: 185,42
Laju Alir Volumetrik (m^3/s)	: 0,045
Tekanan Blower (psi)	: 9,13
<i>Power Blower</i> (Hp)	: 15
<i>Power Shaft</i> (Hp)	: 18,75
Jumlah	: 1
Harga	: \$9,632.63

Spesifikasi Kompresor (K-01)

Nama dan Kode : Kompresor (K-01)

Fungsi : Menekan udara dari 1,013 bar -1,5 bar

Jenis : Kompresor Sentrifugal

Suction and Discharge

Pressure (bar) : 1-5,5

Suction Temperature : 30 °C

Kapasitas (m^3 /jam) : 196,3

Site Elevation (m) : 2

"Normal" operating conditions :

Tekanan Operasi (bar) : 5,5

Suhu Masuk (°C) : 30

Suhu Keluar (°C) : 216,479

Komposisi : Udara

Others operating contions :

Kelembaban Udara : 70-80%

Duty Cycle : 100%

Power Motor (Hp) : 14

Harga : \$75,704.36

BAB VI

EVALUASI EKONOMI

Dalam perancangan pabrik perlu dilakukannya evaluasi ekonomi yang bertujuan untuk mengetahui apakah pabrik layak didirikan dan menguntungkan atau malah merugikan. Evaluasi ekonomi sangat penting untuk peninjauan kebutuhan modal investasi, besar keuntungan diperoleh, lama modal investasi dapat dikembalikan, dan total produksi sama dengan keuntungan yang diperoleh dalam pra rancangan pabrik THF. Faktor-faktor yang mempengaruhi evaluasi ekonomi di antaranya sebagai berikut:

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

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

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

a. Biaya Pembuatan (*Manufacturing Cost*)

b. Biaya Pengeluaran Umum (*General Expenses*)

Untuk mengetahui titik balik, maka diperlukan beberapa perkiraan meliputi:

a. Biaya Tetap (*Fixed Cost*)

b. Biaya Tidak Tetap (*Regulated Cost*)

c. Biaya Variabel (*Variable Cost*)

6.1 Penaksiran Harga Alat

Harga setiap alat akan berubah tergantung pada kondisi ekonomi. Dengan demikian, perlu untuk memperkirakan harga alat proses produksi di tahun didirikannya pabrik yaitu tahun 2033 dengan indeks harga alat. Indeks harga pada tahun perencanaan yaitu tahun 2023 ditentukan dengan regresi linear terhadap indeks harga tahun sebelumnya, data indeks harga tersebut didapat dari *Chemical Engineering Plant Cost* (CEPCI) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6.1 berikut:

Tabel 6. 1 Indeks Harga Alat

No	Tahun	Index
1	2000	394,1
2	2001	394,3
3	2002	395,6
4	2003	402
5	2004	444,2

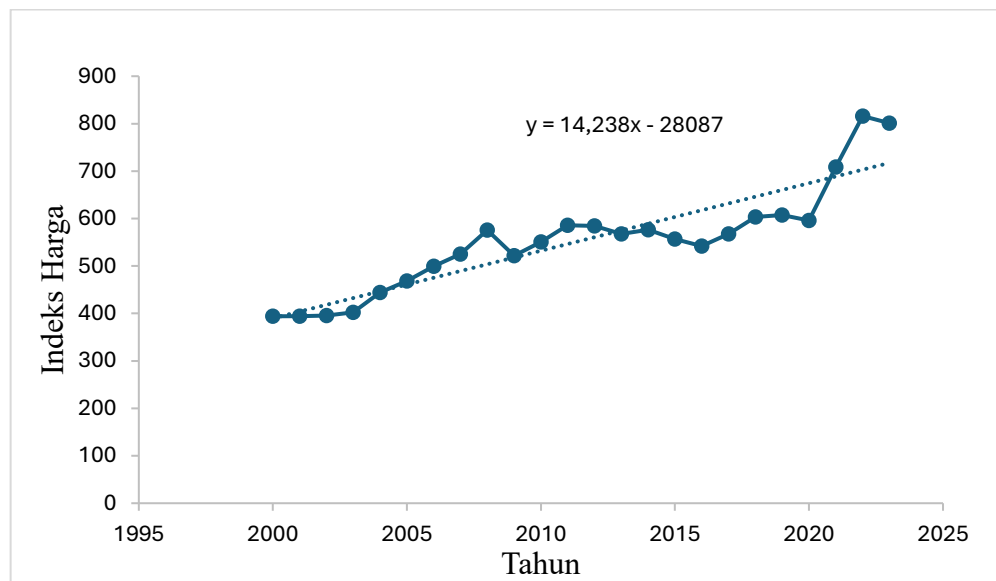
No	Tahun	Index
6	2005	468,2
7	2006	499,6
8	2007	525,4
9	2008	575,4
10	2009	521,9
11	2010	550,8
12	2011	585,7
13	2012	584,6
14	2013	567,3
15	2014	576,1
16	2015	556,8
17	2016	541,7
18	2017	567,5
19	2018	603,1
20	2019	607,5
21	2020	596,2
22	2021	708,8
23	2022	816
24	2023	800,8
25	2024	653,8

No	Tahun	Index
26	2025	668
27	2026	682,2
28	2027	696,4
29	2028	710,6
30	2029	724,8
31	2030	739
32	2031	753,2
33	2032	767,4
34	2033	781,6

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

$$Y = 14,2x - 28087 \quad (6.1)$$

Rencana pendirian pabrik THF dengan kapasitas pabrik 90.000 ton/tahun yaitu pada tahun 2033. Persamaan diatas disubtitusikan nilai x menjadi 2033 maka akan diperoleh maka harga indeks alat sebesar 781,6. Berikut ini merupakan grafik hubungan antara tahun dan indeks harga yang ditunjukkan pada Gambar 6.1



Gambar 6. 1 Grafik Indeks Harga vs Tahun

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

$$E_x = E_y \frac{N_x}{N_y} \quad (6.2)$$

Dimana:

E_x : Harga pembelian pada tahun 2033

E_y : Harga pembelian pada tahun referensi 2014

N_x : Indeks harga pada tahun 2033

N_y : Indeks harga pada tahun referensi 2014

6.2 Dasar Perhitungan

Kapasitas pabrik	= 90.000 ton/tahun
Satu tahun operasi	= 330 hari
Umur pabrik	= 10 tahun
Tahun pendirian pabrik	= 2033
Kurs mata uang	= 1 US \$ = Rp. 16.312 (Juni 2024)
Harga Bahan baku (1,4-butanediol)	= Rp 2.284.712.058.949, -/ tahun
Harga Katalis (<i>Zeolite ZSM-5</i>)	= Rp 1.581.805, -/tahun
Haga Produk	= Rp 6.210.206.820.000, -/tahun

6.3 Perhitungan Biaya

6.3.1 *Capital Investment*

Capital Investment adalah jumlah pengeluaran yang dibutuhkan untuk mendirikan fasilitas-fasilitas pabrik dan pengoperasian pabrik. *Capital Investment* terdiri dari:

a. *Fixed Capital Investment*

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

b. *Working Capital Investment*

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

6.3.2 *Manufacturing Cost*

Manufacturing cost adalah biaya yang diperlukan untuk kegiatan produksi suatu produk. *Manufacturing cost* terdiri dari *direct*, *indirect*, dan *fixed manufacturing cost* yang berkaitan dengan proses pembuatan produknya. Menurut (Newton & Aries, 1955) *manufacturing cost* meliputi:

a. *Direct Cost*

Direct Cost adalah biaya pengeluaran yang berhubungan langsung dengan pembuatan produk seperti *raw material*, *labor cost*, *supervisory expend*, *maintenance cost*, *plant supplies cost*, *royalties adan patents*, dan *cost of utilities*.

b. *Indirect Cost*

Indirect Cost adalah biaya pengeluaran sebagai akibat dab bukan langsung karena operasi suatu pabrik.

c. *Fixed Cost*

Fixed Cost adalah biaya pengeluaran yang bersifat tetap, yang tidak dipengaruhi oleh tingkat produksi dan waktu atau pengeluaran ketika pabrik beroperasi maupun tidak beroperasi.

6.3.3 *General Expense*

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

6.4 Analisa Kelayakan

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

6.4.1 *Return On Investment (ROI)*

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

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

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

6.4.2 *Pay Out Time (POT)*

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

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

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

6.4.3 Break Even Point (BEP)

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

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

Keterangan:

Fa = *Annual fixed manufacturing cost* pada produksi maksimum

Ra = *Annual regulated expenses* pada produksi maksimum

Sa = *Annual sales value* pada produksi maksimum

Va = *Annual variable value* pada produksi maksimum

6.4.4 Shut Down Point (SDP)

Shut down point adalah titik dimana suatu kegiatan produksi dihentikan. Penghentian ini terjadi karena beberapa faktor seperti keputusan manajemen karena kegiatan produksi yang tidak ekonomis, atau akibat dari *variable cost* yang terlalu

tinggi. Dalam setahun, persen kapasitas minimum pabrik bisa mencapai kapasitas produk yang diinginkan. Namun, jika pabrik tersebut dalam setahun tidak bisa mencapai kapasitas minimum yang diinginkan maka operasi pabrik harus dihentikan. Hal tersebut dikarenakan biaya yang akan dikeluarkan untuk melanjutkan proses produksi akan lebih mahal dibandingkan dengan biaya yang digunakan untuk membayar *fixed cost* dan menutup pabrik. Persamaan yang digunakan untuk menghitung SDP adalah sebagai berikut:

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

6.4.5 Discounted Cash Flow Rate of Return (DCFR)

Discounted cash flow rate of return adalah perkiraan keuntungan yang diperoleh setiap tahunnya. Didasarkan atas investasi yang tidak kembali setiap akhir tahun selama umur pabrik. Persamaan yang digunakan untuk menghitung DCFR adalah sebagai berikut:

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

Keterangan:

FC = *Fixed Capital*

WC = *Working Capital*

SV = *Salvage Value*

C = *Cash Flow* (keuntungan setelah pajak + depresi + *finance*)

n = Umur Pabrik

i = Nilai DCFR

6.5 Hasil Perhitungan

Pendirian Pabrik THF memerlukan perencanaan keuangan dan analisis yang baik untuk meninjau apakah pabrik layak untuk didirikan atau tidak

Tabel 6. 2 *Physical Plant Cost*

No	Jenis	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Purchased Equipment cost</i>	Rp379.271.083.287,762Rp433.318.521.680,819	\$23,251,047.283\$26,564,401.771
2	<i>Delivered Equipment Cost</i>	Rp56.890.662.493,164Rp64.997.778.252,123	\$3,487,657.093\$3,984,660.266
3	Instalasi cost	Rp284.453.312.465,821Rp324.988.891.260,614	\$17,438,285.463\$19,923,301.328
4	Pemipaan	Rp466.503.432.443.947Rp532.981.781.667,407	\$28,598,788.159\$32,674,214.178
5	Instrumentasi	Rp136.537.589.983,594Rp155.994.667.805,095	\$8,370,377.022\$9,563,184.637
6	Insulasi	Rp49.305.240.827,409Rp56.331.407.818,506	\$3,002,636.147\$3,453,372.230
7	Listrik	Rp37.927.108.328,776Rp43.331.852.168,082	\$2,325,104.728\$2,656,440.177
8	Bangunan	Rp43.717Rp337.617.060.000,000	\$2,680.055,174\$20,697,465.669
9	<i>Land & Yard Improvement</i>	Rp40.473Rp275.593.648.000,000	\$2,481,219.225\$16,895,147.621
Total		Rp1.495.079.137.830,470	\$91,655,170.294\$136,412,187.877

Tabel 6. 3 *Direct Plant Cost (DPC)*

No	<i>Type of Capital Investment</i>	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Engineering and Constrution</i>	Rp229.015.827.566,095	\$18,331,034.059
2	<i>Physical Plant Cost (PPC)</i>	Rp1.495.079.137.830,470	\$91,655,170.294
Total		Rp1.794.094.965.396,570	\$109,986,204.352

Tabel 6. 4 *Fixed Capital Investment*

No	<i>Fixed Capital</i>	Biaya (Rp)	Biaya, \$
1	<i>Direct Plant Cost</i>	Rp1.495.079.137.830,470	\$109,986,204.352
2	<i>Cotractor's fee</i>	Rp71.763.798.615,863	\$4,399,448.174
3	<i>Contingency</i>	Rp448.523.741.349,142	\$27,496,551.088
Total		Rp2.015.366.677.795,480	\$141,882,203.615

Tabel 6. 5 *Direct Manufacturing Cost (DMC)*

No	<i>Type of Expenses</i>	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Raw Material</i>	Rp3.000.459.654.579,110	\$183,941,862.100
2	<i>Labor</i>	Rp12.288.000.000,000	\$753,310.466
3	<i>Supervision</i>	Rp1.228.800.000,000	\$75,331.045
4	<i>Maintenance</i>	Rp138.862.950.321,694	\$8,512,932.217
5	<i>Plant Supplies</i>	Rp20.829.442.548,254	\$1,276,939.833
6	<i>Royalty and Patents</i>	Rp317.279.170.783,763	\$19,450,660.298
7	<i>Utilities</i>	Rp715.746.013.824,620	\$43,878,495.207

No	<i>Type of Expenses</i>	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
	Total	Rp4.206.694.032.057,440	\$257,889,5310146

Tabel 6. 6 *Indirect Manufacturing Cost*

No	<i>Type of Expenses</i>	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Payroll Overhead</i>	Rp1.843.200.000,000	\$112,996.567
2	<i>Laboratory</i>	Rp1.228.800.000,000	\$75,331.045
3	<i>Plant Overhead</i>	Rp6.144.000.000,000	\$376,665.223
4	<i>Packaging and Shipping</i>	Rp317.279.170.783,763	\$19,450,660.298
	Total	Rp326.495.170.784,763	\$20,015,643,133

Tabel 6. 7 *Fixed Manufacturing Cost*

No	<i>Type of Expenses</i>	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Depreciation</i>	Rp185.150.600.428,926	\$11,350,576.289
2	<i>Property taxes</i>	Rp23.143.825.053,616	\$1,418,822.036
3	<i>Insurance</i>	Rp23.143.825.053,616	\$1,418,822.036
	Total	Rp231.438.250.536,157	\$14.188.220,361

Tabel 6. 8 *Manufacturing Cost*

No	<i>Type of Expenses</i>	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Direct Manufacturing Cost (DMC)</i>	Rp4.206.694.032.057,440	\$257,889,531.146
2	<i>Indirect Manufacturing Cost (IMC)</i>	Rp326.495.170.783,763	\$20,015,643.133
3	<i>Fixed Manufacturing Cost (FMC)</i>	Rp231.438.250.536,157	\$14,188,220.361

No	<i>Type of Expenses</i>	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
	Total	Rp4.764.627.453.377,360	\$292,093,394.641

Tabel 6. 9 *Working Capital*

No	<i>Type of Expenses</i>	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Raw Material Inventory</i>	Rp272.769.059.507,192	\$16,721,987.464
2	<i>Inproses Onventory</i>	Rp216.573.975.153,516	\$13,276,972.484
3	<i>Product Inventory</i>	Rp101.067.855.071,641	\$6,195,920.492
4	<i>Extended Credit</i>	Rp192.290.406.535,614	\$11,788,278.969
5	<i>Available Cash</i>	Rp433.147.950.307,033	\$26,553,944.967
	Total	Rp1.215.849.246.575,000	\$74,537,104.376

Tabel 6. 10 *General Expenses*

No	<i>Type of Expenses</i>	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Administration</i>	Rp238.231.372.668,868	\$14,604,669.732
2	<i>Sales Expense</i>	Rp285.877.647.202,642	\$17,525,603.678
3	<i>Research</i>	Rp238.231.372.668,868	\$14,604,669.732
4	<i>Finance</i>	Rp70.604.635.038,731	\$4,328,386.160
	Total	Rp832.945.027.579,109	\$51,063,329.302

Tabel 6. 11 *Total Production Cost*

No	<i>Type of Expenses</i>	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Manufacturing Cost (MC)</i>	Rp4.764.627.453.377,360	\$292,093,394.641

No	<i>Type of Expenses</i>	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
2	<i>General Expenses (GE)</i>	Rp832.945.027.579,109	\$51,063,329.302
	Total	Rp5.597.572.480.956,470	\$343,156,723.943

Tabel 6. 12 *Fixed Cost*

No	<i>Type of Expenses</i>	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Depretiation</i>	Rp185.150.600.428,926	\$11,350,576.289
2	<i>Property taxes</i>	Rp23.143.825.053,616	\$1,418,822.036
3	<i>Insurance</i>	Rp23.143.825.053,616	\$1,418,822.036
	Total	Rp231.438.250.536,157	\$14.188.220,361

Tabel 6. 13 *Variabel Cost*

No	<i>Type of Expenses</i>	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Raw Material</i>	Rp3.000.459.654.579,110	\$183,941,862.100
2	<i>Packaging & shipping</i>	Rp317.279.170.783,763	\$19,450,660.298
3	<i>Utility</i>	Rp715.746.013.824,620	\$43,878,495.207
4	<i>Royalty and patens</i>	Rp317.279.170.783,763	\$19,450,660.298
	Total	Rp4.350.764.009.971,260	\$266,721,677.904

Tabel 6. 14 *Regulated Cost*

No	<i>Type of Expenses</i>	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	Gaji karyawan	Rp12.288.000.000,000	\$753,310.446
2	<i>Payroll overhead</i>	Rp1.843.200.000,000	\$112,996.567
3	<i>Supervision</i>	Rp1.228.800.000,000	\$75,331.045

No	<i>Type of Expenses</i>	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
4	<i>Plant overhead</i>	Rp6.144.000.000,000	\$376,655.223
5	<i>Laboratory</i>	Rp1.228.800.000,000	\$75,331.045
6	<i>General expense</i>	Rp832.945.027.579,109	\$51,063,329.302
7	<i>Maintenance</i>	Rp138.862.950.321,694	\$8,512,932.217
8	<i>Plant supplies</i>	Rp20.829.442.548,254	\$1,276,939,833
	Total	Rp1.015.370.220.449,060	\$62,246,825.677

6.6 Analisa Hasil Keuntungan

Total penjualan = Rp6.345.583.415.675,270

Total produksi = Rp5.597.572.480.956,470

Keuntungan sebelum pajak = Rp748.010.934.718,798

Pajak pendapatan = Rp224.403.280.415,639

Keuntungan setelah pajak = Rp523.607.654.303,159

6.7 Hasil Kelayakan Ekonomi

6.7.1 Return on Investment (ROI)

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

ROI sebelum pajak = 37,115%

ROI setelah pajak = 25,981%

6.7.2 Pay Out Time (POT)

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

POT sebelum pajak = 2,160 tahun

POT setelah pajak = 2,844 tahun

6.7.3 Break Even Point (BEP)

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

BEP = 42 %

6.7.4 Shut Down Point (SDP)

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

SDP = 23,7%

6.7.5 Discounted Cash Flow Rate of Return (DCFR)

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

Umur pabrik = 10 tahun

Fixed Capital Investment (FCI) = Rp2.015.366.677.795,480

Working Capital (WC) = Rp1.215.849.246.575

Salvage Value (SV) = Rp185.150.600.428,926

Cash Flow (C) = Rp779.362.889.770,816

DCFR = 24,038%

6.7.7 Analisis Risiko Pabrik

Analisis risiko pabrik dilakukan untuk mengetahui apakah pabrik berisiko rendah atau tinggi. Adapun parameter analisa sebagai berikut:

Tabel 6. 16 Analisis Resiko Pabrik

Kriteria	<i>Low</i>	<i>High</i>
Kondisi Operasi T = 30°C - 150°C P = 1 atm – 20 atm	✓	
Kebahayaan bahan baku	✓	
Kebahayaan bahan produk	✓	
Ketersediaan bahan baku	✓	

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan Pabrik THF dari 1,4-*butanediol* dengan kapasitas 90.000 ton/tahun, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- a. Pendirian Pabrik THF dengan kapasitas 90.000 ton/tahun bertujuan untuk memenuhi kebutuhan THF dalam negeri serta membuka lapangan pekerjaan dan meningkatkan pertumbuhan ekonomi.
- b. Pabrik THF didirikan di daerah Gresik, Jawa Timur dengan luas tanah keseluruhan 68.898,412 m² dan jumlah karyawan 168 orang.
- c. Berdasarkan kondisi operasi dan spesifikasi bahan baku maupun produk, pabrik termasuk dalam golongan risiko rendah.
- d. Dari segi evaluasi ekonomi serta analisis kelayakan, pabrik ini layak untuk didirikan dengan beberapa parameter kelayakan sebagai berikut:

1. *Return On Investment* (ROI)

- a) ROI sebelum pajak = 37,115%
- b) ROI setelah pajak = 25,981%

2. *Pay Out Time* (POT)

- a) POT sebelum pajak = 2,160 tahun
- b) POT setelah pajak = 2,844 tahun

Syarat POT maksimum sebelum pajak untuk pabrik dengan resiko rendah adalah 5 tahun.

3. *Break Event Point* (BEP) = 41,75%

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

4. *Shut Down Point* (SDP) = 23,7%

5. *Discounted Cash Flow Rate* (DCFR) = 24,038%

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

Dengan pertimbangan hasil diatas, maka pabrik THF dari 1,4-*butanediol* menggunakan proses dehidrasi dengan kapasitas 90.000 ton/tahun layak dari aspek teknis dan menarik untuk dikaji lebih lanjut.

- e. Hasil dari keseluruhan tinjauan yang dilakukan mulai dari tersedianya bahan baku, kondisi operasi proses dan hasil evaluasi ekonomi dapat disimpulkan bahwa Pabrik THF dengan kapasitas 90.000 ton/tahun layak untuk didirikan.

7.2 Saran

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

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

DAFTAR PUSTAKA

- Aghaziarati, M., Kazemeini, M., Soltanieh, M., & Sahebdehfar, S. (2007). Evaluation of Zeolites in Production of *Tetrahydrofuran* from 1,4-*Butanediol*: Performance Tests and Kinetic Investigations. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 46(3), 726–733. <https://doi.org/10.1021/ie061062m>
- BASF. (2007). *Safety Data Sheet 1,4-Butanediol*.
- BASF. (2013). *Kebutuhan Tetrahydrofuran*.
- BASF. (2015). *Technical Information Tetrahydrofuran*.
- BPS Kabupaten Probolinggo. (2023). *UMR Kab. Gresik*.
- Brown, G. G. (1950). Unit Operations. In *McGraw Hill Handbook*. McGraw Hill Company.
- Brownell, L. W., & Young, E. H. (1959). *Process Equipment Design*.
- Chemanalyst. (n.d.). *Tetrahydrofuran market analysis. 2020*.
- Fogler, S. (1959). *Elements Of Chemical Reaction Engineering* (5th ed., Vol. 5). Prentice-Hall.
- Geankoplis, C. J. (1993). *Transport Processes and Unit Operations* (Vol. 3). Allyn and Bacon Inc.
- Kern, D. Q. (1950). *Process Heat Transfer*. Mc Graw-Hill International Handbook Company.
- Kirk, O. (1996). *Encyclopedia of Chemical Technology*. The Interscience Encyclopedia Inc.

- Newton, R. D., & Aries, R. S. (1955). *Chemical Engineering Cost Estimation*.
McGraw-Hill Book Company.
- Peters, & Timmerhaus. (2004). *Plant Design and Economic for Chemical Engineers* (Vol. 4). McGraw-Hill Book Co. Tokyo.
- Rase, H. F. (1997). *Chemical Reactor Design For Process Plants* (Volume 2).
A Willey-Interscience Publication.
- SIMPK. (2020). *Data Produksi Cat*.
- Timmerhaus, K. D., & Peters, M. S. (1991). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*.
- Van Ness, H. C., Smith, J. M., Abbott, M. M., & Swihart, M. T. (1997).
Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics (3rd ed.). Mc
Graw Hill Education.
- Walas, S. (1990). *Chemical Process Equipment Selection and Design*.
Butterworth-Heinemann Series in Chemical Engineering.
- Yaws, C. L. (1999). *Chemical Properties Handbook*. Mc Graw Hill Handbook.

LAMPIRAN A

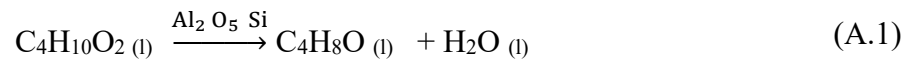
PERANCANGAN REAKTOR

PERANCANGAN REAKTOR

Jenis	: Reaktor Alir Tangki Berpengaduk
Fungsi	: Mereaksikan $C_4H_{10}O_2$ dengan katalis <i>zeolites ZSM-5</i> untuk menghasilkan C_4H_8O dan H_2O
Kondisi Operasi	:
Suhu	: 150 °C
Tekanan	: 20 atm
Reaksi	: <i>Endotermis & Ireversible</i>
Konversi	: 93,8 %
Tujuan	: 1. Menghitung neraca massa 2. Menghitung neraca panas 3. Optimasi reaktor 4. Perancangan reaktor
Alasan Penggunaan	: 1. Reaksi berjalan pada fase cair-cair 2. Konstruksi sederhana 3. Harga alat relatif lebih murah 4. Perawatan dan pembersihan alat lebih mudah

A. Mencari Harga Konstanta Kecepatan Reaksi

Reaksi pembentukan THF (C_4H_8O) merupakan reaksi dehidrasi dengan bahan baku 1,4-*butanediol* ($C_4H_{10}O_2$) sesuai dengan persamaan berikut ini :



Proses ini dilakukan dengan bantuan katalis *zeolite ZSM-5* dengan tujuan untuk mempercepat proses reaksi. Dalam skala industri katalis ini merupakan katalis yang umum dan mudah didapatkan. Reaksi dehidrasi dalam pembentukan THF (C_4H_8O) adalah reaksi orde dua. Produk yang dihasilkan terdiri dari THF, air yang tidak bereaksi, dan 1,4-*butanediol*. Berdasarkan hasil eksperimen diperoleh nilai k sebesar:

Tabel A. 1 Nilai Konstanta Reaksi dan Konversi

Temperatur (K)	$k \left(\frac{L}{g_{cat}} \cdot \frac{1}{s} \right)$	$K_{BDO} \left(\frac{L}{mol} \right)$	Konversi (%)
423	$2,67 \times 10^{-6}$	2,47	93,8
453	$3,74 \times 10^{-4}$	1,51	80,6
473	$6,33 \times 10^{-4}$	0,90	87,9

Berdasarkan tabel diatas nilai k yang digunakan sebesar $2,67 \times 10^{-6} \frac{L}{g_{cat}} \cdot s$.

$$K = 2,67 \times 10^{-6} \frac{L}{g_{cat}} \cdot s$$

$$K = \left(2,67 \times 10^{-6} \frac{L}{g_{cat}} \cdot \frac{1}{s} \right) \times \left(162,04 \frac{g_{cat}}{mol} \cdot \frac{1}{s} \right)$$

$$k = \left(4,327 \times 10^{-4} \frac{L}{mol \cdot s} \right) \times \left(1.000 \frac{mol}{kmol} \right) \times \left(3.600 \frac{s}{jam} \right)$$

$$\begin{aligned}
 k &= \left(1,558 \times 10^3 \frac{\text{L}}{\text{kmol} \cdot \text{jam}}\right) \\
 k &= \left(\left(1,558 \times 10^3 \frac{\text{L}}{\text{kmol} \cdot \text{jam}}\right)\right) \times \left(\frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}}\right) \\
 k &= 1,558 \frac{\text{m}^3}{\text{kmol} \cdot \text{jam}}
 \end{aligned}$$

Menentukan Nilai Laju Reaksi

Dalam penentuan laju reaksi digunakan persamaan *Langmuir Isotherm* dengan asumsi kecepatan adsorpsi dan desorpsi setimbang ($-r_{Ad} \sim 0$)

$$\text{Laju adsorpsi} = -r_{Ad} = k_{Ads} \cdot C_A (1 - \theta_A)$$

Keterangan =

1. k_{Ads} = konstanta laju adsorpsi
2. k_{des} = konstanta laju desorpsi
3. C_A = konsentrasi adsorbat
4. θ_A = fraksi permukaan tertutup oleh adsorbat

Maka,

$$\begin{aligned}
 -r_{Ad} &= -r_{Des} &= -k_{des} \\
 k_{Ads} \cdot C_A (1 - \theta_A) &= k_{Des} \cdot \theta_A \\
 k_{Ads} \cdot C_A - k_{Ads} \cdot C_A \theta_A &= k_{Des} \cdot \theta_A \\
 k_{Ads} \cdot C_A &= k_{Ads} \cdot C_A \theta_A + k_{Des} \cdot \theta_A \\
 k_{Ads} \cdot C_A &= \theta_A (k_{Ads} \cdot C_A + k_{Des})
 \end{aligned}$$

Jika, $K_A = \frac{k_{Ads.}}{k_{Des}}$, maka:

$$\phi_A = \frac{(K_A \cdot k_{Des}) C_A}{(K_A \cdot k_{Des}) C_A + k_{Des}} \times \left(\frac{1}{\frac{1}{k_{Des}}} \right)$$

$$\phi_A = \frac{K_A C_A}{K_A C_A + 1}$$

Sehingga,

$$-r_{Ad} = k' \times \phi_A$$

$$-r_{Ad} = k' \times \frac{K_A C_A}{K_A C_A + 1}$$

Jika $k = k' \cdot K_A$, maka:

$$-r_{Ad} = k' \times \frac{K_A C_A}{K_A C_A + 1}$$

$$-r_{Ad} = \frac{k C_A}{K_A C_A + 1}$$

Berdasarkan persamaan Langmuir, didapatkan persamaan laju reaksi sebagai berikut:

$$-r_{BDO} = \frac{k C_{BDO}}{1 + K_{BDO} C_{BDO}} \quad (A.1)$$

$$-r_{BDO} = \frac{1,558 \frac{\text{m}^3}{\text{kmol} \cdot \text{jam}} \times 4,916 \frac{\text{kmol}}{\text{m}^3}}{1 + 2,47 \frac{\text{m}^3}{\text{kmol}} \times 4,916 \frac{\text{kmol}}{\text{m}^3}}$$

$$-r_{\text{BDO}} = \frac{1,558 \frac{1}{\text{kmol.m}^3} \times 4,916 \frac{\text{kmol}}{\text{jam}} \text{m}^3}{\left(1 \frac{\text{kmol.m}^3}{\text{m}^3.\text{kmol}} + 2,47 \frac{\text{m}^3}{\text{kmol}} \times 4,916 \frac{\text{kmol}}{\text{m}^3}\right)}$$

$$-r_{\text{BDO}} = \frac{1,558 \frac{1}{\text{kmol.m}^3} \times 4,916 \frac{\text{kmol}}{\text{jam}} \text{m}^3}{(1 + 2,47 \times 4,916) \frac{\text{kmol.m}^3}{\text{m}^3.\text{kmol}}} \times 1 \text{ kmol.m}^3$$

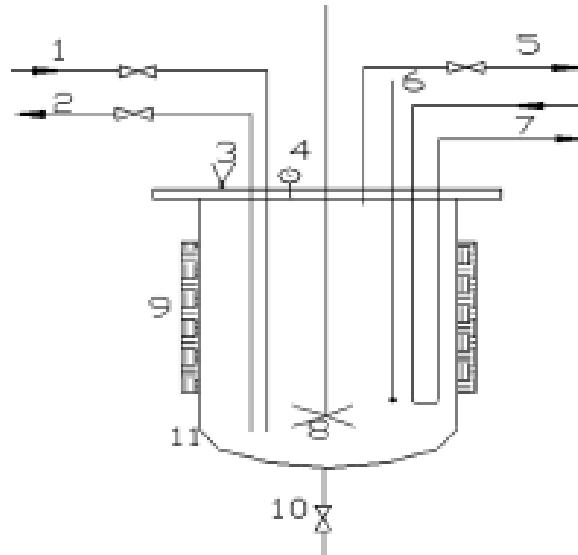
$$-r_{\text{BDO}} = 0,5828 \frac{\text{kmol}}{\text{jam}} \text{m}^3 \approx -r_a$$

Tabel A. 2 Data Spesifikasi Reaksi

Parameter	Range
Temperatur	423– 498 K
Tekanan	15- 25 bar
Kecepatan Pengadukan	300- 1100 rpm
Waktu Reaksi	3 h

(Aghaziarati et al., 2007)

A. Mechanical Design



Gambar A. 1 *Design Reaktor*

1. Model Matematis Perancangan Reaktor

1. Reaksi orde 2
2. Reaksi *irreversible*
3. *Isothermal*
4. Pengadukan sempurna sehingga konsentrasi keluar reaktor sama dengan konsentrasi di dalam reaktor
5. Kecepatan alir volumentrik (F_v) masuk reaktor sama dengan kecepatan alir volumentrik keluar reaktor
6. *Steady state*

2. Neraca Massa Reaktor

Massa masuk – Massa keluar \pm Massa gen = Massa akumulasi

$$F_{A0} - F_A - (-r_a) \times V = 0$$

$$F_{A0} - F_A = (-r_a)V$$

$$V = \frac{F_{V0}(C_{A0} - C_A)}{(-r_a)}$$

Reaksi elementer orde 2:

$$V = \frac{F_{V0}(C_{A0} - C_A)}{(-r_a)}$$

Stokiometri reaksi: $C_A = C_{A0}(1 - x_A)$

$$V = \frac{Fv (C_{A0} - C_{A0}(1 - x_A))}{(-r_a)}$$

$$V = \frac{Fv (C_{A0}x_A)}{(-r_a)}$$

$$V = \frac{Fv (C_{A0}x_A)}{(-r_a)} \quad (\text{A.2})$$

Diketahui:

$$Fv = 34,23 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}}$$

$$x_A = 0,938$$

$$-r_a = 0,5829 \frac{\text{kmol}}{\text{jam}}$$

Sehingga diperoleh:

$$V = \frac{34,23 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 4,929 \frac{\text{kmol}}{\text{m}^3} \times 0,938}{\left(0,5828 \frac{\text{kmol}}{\text{jam}} \text{m}^3\right)}$$

$$V = 271,5 \text{ m}^3$$

3. Optimasi Reaktor

Reaktor yang digunakan pada proses ini disusun secara paralel dengan asumsi berikut ini:

1. Konversi masing - masing reaktor sama

$$x_i = x_j = x_k = x_n \quad (\text{A.3})$$

2. Laju alir volumetrik sama

$$F_T = F_{A_i} + F_{A_j} + F_{A_n} = 3F_{A_n}$$

$$F_T = nF_n$$

$$F_{T_0} = nF_{A_0 n} \quad (\text{A.4})$$

3. Volume yang digunakan sama

$$V_T = V_{A_i} + V_{A_j} + V_{A_n} = 3V_{A_n}$$

$$V = nV_n$$

$$V_T = nV_n \quad (\text{A.5})$$

4. Konstanta k sama

$$k_i = k_j = k_k = k_n \quad (\text{A.6})$$

Diketahui:

$$V = 271,5 \text{ m}^3$$

$$F_T = 34,23 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}}$$

$$X = 0,938$$

$$K = 1,558 \frac{\text{m}^3}{\text{kmol.jam}}$$

a. Menggunakan 1 Reaktor

$$V = 271,5 \text{ m}^3$$

$$F_T = 34,23 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}}$$

$$X = 0,938$$

$$K = 1,558 \frac{\text{m}^3}{\text{kmol.jam}}$$

b. Menggunakan 2 Reaktor

$$V = 2V_2$$

$$V = \frac{271,5 \text{ m}^3}{2}$$

$$V = 135,75 \text{ m}^3$$

$$F_T = \frac{34,23 \text{ m}^3}{2 \text{ jam}}$$

$$F_T = 17,11 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}}$$

$$X = 0,938$$

$$K = 1,558 \frac{\text{m}^3}{\text{kmol.jam}}$$

c. Menggunakan 3 Reaktor

$$V = 3V_2$$

$$V = \frac{271,5 \text{ m}^3}{3}$$

$$V = 90,50 \text{ m}^3$$

$$F_T = \frac{34,23}{3} \frac{\text{m}^3}{\text{jam}}$$

$$F_T = 11,41 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}}$$

$$X = 0,938$$

$$K = 1,558 \frac{\text{m}^3}{\text{kmol.jam}}$$

d. Menggunakan 4 Reaktor

$$V = 4V_2$$

$$V = \frac{271,5 \text{ m}^3}{4}$$

$$V = 67,87 \text{ m}^3$$

$$F_T = \frac{34,23}{4} \frac{\text{m}^3}{\text{jam}}$$

$$F_T = 8,55 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}}$$

$$X = 0,938$$

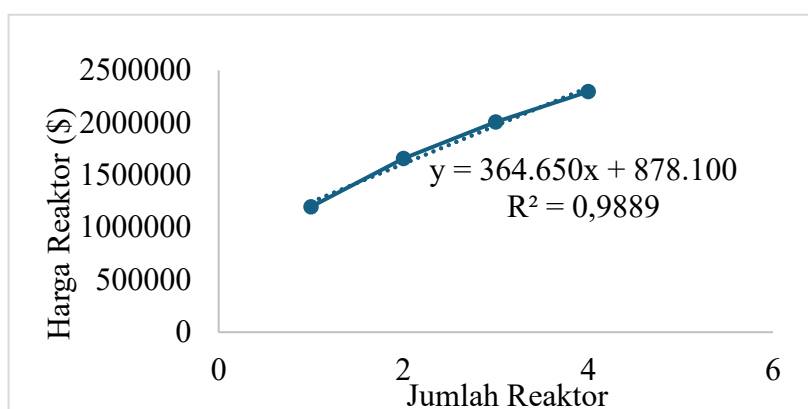
$$K = 1,558 \frac{\text{m}^3}{\text{kmol.jam}}$$

Tabel A. 3 Data Optimasi Volume Masing-Masing Reaktor

N	V ₁ (Gallon)	V ₂ (Gallon)	V ₃ (Gallon)	V ₄ (Gallon)
1	71.722,75			
2	35.861,38	35.861,38		
3	23.907,58	23.907,58	23.907,58	
4	17.929,37	17.929,37	17.929,37	17.929,37

Tabel A. 4 Harga Masing-Masing Reaktor

N	V (Gallon)	Harga (\$)	Harga Total (\$)
1	71.722,75	1,197,300	1,197,300
2	35.861,38	829,200	1,658,400
3	23.907,58	668,800	2,006,400
4	17.929,37	574,200	2,296,800



Gambar A. 2 Hubungan Harga Reaktor dengan Jumlah Reaktor

Berdasarkan hasil optimasi yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan linear antara jumlah reaktor dan harga reaktor. Namun, hasil optimasi tersebut tidak memengaruhi laju reaksi dan konversi. Selain itu, perbandingan menunjukkan bahwa satu reaktor memiliki biaya lebih rendah daripada empat reaktor. Namun, pemilihan jumlah reaktor perlu dipertimbangkan dengan cermat, mengingat spesifikasi perangkat dan aturan keselamatan yang berkaitan dengan ukuran. Menurut *Brownell*, ukuran reaktor 1 melebihi batas tertentu. keamanan standar reaktor sehingga dapat dikatakan bahwa jumlah reaktor yang tepat yaitu 4 reaktor.

5. Mechanical Design

1. Menghitung Densitas dan Laju Alir Volumetrik

$$\text{Suhu} = 150^{\circ}\text{C}$$

$$= 423,15 \text{ K}$$

$$\rho = A \cdot B^{-\left(1 - \frac{T}{T_c}\right)} \quad (\text{A.7})$$

Tabel A. 5 Data Densitas Fase Cair

Komponen	A	B	n	Tc	ρ reaktor $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$
C ₄ H ₁₀ O ₂	0,31558	0,25131	0,2857	667	889,4
C ₄ H ₈ O	0,32205	0,28084	0,2912	540,15	830,7
H ₂ O	0,3471	0,274	0,28571	647,13	916,8
Al ₂ O ₅ Si	0,33537	0,1	0,28571	4076,87	59.186,7
Total					61.823,7

Data density of Liquid (Yaws, 1999)

Tabel A. 6 Data Densitas Campuran

Komponen	Kg/jam	Kmol/jam	ρ $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$	Fraksi massa	ρ campuran $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$
C ₄ H ₁₀ O ₂	3.875,86	42,065	889,4	0,989	879,784
C ₄ H ₈ O	0,000	0,000	830,7	0,000	0,000
H ₂ O	38,24	2,125	916,8	0,010	9,160
Al ₂ O ₅ Si	3,35	0.021	59.186,7	0,001	51,803
Total	3.827,45	44,210	61.823,7	1,000	940,748

Tabel A. 7 Data Laju Alir Volumetrik

Komponen	Kg/jam	Kmol/jam	ρ reaktor $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$	Fv $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{jam}}\right)$
C ₄ H ₁₀ O ₂	3.875,86	42,065	889,4	4,303
C ₄ H ₈ O	0,000	0,000	830,7	0,000
H ₂ O	38,24	2,125	916,8	4,174
Al ₂ O ₅ Si	3,35	0.021	59186,7	0,065
Total	3.827,45	44,210	61.823,7	8,542

2. Menentukan Dimensi Reaktor

Perancangan reaktor ini menggunakan *overdesign* 20% sehingga volume *shell* pada reaktor menjadi:

$$V = 67,87 \text{ m}^3$$

$$\text{Overdesign} = 20\% \quad (\text{Timmerhaus \& Peters, 1991})$$

$$V_{\text{Shell}} = \text{Overdesign} \times V$$

$$= 120\% \times 67,87 \text{ m}^3$$

$$= 81,44 \text{ m}^3$$

Untuk P operasi 20 atm dipilih bentuk *elliptical head* Perbandingan reaktor yang optimum digunakan ialah 1 : 1 (H: D) (Brownell & Young, 1959)

$$V_{\text{dish elliptical}} = 0.000076 \times D_{\text{shell}}^3 \quad (\text{A.8})$$

$$V_{\text{Shell}} = 2 \times V_{\text{dish elliptical}} + V_{\text{Shell}}$$

$$V_{Shell} = 2 \times (0.000076 \times D_{shell}^3) + \frac{\pi D_{shell}^2 H}{4}$$

Dengan $H = D$, substitusi ke persamaan:

$$V_{Shell} = 2 \times (0.000076 \times D_{shell}^3) + \frac{\pi D_{shell}^2 \times D_{shell}}{4}$$

$$V_{Shell} = 2 \times (0.000076 \times D_{shell}^3) + \frac{3,14 D_{shell}^3}{4}$$

$$V_{Shell} = 0,7851 \times D_{shell}^3$$

$$81,44 \text{ m}^3 = 0,7851 \times D_{shell}^3$$

$$D_{shell} = 4,699 \text{ m}$$

$$H = 4,699 \text{ m}$$

$$H_{\text{Fraksi ruang kosong}} = \frac{1}{5} \times H \quad (\text{A.9})$$

$$H_{\text{Fraksi ruang kosong}} = \frac{1}{5} \times 4,699 \text{ m}$$

$$H_{\text{Fraksi ruang kosong}} = 0,940 \text{ m}$$

$$V_{Head} = 2 \times (V_{dished} + V_{sf}) \quad (\text{A.10})$$

$$V_{Head} = 2 \times \left(0.000076 \times D_{shell}^3 + \frac{\pi D_{shell}^2 \times sf}{4 \times 144} \right)$$

$$2 \times (0.000076 \times (5,172 \text{ m})^3)$$

$$V_{Head} = \frac{3,14 \times (4,699 \text{ m})^2 \times 2 \text{ in} \times \frac{0,025 \text{ m}}{1 \text{ in}}}{4 \times 144}$$

$$V_{Head} = 0,028 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{Reaktor}} = V_{\text{Head}} + V_{\text{Shell}} \quad (\text{A.11})$$

$$V_{\text{Reaktor}} = 0,028 \text{ m}^3 + 81,47 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{Reaktor}} = 81,472 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{Bottom}} = 0,5 \times V_{\text{Head}} \quad (\text{A.12})$$

$$V_{\text{Bottom}} = 0,5 \times 0,028 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{Bottom}} = 0,0140 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{Cairan}} = V_{\text{Shell}} - V_{\text{Bottom}} \quad (\text{A.13})$$

$$V_{\text{Cairan}} = 81,472 \text{ m}^3 - 0,0140 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{Cairan}} = 81,43 \text{ m}^3$$

$$h_{\text{Cairan}} = \frac{4V}{\pi D^2} \quad (\text{A.14})$$

$$h_{\text{Cairan}} = \frac{4 \times 81,43 \text{ m}^3}{3,14 \times (4,699 \text{ m})^2}$$

$$h_{\text{Cairan}} = 4,699 \text{ m}$$

3. Menghitung Tekanan Desain

Tekanan operasi yang digunakan dalam perancangan reaktor sebesar 20 atm atau 294 psi dengan tekanan desain sebesar 10% dari tekanan total (Walas, 1990)

$$P_{\text{Total}} = P_{\text{Hidrostatik}} + P_{\text{Operasi}} \quad (\text{A.15})$$

$$\begin{aligned}
P_{\text{Hidrostatik}} &= \frac{\rho \cdot h_{\text{Liquid}} \cdot g}{c} \\
P_{\text{Hidrostatik}} &= \frac{95,299 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} \times 15,42 \text{ ft} \times 32,15 \frac{\text{ft}}{\text{s}^2}}{32,152 \frac{\text{ft}}{\text{s}^2}} \\
P_{\text{Hidrostatik}} &= 1.469,108 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2} \\
P_{\text{Hidrostatik}} &= 10,196 \text{ psi} \\
P_{\text{Hidrostatik}} &= P_{\text{Hidrostatik}} + P_{\text{Operasi}} \\
P_{\text{Hidrostatik}} &= 10,196 \text{ psi} + 294 \text{ psi} \\
P_{\text{Hidrostatik}} &= 304,2 \text{ psi} \\
P_{\text{Desain}} &= 110\% \times P_{\text{Total}} \\
P_{\text{Desain}} &= 110\% \times 304,2 \text{ psi} \\
P_{\text{Desain}} &= 334,6 \text{ psi}
\end{aligned}$$

Dengan mempertimbangkan kondisi tekanan, suhu, dan sifat komponen yang disebutkan di atas, bahan konstruksi yang dipilih untuk reaktor adalah *stainless steel SA-316*. Pada suhu 150°C dan tekanan 20 atm, *stainless steel SA-316* tidak akan mengalami degradasi kekuatan yang signifikan. Terkait kompatibilitas dengan katalis, bahan tersebut tidak akan berinteraksi dengan *Zeolite ZSM-5*. Selain itu, *stainless steel SA-316* juga memiliki ketahanan korosi yang baik terhadap 1,4-*butanediol* dan THF.

4. Menentukan Tebal *Shell*

$$t_s = \frac{P \cdot r_i}{f \cdot E - 0,6 \cdot P} + C \quad (\text{A.16})$$

(Brownell & Young, 1959)

Keterangan:

T_s	=	Tebal <i>shell</i> (in)
P	=	Tekanan dalam tangki (psia)
f	=	<i>Allowable stress</i> (18750 psi)
R_i	=	Jari – jari dalam <i>storage</i> (in)
E	=	Efisiensi pengelasan (80%, <i>double welded butt joint</i>)
C	=	Faktor korosi (0,125 in)

(Brownell & Young, 1959)

(Tabel 6 Timmerhaus & Peters, 1991)

Diperoleh tebal *shell*:

$$T_s = \frac{P \cdot r_i}{f \cdot E - 0,6 \cdot P} + C$$

$$T_s = \frac{334,6 \text{ psi} \times 92,503 \text{ in}}{18750 \text{ psi} \times 0,80 - 0,6 \times 334,6 \text{ psi}} + 0,125 \text{ in}$$

$$t_s = 2,216 \text{ in}$$

$$t_{s\text{standar}} = 2,25 \text{ in}$$

(Brownell & Young, 1959)

Berdasarkan tabel 5.7 Brownell and Young digunakan ketebalan *shell* standar sebesar 2,25 in.

$$\begin{aligned} ID_{Shell} &= 185,006 \text{ in} \\ OD_{Shell} &= ID+2 \text{ ts} \\ OD_{Shell} &= 185,006 \text{ in}+2\times 2,25 \text{ in} \\ OD_{Shell} &= 189,439 \text{ in} \end{aligned}$$

Berdasarkan tabel 5.7 Brownell and Young ukuran standar yang digunakan sebagai berikut:

$$OD = 216 \text{ in}$$

(Brownell & Young, 1959)

$$ID = OD-2 \text{ ts}$$

$$ID = 216 \text{ in}-2\times 2,25 \text{ in}$$

$$ID = 211,50 \text{ in}$$

$$ts_{standar} = 2,25 \text{ in}$$

$$icr = 13 \text{ in}$$

$$r = 170 \text{ in}$$

$$E = 80\%$$

$$C = 0,1250$$

$$f = 18750 \text{ psi}$$

5. Menghitung Dimensi *Head*

Pertimbangan yang dilakukan dalam pemilihan jenis *head* meliputi:

a. *Flanged & Standar Dished Head*

Digunakan untuk vesel proses vertikal bertekanan rendah, terutama digunakan untuk tangki penyimpanan horizontal, serta untuk menyimpan fluida yang volatil. (Brownell & Young, 1959)

b. *Torispherical Flanged & Dished Head*

Digunakan untuk tangki dengan tekanan dalam rentang 15 psig (1,0020689 atm) sampai 200 psig (13,60919 atm). (Brownell & Young, 1959)

c. *Eliptical Dished Head*

Digunakan untuk tangki dengan tekanan tinggi dalam rentang 100 psig dan tekanan diatas 200 psig. (Brownell & Young, 1959)

d. *Hemispherical Head*

Digunakan untuk tekanan operasi yang sangat tinggi dan kuat dan ukuran yang tersedia sangat terbatas.

Berdasarkan pertimbangan-pertimbangan diatas dan kondisi operasi maka bentuk *head* yang cocok yaitu *Eliptical Dished Head*. Meskipun biayanya cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan beberapa alternatif seperti *Flanged & Standard Dished Head* dan *Torispherical Flanged & Dished Head*, *Eliptical Dished Head* tetap merupakan opsi yang lebih ekonomis.

5.1 Menentukan dimensi tutup atas dan bawah

5.1.2 Ketebalan *eliptical dished head*

$$t_h = \frac{P_r \cdot W}{2 \cdot f \cdot E \cdot 0,2 \cdot P} + C \quad (A.17)$$

(Pers. 7.77 Brownell & Young, 1959)

$$W = \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{r}{icr}} \right) \quad (\text{A.18})$$

(Pers. 7.76 Brownell & Young, 1959)

Keterangan:

th	=	Tebal <i>head</i> (in)
W	=	Faktor Intensifikasi <i>stress</i>
P	=	Tekanan dalam tangki (psia)
f	=	<i>Allowable stress</i> (18750 psi)
ri	=	Jari – jari dalam <i>storage</i> (in)
E	=	Efisiensi pengelasan (80%, <i>double welded butt joint</i>) (Tabel 13.2 Brownell & Young, 1959)
C	=	Faktor korosi (0,125 in) (Tabel 6 Timmerhaus, 1991:542)

Untuk OD = 192 in (Tabel 5.7 Brownell & Young, 1959)

icr	=	11,500 in (Brownell & Young, 1959)
r	=	180 in
E	=	80%
C	=	0,1250 in

$$f = 18750 \text{ psi}$$

$$W = \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{r}{icr}} \right) \quad (\text{A.19})$$

(Pers. 7.76 Brownell & Young, 1959)

$$W = \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{170 \text{ in}}{13 \text{ in}}} \right)$$

$$W = 1,65$$

$$Th = \frac{P_r \cdot W}{2 \cdot f \cdot E - 0,2 \cdot P} + C \quad (\text{A.20})$$

(Pers. 7.77 Brownell & Young, 1959)

$$th = \frac{334,6 \text{ psi} \times 92,503 \text{ in} \times 1,65}{2 \times 18750 \text{ psi} \times 0,80 - 0,2 \times 334,6 \text{ psi}} + 0,125 \text{ in}$$

$$Th = 1,835 \text{ in}$$

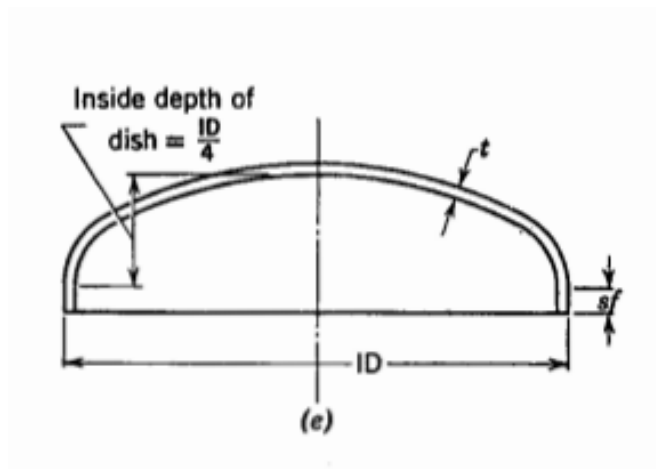
Maka digunakan tebal *head* standar sebesar 1,875 in.

Tebal *head* = tebal *bottom* = 1,875 in.

Untuk $th=1,875 \text{ in}$, maka nilai $sf = 2,812 - 4,5 \text{ in}$

(Tabel 5.11 Brownell & Young, 1959)

5.1.3 Menentukan Tinggi *Head*

Gambar A.3 *Elliptical dished head*

$$\text{Tinggi head} = 2th + b + sf \quad (\text{A.21})$$

(Fogler, 1959)

$$sf = 4,5 \text{ in}$$

$$b = \frac{ID}{4}$$

$$b = \frac{216 \text{ in}}{4}$$

$$b = 54 \text{ in}$$

Maka, Tinggi *head* :

$$\text{Tinggi head} = 1,875 \text{ in} + 54 \text{ in} + 4,5 \text{ in}$$

$$\text{Tinggi head} = 60,375 \text{ in}$$

$$\text{Tinggi head} = 1,533 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi head} = \text{tinggi bottom} = 1,533 \text{ m}$$

5.1.4 Menentukan Tinggi Reaktor

$$\text{Tinggi total} = H_{shell} + H_{Head} + H_{Bottom} + H_{\text{Fraksi ruang kosong}}$$

$$\text{Tinggi total} = 4,699 \text{ m} + 1,533 \text{ m} + 1,533 \text{ m} + 0,939 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi total} = 8,705 \text{ m}$$

6. Menentukan Desain Sistem Pengaduk

6.1 Dimensi Pengaduk

Digunakan jenis pengaduk *six pitched blade turbine*. Karena dapat digunakan untuk campuran berviskositas $< 10.0000 \text{ cp}$ (Geankoplis, 1993) dan cocok digunakan untuk suspensi solid (Walas, 1990) Berikut penjabaran terkait geometri desain pengaduk:

$$\frac{D_t}{D_i} = 3 \quad (\text{A.22})$$

$$\frac{Z_i}{D_i} = 0,75 - 1,3 \quad (\text{A.23})$$

(Brown, 1950)

$$\frac{w}{D_i} = 0,17 \quad (\text{A.24})$$

(Brown, 1950)

$$\frac{L}{D_i} = 0,25 \quad (\text{A.25})$$

(Brown, 1950)

$$\text{Offsite 1} = 0,5 \times D_i \quad (\text{A.26})$$

(Walas, 1990)

$$\text{Offsite 2} = \frac{1}{6} \times w \quad (\text{A.27})$$

(Walas, 1990)

$$D_d = \frac{2}{3} \times D_i \quad (\text{A.28})$$

(Geankoplis, 1993)

$$\frac{W}{D_i} = \frac{1}{5} \times D_i \quad (\text{A.29})$$

(Geankoplis, 1993)

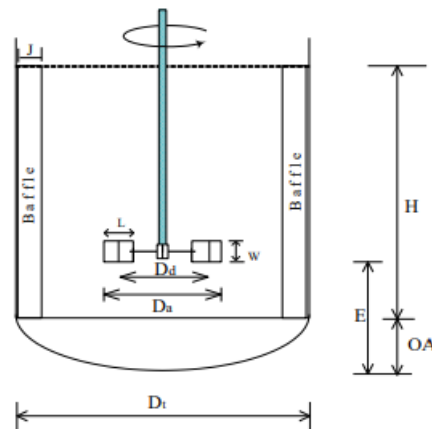
Keterangan:

D_i	=	Diameter <i>impeller</i> , m
D_t	=	Diameter tangki, m
Z_i	=	Tinggi <i>impeller</i> dari dasar tangki, m
w	=	Lebar <i>baffle</i> , m
W	=	Tebal <i>baffle</i> , m
D_d	=	Diameter batang penyangga <i>impeller</i> , m
L	=	<i>Impeller blade length</i> , m
<i>Offset 1</i>	=	Jarak <i>baffle</i> dari dasar tangki, m
<i>Offset 2</i>	=	Jarak <i>baffle</i> dari permukaan cairan, m

Maka, dimensi pengaduk sebagai berikut:

D_i	=	$\frac{1}{3} \times 4,699 \text{ m}$	=	1,566 m	=	5,14 ft
Z_i	=	$1,3 \times 1,566 \text{ m}$	=	2,036 m	=	6,678 ft
w	=	$0,17 \times 1,566 \text{ m}$	=	0,266 m	=	0,873 ft
W	=	$\frac{1}{5} \times 1,566 \text{ m}$	=	0,313 m	=	1,027 ft
D_d	=	$\frac{2}{3} \times 1,566 \text{ m}$	=	1,044 m	=	3,425 ft
r	=	$\frac{1}{4} \times 1,566 \text{ m}$	=	0,392 m	=	1,284 ft
<i>Offset 1</i>	=	$0,5 \times 1,566 \text{ m}$	=	0,783 m	=	2,569 ft
<i>Offset 2</i>	=	$\frac{1}{6} \times 0,266 \text{ m}$	=	0,044 m	=	0,146 ft

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah} &= 4 \\
 \text{Baffle} &= 4 \\
 \text{Panjang} &= h_{\text{Cairan}} - (\text{Offsite 1} + \text{Offsite 2}) \\
 \text{Baffle} &= 5,699 \text{ m} - (0,783 \text{ m} + 0,044 \text{ m}) \\
 &= 3,871 \text{ m}
 \end{aligned}$$



Gambar A. 4 Desain *Baffle* dan *Impeller*

6.2 Menentukan Kecepatan Pengaduk Reaktor

Jumlah pengaduk yang dibutuhkan:

$$\sum \text{Impeller} = \frac{WELH}{ID} \quad (\text{A.30})$$

(Rase, 1997)

$$WELH = h_{\text{Cairan}} \times \left(\frac{\rho_{\text{campuran}}}{\rho_{\text{air}}} \right)$$

$$\frac{WELH}{2 \times ID} = \left(\frac{\pi \times ID \times N}{600} \right)^2$$

$$N = \frac{600}{\pi \times ID} \times \sqrt{\left(\frac{WELH}{2 \times ID} \right)} \quad (\text{A.31})$$

Keterangan:

$$Di = \frac{WELH}{ID}$$

$$WELH = \text{Water equivalent liquid height}$$

Maka,

$$WELH = 4,699 \text{ m} \times \left(\frac{940,47 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}{1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}} \right)$$

$$WELH = 4,420 \text{ m}$$

$$\sum \text{Impeller} = \frac{4,420 \text{ m}}{4,699 \text{ m}}$$

$$\sum \text{Impeller} = 0,940 \sim 1 \text{ buah}$$

Sehingga kecepatan pengaduk reaktor dapat dihitung sebagai berikut:

$$N = \frac{600}{3,14 \times Di} \times \sqrt{\left(\frac{WELH}{2 \times Di} \right)}$$

$$N = \frac{600}{3,14 \times 1,566 \text{ m}} \times \sqrt{\left(\frac{4,420 \text{ m}}{2 \times 1,566 \text{ m}} \right)}$$

$$N = 144,931 \text{ rpm}$$

$$N = 2,415 \text{ rps}$$

$$N = 155 \text{ rpm}$$

$$= 2,583 \text{ rps}$$

(Walas, 1990)

6.3 Menentukan Power Pengadukan

$$Re = \frac{\rho \times N \times Di^2}{\mu} \quad (A.32)$$

(Geankoplis 1978, pers. 3.4)

$$Pa = \frac{Np^3 \times Di^5 \times \rho \times Np}{550 \times g_c}$$

$$P = \frac{Pa}{\eta} \quad (A.33)$$

(Timmerhaus & Peters, 1991)

Dengan nilai η sebesar 80%.

Keterangan:

Np = Power Number

ρ = Densitas campuran

Di = Densitas campuran

Ni = Kecepatan putar pengaduk

$$Re = \frac{940,748 \frac{Kg}{m^3} \times \frac{0,0624 \frac{lb}{ft^3}}{1 \frac{Kg}{m^3}} \times 2,583 \text{ rps} \times (1,566 \text{ m})^2}{0,00104 \frac{lb}{ft.s}}$$

$$Re = 358.730,96$$

Dengan menggunakan *fig. 477 G.G Brown, 1978 :507* didapatkan nilai Np

sebesar 5.

$$Pa = \frac{Np^3 \times Di^5 \times \rho \times Np}{550 \times g_c} \quad (A.34)$$

(Geankoplis 1978, pers. 3.4)

$$\begin{aligned}
 \text{Pa} &= \frac{\left(\frac{155 \text{ rpm}}{60} \times \frac{\text{rps}}{\text{rpm}}\right)^3 \times 1,566 \text{ m}^5 \times 940,748 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 5 \text{ rps}}{550 \times 32,2 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}} \\
 \text{Pa} &= 43,152 \text{ Hp}
 \end{aligned}$$

Maka besarnya *power* pengadukan adalah:

$$P = \frac{\text{Pa}}{\eta} \quad (\text{A.35})$$

$$P = \frac{43,152 \text{ Hp}}{80\%}$$

$$P = 60 \text{ Hp}$$

Sehingga besarnya *power* pengadukan berdasarkan standar NEMA adalah 60 Hp.

7. Perpindahan Kalor

7.1 Neraca Panas Reaktor

Kecepatan panas masuk – kecepatan panas keluar + panas yang timbul
 karena reaksi – panas yang harus diserap = akumulasi

$$Q_{\text{reaktan}} - Q_{\text{produk}} + Q_{\text{reaksi}} - Q_{\text{pp}} = 0$$

$$T_{\text{ref}} = 25^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{in}} = 150^\circ\text{C}$$

Tabel A. 8 Data Q_{in}

Komponen	Arus Masuk	ni	$\int C_p \cdot dT \left(\frac{\text{Kj}}{\text{kmol}} \cdot \text{K} \right)$	Q in (Kj/jam)
C ₄ H ₁₀ O ₂	3.785,86	42,065	32.214,7	1.355.114,075
C ₄ H ₈ O	0,000	0,000	16.274,1	0,000
H ₂ O	38,24	2,12	9.469,1	20.117,2
Al ₂ O ₅ Si	3,35	0,0207	1,0000	0,0206
Total	3.827,45	44,210	57.958,98	1.375.231,305

Tabel A. 9 Data Q_{out}

Komponen	Arus Keluar	ni	$\int C_p \cdot dT \left(\frac{\text{Kj}}{\text{kmol}} \cdot \text{K} \right)$	Q out (Kj/jam)
C ₄ H ₁₀ O ₂	234,72	2,608	32.214,7	84.017,073
C ₄ H ₈ O	2.840,91	39,46	16.274,1	642.130,188
H ₂ O	748,47	41,58	9.469,1	393.742,083
Al ₂ O ₅ Si	3,35	0,021	1,0000	0,021
Total	3.827,45	83,667	57.958,98	1.119.889,364

Tabel A. 10 Q Reaksi

Komponen	ΔH_{f0}	n _{reaksi}	$Q_{reaksi} = Q_{produk} - Q_{reaktan}$
C ₄ H ₁₀ O ₂	-426,7	39,457	-16.836.332,07
C ₄ H ₈ O	-184,18	39,457	-7.267.203,283
H ₂ O	-241,8	39,457	-9.540.719,697

Komponen	ΔH_{f0}	n_{reaksi}	$Q_{\text{reaksi}} = Q_{\text{produk}} - Q_{\text{reaktan}}$
Total			28.409,09

Panas yang diserap oleh media pendingin

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

$$Q_{pp} = (1.375.231 - 1.119.889 + 28.409) \frac{\text{kJ}}{\text{jam}}$$

$$Q_{pp} = 283.751 \frac{\text{kJ}}{\text{jam}}$$

Tabel A. 11 Q Total

Keterangan	Masuk (Kj/jam)	Keluar (Kj/jam)
Q_{in}	1.375.231	0,000
Q_{out}	0,000	1.119.889
Q_{reaksi}	28.409	0,000
Q_{steam}	0,000	283.751
	1.403.640,40	1.403.640,40

Reaksi yang berlangsung dalam reaktor bersifat endotermis, karena Q_{reaksi} bernilai positif sehingga membutuhkan suplai panas. Reaksi yang terjadi pada suhu 150 °C maka suhu di reaktor harus dijaga tetap. Untuk menjaga agar suhu di dalam reaktor tetap pada suhu 150 °C maka digunakan *steam* sebagai pemanas.

7.2 Menentukan Kebutuhan *Steam*

Media pemanas adalah *steam*

$$\text{Suhu steam masuk} = 175 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Suhu steam keluar} = 175 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Suhu rerata} = 175 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Sehingga massa *steam* yang dibutuhkan:

$$m_{\text{steam}} = \frac{Q}{\lambda \text{ pada } 175^{\circ}\text{C}}$$

$$\lambda \text{ pada } 175^{\circ}\text{C} = H_1 - H_v$$

$$\lambda \text{ pada } 175^{\circ}\text{C} = 2772,7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 741,15 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$m_{\text{steam}} = \frac{283.751 \frac{\text{kJ}}{\text{jam}}}{\left(2772,7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 741,15 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right)}$$

$$m_{\text{steam}} = 139,672 \frac{\text{kg}}{\text{jam}}$$

Beda suhu rerata

$$\Delta \text{LMTD} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}} \quad (\text{A.35})$$

Tabel A. 12 Data Δ LMTD

Keterangan	$^{\circ}\text{C}$	K	$^{\circ}\text{F}$
Suhu fluida panas masuk reaktor	150	423,15	793,67
Suhu fluida panas keluar reaktor	150,09	423,25	793,84
Suhu <i>steam</i> masuk reaktor	175	448,15	838,67

Keterangan	°C	K	°F
Suhu <i>steam</i> keluar reaktor	175	448,15	838,67

$$\Delta T_1 = 838,67^\circ\text{F} - 793,67^\circ\text{F} = 45^\circ\text{F}$$

$$\Delta T_2 = 838,67^\circ\text{F} - 793,84^\circ\text{F} = 44,83^\circ\text{F}$$

$$\Delta \text{LMTD} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}}$$

$$\Delta \text{LMTD} = \frac{(44,83^\circ\text{F} - 45^\circ\text{F})}{\ln \frac{44,83^\circ\text{F}}{45^\circ\text{F}}}$$

$$\Delta \text{LMTD} = 44,91^\circ\text{F}$$

7.3 Menentukan Luas Perpindahan Panas

Berdasarkan Tabel.8 Kern didapatkan *overall heat transfer* U_D dengan *hot fluid* adalah *heavy organic* dan *cold fluid* adalah *steam* dengan $U_D = 6 - 60 \frac{\text{Btu}}{\text{j.ft}^2.\text{F}}$

Dipilih:

$$U_D = 60 \frac{\text{Btu}}{\text{jam.ft}^2.\text{F}}$$

Diketahui:

$$Q = 283.751 \frac{\text{kJ}}{\text{jam}}$$

$$\Delta \text{LMTD} = 44,91^\circ\text{F}$$

$$\begin{aligned}
 A_{\text{transfer panas}} &= \frac{Q}{U_D \times \Delta \text{LMTD}} \\
 A_{\text{transfer panas}} &= \frac{283.751 \frac{\text{kJ}}{\text{jam}} \times 0,948 \frac{\text{Btu}}{\text{jam}} \times \frac{1}{\text{kJ}}}{60 \frac{\text{Btu}}{\text{jam.ft}^2 \cdot \text{F}} \times 44,91 \text{ } ^\circ\text{F}} \\
 A_{\text{transfer panas}} &= 99,819 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

7.4 Menentukan Luas Selubung Reaktor

$$\begin{aligned}
 A &= \text{Luas selimut reaktor} + \text{luas penampang bawah reaktor} && \text{(A.36)} \\
 A &= \pi \times \text{OD} \times H + \frac{\pi}{4} \times \text{OD}^2 \\
 A &= 3,14 \times 17,99 \text{ ft} \times 15,411 + \frac{3,14}{4} \times (17,99 \text{ ft})^2 \\
 A &= 531,422 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, luas transfer panas kurang dari luas selubung reaktor sehingga dalam reaktor ini dibutuhkan jaket pemanas.

7.5 Menentukan Ukuran Jaket Pemanas

$$\begin{aligned}
 \text{ID} &= \text{OD tangki} + 2 \cdot \text{jw} && \text{(A.37)} \\
 H &= 1,5 \times \text{ID}
 \end{aligned}$$

Keterangan:

$$\begin{aligned}
 \text{ID} &= \text{Diameter dalam jaket (in)} \\
 \text{jw} &= \text{Jarak antara dinding luar tangki dan dinding dalam jaket (2 in)}
 \end{aligned}$$

Maka, ukuran jaket pemanas:

$$ID = 216 \text{ in} + 2 \times 2 \text{ in}$$

$$ID = 220 \text{ in}$$

$$H = 1,5 \times ID$$

$$H = 1,5 \times 220 \text{ in}$$

$$H = 330 \text{ in}$$

7.6 Menentukan Tebal Dinding Jaket Pemanas

$$t_s = \frac{P \cdot r_i}{f \cdot E - 0,6 \cdot P} + C \quad (\text{A.38})$$

Keterangan:

$$T_s = \text{Tebal } shell \text{ (in)}$$

$$P = \text{Tekanan dalam tangki (psia)}$$

$$f = \text{Allowable stress (18750 psi)}$$

$$R_i = \text{Jari – jari dalam } storage \text{ (in)}$$

$$E = \text{Efisiensi pengelasan} \\ (80\%, \text{ double welded butt joint})$$

(Tabel 13.2 Brownell & Young, 1959:254)

$$C = \text{Faktor korosi (0,125 in)}$$

(Tabel 6 Timmerhaus & Peters, 1991:542)

Diperoleh tebal *shell*:

$$T_s = \frac{P \cdot r_i}{f \cdot E - 0,6 \cdot P} + C$$

$$T_s = \frac{334,6 \text{ psi} \times 110 \text{ in}}{18750 \text{ psi} \times 0,80 - 0,6 \times 334,6 \text{ psi}} + 0,125 \text{ in}$$

$$t_s = 0,125 \text{ in}$$

$$t_{s \text{ standar}} = 0,1875 \text{ in}$$

(Brownell & Young, 1959)

7.7 Menentukan Koefisien Perpindahan Panas antara Reaktor dan

Jaket Pemanas

$$\frac{h_i \times D_i}{k} = 0,36 \times \left(\frac{L^2 \times N \times \rho}{\mu} \right)^{2/3} \times \left(\frac{C_p \times \mu}{\mu} \right)^{1/3} \times \left(\frac{\mu_w}{\mu} \right)^{0,14}$$

(A.43)

Dimana, $\mu_w = \mu$, sehingga $\frac{\mu_w}{\mu} = 1$

$$L = 5,138 \text{ ft}$$

$$N = 19200 \text{ rph}$$

$$P = 58,72 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$$

$$k = 0,351 \frac{\text{Btu}}{\text{hr} \cdot \frac{\text{ft}}{\text{ft}} \cdot \text{ft}^2}$$

$$C = 0,848 \frac{\text{Btu}}{\text{lb} \cdot \text{°F}}$$

(Pers. 20.10, Kern, 1950)

$$\frac{h_i \times D_i}{k} = 0,36 \times \left(\frac{L^2 \times N \times \rho}{\mu} \right)^{2/3} \times \left(\frac{C_p \times \mu}{k} \right)^{1/3} \times \left(\frac{\mu_w}{\mu} \right)^{0,14}$$

$$\frac{h_i \times 15,417 \text{ ft}}{0,351 \frac{\text{Btu}}{\text{hr.} \frac{\text{°F}}{\text{ft}} \cdot \text{ft}^2}} = 0,36 \times \left(\frac{(5,138 \text{ ft})^2 \times 9200 \text{ rpm} \times 58,72 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}}{3,7 \frac{\text{lb}}{\text{ft} \cdot \text{hr}}} \right)^{2/3} \times \left(\frac{5933,86 \frac{\text{Btu}}{\text{lb.} \cdot \text{°F}} \times 3,7 \frac{\text{lb}}{\text{ft} \cdot \text{hr}}}{0,351 \frac{\text{Btu}}{\text{hr.} \frac{\text{°F}}{\text{ft}} \cdot \text{ft}^2}} \right)^{1/3} \times (1)^{0,14}$$

$$h_i = 6.329.648,26 \frac{\text{Btu}}{\text{hr.} \cdot \text{°F} \cdot \text{ft}^2}$$

$$h_{i_0} = h_i \frac{ID}{OD} \quad (\text{A.44})$$

Keterangan:

ID = Diameter dalam reaktor (ID shell) (in)

OD = Diameter dalam jaket pemanas (in)

(Pers 6.5, Kern, 1950)

$$h_{i_0} = h_i \frac{ID}{OD}$$

$$h_{i_0} = 6.329.648,26 \frac{\text{Btu}}{\text{hr.} \cdot \text{°F} \cdot \text{ft}^2} \times \frac{211 \text{ in}}{227,25 \text{ in}}$$

$$h_{i_0} = 5.881.254,73 \frac{\text{Btu}}{\text{hr.} \cdot \text{°F} \cdot \text{ft}^2}$$

7.8 Menentukan Ho

$$h_0 = jH \frac{k}{D_e} \left(\frac{C_p \mu}{k} \right)^3 \left(\frac{\mu_w}{\mu} \right)^{0,14} \quad (\text{A.45})$$

$$Re = \frac{ID.G_t}{\mu}$$

$$G_t = \frac{Fa}{A}$$

Maka,

$$G_t = \frac{3.827,45 \frac{\text{kg}}{\text{hr}} \times \frac{2,205 \frac{\text{lb}}{\text{hr}}}{\frac{\text{kg}}{\text{hr}}}}{133,093 \text{ ft}^2}$$

$$G_t = 8.439,528 \frac{\text{lb}}{\text{hr.ft}^2}$$

$$Re = \frac{ID.G_t}{\mu}$$

$$Re = \frac{211,50 \text{ in} \times \frac{0,0833 \text{ ft}}{\text{in}} \cdot 8.439,528 \frac{\text{lb}}{\text{hr.ft}^2}}{3,7 \frac{\text{lb}}{\text{hr.ft}}}$$

$$Re = 398,997$$

$$\frac{L}{D} = \frac{330 \text{ in}}{220 \text{ in}}$$

$$\frac{L}{D} = 1,5$$

Sehingga berdasarkan pada Fig. 24 kern diperoleh nilai jH sebesar 8.

$$h_0 = jH \frac{k}{De} \left(\frac{C_p \mu}{k} \right)^3 \left(\frac{\mu_w}{\mu} \right)^{0,14}$$

$$h_0 = 8 \frac{0,351 \frac{\text{Btu}}{\text{hr.}^\circ\text{F.ft}}}{15,471 \text{ ft}} \left(\frac{5933,86 \frac{\text{Btu}}{\text{lb.}^\circ\text{F}} \times 3,7 \frac{\text{lb}}{\text{hr.ft}}}{0,351 \frac{\text{Btu}}{\text{hr.}^\circ\text{F.ft}}} \right)^3 (1)^{0,14}$$

$$h_0 = 5715,370 \frac{\text{Btu}}{\text{hr.}^\circ\text{F.ft}^2}$$

7.10 Menentukan Rd

$$Uc_{\text{Koreksi}} = \frac{h_i \times h_o}{h_i + h_o}$$

$$Ud_{\text{koreksi}} = \frac{Q}{A \times \Delta t}$$

$$Rd = \frac{Uc_{\text{Koreksi}} - Ud_{\text{koreksi}}}{Uc_{\text{Koreksi}} \times Ud_{\text{koreksi}}}$$

Maka, nilai Rd dapat dihitung sebagai berikut:

$$Uc_{\text{koreksi}} = \frac{h_i \times h_o}{h_i + h_o}$$

$$Uc_{\text{koreksi}} = \frac{5.881.254,73 \frac{\text{Btu}}{\text{hr.}^\circ\text{F.ft}^2} \times 5715,370 \frac{\text{Btu}}{\text{hr.}^\circ\text{F.ft}^2}}{5.881.254,73 \frac{\text{Btu}}{\text{hr.}^\circ\text{F.ft}^2} + 5715,370 \frac{\text{Btu}}{\text{hr.}^\circ\text{F.ft}^2}}$$

$$Uc_{\text{koreksi}} = 5.709,822 \frac{\text{Btu}}{\text{hr.}^\circ\text{F.ft}^2}$$

$$Ud_{\text{koreksi}} = \frac{Q}{A \times \Delta t}$$

$$Ud_{\text{koreksi}} = \frac{283.751 \frac{\text{kJ}}{\text{hr}} \times 0,947 \frac{\text{btu}}{\text{kJ}}}{99,819 \text{ ft}^2 \times 44,91 ^\circ\text{F}}$$

$$Ud_{\text{koreksi}} = 59,988 \frac{\text{Btu}}{\text{hr.}^\circ\text{F.ft}^2}$$

$$Rd = \frac{5.709,822 \frac{\text{Btu}}{\text{hr.}^\circ\text{F.ft}^2} - 59,988 \frac{\text{Btu}}{\text{hr.}^\circ\text{F.ft}^2}}{5.709,822 \frac{\text{Btu}}{\text{hr.}^\circ\text{F.ft}^2} \times 59,988 \frac{\text{Btu}}{\text{hr.}^\circ\text{F.ft}^2}}$$

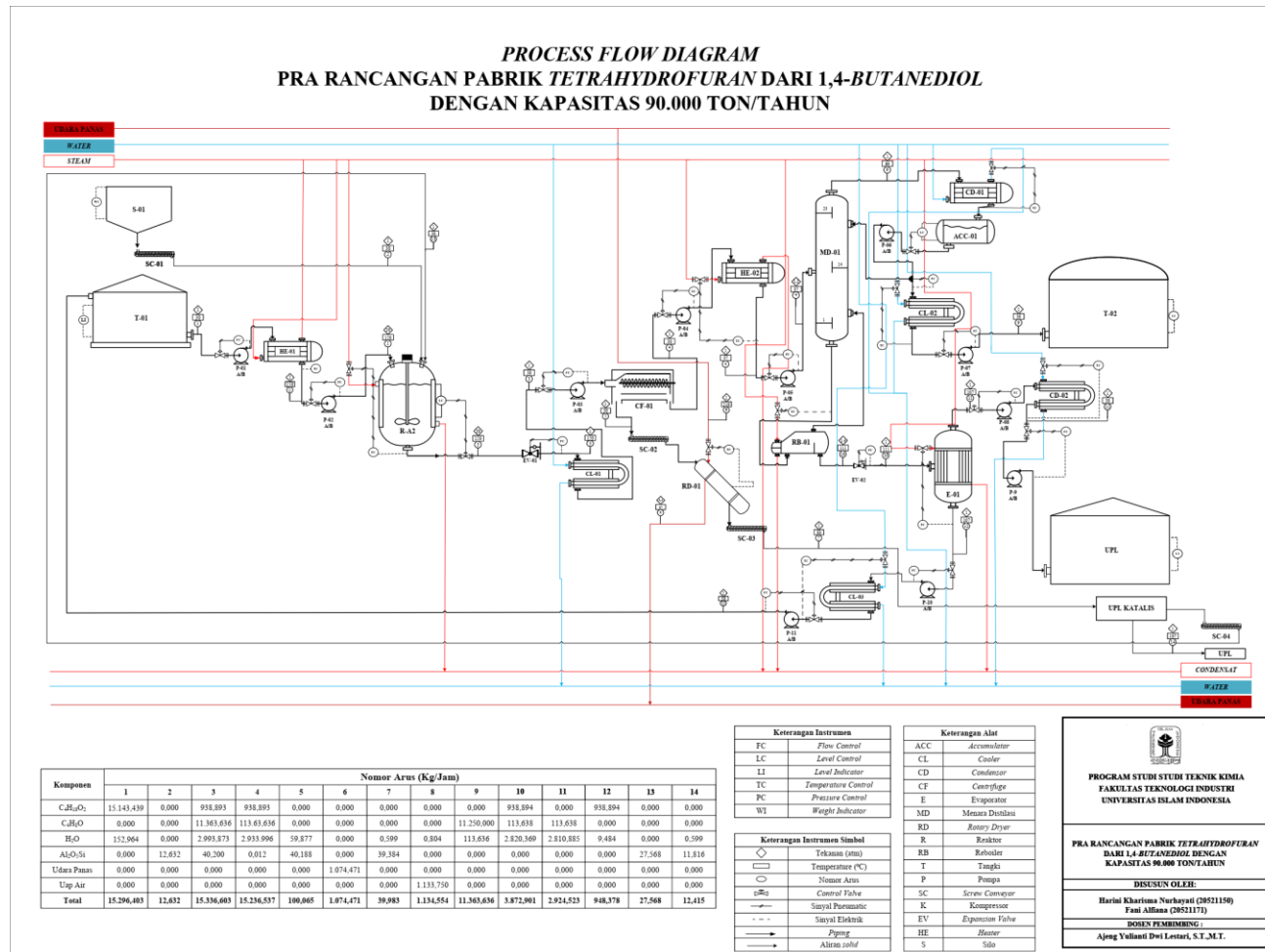
$$Rd = 0,0164$$

Berdasarkan Tabel.12 Kern: 845, nilai Rd harus lebih dari $0,001 \frac{\text{Btu}}{\text{hr} \cdot ^\circ\text{F} \cdot \text{ft}^2}$,

sehingga nilai Rd diatas sudah memenuhi.

LAMPIRAN B

PROCESS FLOW DIAGRAM



A. 1 PFD Prarancangan Pabrik *Tetrahydrofuran* dari 1,4-Butanediol Kapasitas 90.000 ton/tahun

LAMPIRAN C

KARTU KONSULTASI BIMBINGAN

PRARANCANGAN PABRIK

KARTU KONSULTASI BIMBINGAN

1. Nama Mahasiswa : Harini Kharisma Nurhayati

NIM : 20521150

2. Nama Mahasiswa : Fani Alfiana

NIM : 20521173

Judul Prarancangan : Prarancangan *Tetrahydrofuran* dari 1,4-
Butanediol dengan Kapasitas 90.000 Ton/Tahun

Mulai Masa : 14 September 2023

Bimbingan

Batas Akhir : 13 Maret 2024

Bimbingan

No	Tanggal	Materi Bimbingan	Paraf Dosen
1	17 Oktober 2023	Penentuan kapasitas prarancangan pabrik, lokasi, dan tata letak	
2	6 November 2023	Pemilihan proses dan penentuan spesifikasi bahan	
3	16 November 2023	Perhitungan neraca massa, diagram alir kualitatif, dan diagram kuantitatif	
4	29 Desember 2023	Perancangan reaktor	
5	19 Januari 2024	Perancangan reaktor, pemisah, dan perhitungan neraca panas	

6	25 Januari 2024	Perancangan alat pemisah, unit operasi pendukung, dan perhitungan neraca panas	
---	-----------------	--	--

Disetujui Draft Penulisan



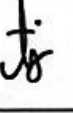

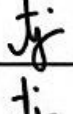
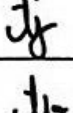
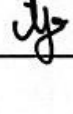
Yogyakarta, 8 Juli 2024

Pembimbing,

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

KARTU KONSULTASI BIMBINGAN

1. Nama Mahasiswa : Harini Kharisma Nurhayati
 NIM : 20521150
2. Nama Mahasiswa : Fani Alfiana
 NIM : 20521173
3. Judul Prarancangan : Prarancangan *Tetrahydrofuran* dari 1,4-
Butanediol dengan Kapasitas 90.000 Ton/Tahun
- Mulai Masa Bimbingan : 14 Maret 2024
 Batas Akhir Bimbingan : 13 September 2024

No	Tanggal	Materi Bimbingan	Paraf Dosen
1	15 Maret 2024	Perancangan alat pemisah, unit operasi pendukung, dan perhitungan neraca panas	
2	23 Maret 2024	Penyimpanan alat bahan, transportasi bahan, dan perhitungan neraca panas	
3	2 Maret 2024	Perancangan alat penukar panas, perhitungan neraca panas	
4	30 April 2024	Penentuan utilitas dan struktur organisasi	
5	23 Mei 2024	Penentuan utilitas	
6	22 Mei 2024	Evaluasi ekonomi	
7	7 Juni 2024	Evaluasi ekonomi	

8	28 Juni 2024	PEFD dan <i>crosscheck</i> perhitungan dari awal-hingga akhir	<i>Yj</i>
9	5 Juli 2024	Koreksi naskah	<i>Yj</i>

Disetujui Draft Penulisan

Yogyakarta, 8 Juli 2024

Pembimbing,

Yj 8/24

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