

**PRA RANCANGAN PABRIK *FATTY ALCOHOL* DARI
METIL ESTER DAN HIDROGEN DENGAN
KAPASITAS 40.000 TON/TAHUN**

PERANCANGAN PABRIK

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



Oleh:

**Nama : Sahiba Sahila
No.Mahasiswa: 14521002**

**Nama : Ellen Dian Rahmawati
No.Mahasiswa: 14521026**

**KONSENTRASI TEKNIK KIMIA
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVRSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2018

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN HASIL

PRA RANCANGAN PABRIK *FATTY ALCOHOL* DARI METIL
ESTER DAN HIDROGEN DENGAN KAPASITAS 40.000
TON/TAHUN

Kami yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Sahiba Sahila Nama : Ellen Dian Rahmawati
No.Mahasiswa : 14521002 No.Mahasiswa: 14521026

Yogyakarta,

Menyatakan bahwa seluruh hasil Pra Rancangan Pabrik ini adalah hasil karya sendiri. Apabila dikemudian hari terbukti bahwa ada beberapa dari hasil karya ini adalah bukan hasil karya sendiri, maka kami siap menanggung resiko dan konsekuensi apapun.

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

Td. Tangan



Sahiba Sahila

NIM. 14521002

Td. Tangan



Ellen Dian Rahmawati

NIM. 14521026

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

PRA RANCANGAN PABRIK *FATTY ALCOHOL* DARI METIL

ESTER DAN HIDROGEN DENGAN KAPASITAS

40.000 TON/TAHUN

PERANCANGAN PABRIK



Oleh :

Nama : Sahiba Sahila

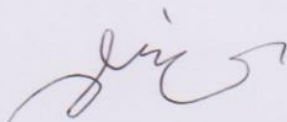
Nama : Ellen Dian Rahmawati

No.Mahasiswa: 14521002

No.Mahasiswa: 14521026

Yogyakarta, 9 Oktober 2018

Pembimbing



Dr. Diana, S.T., M.Sc.

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

PRA RANCANGAN PABRIK *FATTY ALCOHOL* DARI METIL
ESTER DAN HIDROGEN DENGAN KAPASITAS
40.000 TON/TAHUN

PERANCANGAN PABRIK

Oleh :

Nama : Sahiba Sahila
No.Mahasiswa: 14521002

Nama : Ellen Dian Rahmawati
No.Mahasiswa: 14521026

Telah Dipertahankan di Depan Sidang Penguji sebagai Salah Satu Syarat untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Kimia Konsentrasi Teknik Kimia
Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 9 Oktober 2018

Tim Penguji,

1. Dr. Diana, S.T., M.Sc.
Ketua

2. Ifa Puspasari, S.T., M.Eng., Ph.D.
Anggota I

3. Achmad Chafidz M. S., S.T., M.Sc.
Anggota II



[Handwritten signature])

[Handwritten signature])

[Handwritten signature])

Mengetahui:

Ketua Program Studi Teknik Kimia
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia



[Handwritten signature]
Dr. Suharno Rusdi

NIP. 845210102

LEMBAR MOTTO

“Always Believe That Something Wonderful Is About To Happen”

“Why Worry? If You’ve Done The Very Best You Can,
Worrying Won’t Make It Better”

“Rencana Allah Itu Lebih Baik dari Rencanamu
Jadi Tetaplah berjuang dan Berdoa Hingga Kau Kan Menemukan Bahwa Ternyata
Memang Allah Memberikan Yang Terbaik Untukmu”

“Karena Tidak Semua Hal Baik Dianggap Baik,
Tapi Percayalah Hal Baik Pasti akan Berbuah Baik,
Jika Semua Dimulai dengan Bismillah
Maka Insyaallah akan Berujung Alhamdulillah”

“Jalan Tuhan Belum Tentu Yang Tercepat,
Bukan Juga Yang Termudah,
Tapi Sudah Pasti Yang Terbaik”

“Percayalah Allah Tahu Yang Terbaik Untukmu
Sekalipun Rasanya Kau Ingin Menyerah Karena Merasa Tak Ada Harapan,
Percayalah Semuanya Akan Baik-Baik Saja Jika Kau Percaya Pada-Nya”

LEMBAR PERSEMBAHAN

Penulisan Tugas Akhir ini penulis persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua serta keluarga yang telah memberikan do'a, motivasi serta semangat dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
2. Dosen pembimbing, Ibu Dr. Diana, S.T., M.Sc. yang telah membimbing penulis dengan sabar dan tegas dari awal hingga penulis mendapatkan hasil yang baik.
3. Dosen penguji kami, Ibu Ifa Puspasari, S.T., M.Eng., Ph.D. dan Bapak Achmad Chafidz M. S., S.T., M.Sc.
4. Ketua program studi dan seluruh dosen Jurusan Teknik Kimia FTI UII.
5. Keluarga besar Mangun Fams yang telah memberikan do'a, motivasi serta semangat dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
6. Teman-teman serta kakak tingkat Jurusan Teknik Kimia FTI UII.

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakaatuh

Segala puji hanya milik Allah SWT Tuhan semesta alam. Tiada daya dan upaya melainkan atas pertolongan Allah SWT. Semoga shalawat dan salam senantiasa dilimpahkan kepada Nabi Muhammad SAW., keluarganya, dan para sahabatnya, serta orang-orang yang memegang teguh kitab Allah dan sunnah Rasul-Nya hingga hari kiamat.

Alhamdulillah, atas taufik dan hidayah dari Allah SWT penyusun dapat melaksanakan penelitian dan menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik. Penyusunan tugas akhir yang berjudul “Pra Rancangan Pabrik *Fatty Alcohol* dari Metil Ester dan Hidrogen dengan Kapasitas 40.000 Ton/Tahun” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

Penyelesaian tugas akhir dapat berjalan dengan baik atas bantuan dan kerjasama dari berbagai pihak yang telah memberikdan bimbingan, perhatian, dan pengarahan dalam menjalankan penyusunan tugas akhir ini. Maka, pada kesempatan ini penyusun ingin menyampaikan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada:

1. Orangtua yang telah membantu secara materil maupun spiritual, sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan lancar.
2. Rektor Universitas Islam Indonesia, Bapak Fathul Wahid, S. T., M. Sc., Ph.D.
3. Ketua Jurusan Teknik Kimia Bapak Suharno Rusdi, Dr .,

4. Ibu Dr. Diana, S.T., M.Sc. yang telah memberikan banyak ilmu kepada kami dan juga telah sabar dalam membimbing kami selama melaksanakan tugas akhir ini hingga selesai.
 5. Teman-teman group “Segil” : Rara, Nilam, Yani, Kartika dan Tamara, terimakasih untuk canda tawa, semangat dan bantuan kalian semua.
 6. Teman-teman teknik kimia 2014, terimakasih atas dukungan, kebersamaan dan kenangannya selama ini.
 7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, terimakasih telah ikut membantu kelancaran dalam penyusunan tugas akhir ini
- Semoga Allah SWT memberi keberkahan atas pertolongan dan kebaikan yang telah diberikan kepada kami.

Kami menyadari bahwa tugas akhir ini masih terdapat kesalahan dan kekurangan karena keterbatasan pengetahuan dan kemampuan diri pribadi. Oleh karena itu, dengan kerendahan hati kami mengharapkan adanya saran dan kritik yang membangun demi perbaikan tugas akhir ini dan pembelajaran di masa mendatang. Akhir kata, semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pihak yang membutuhkan.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Yogyakarta, 9 Oktober 2018

Penyusun

DAFTAR ISI

| | |
|---|------------------------------|
| LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN | Error! Bookmark not defined. |
| LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING | Error! Bookmark not defined. |
| LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI..... | Error! Bookmark not defined. |
| LEMBAR MOTTO..... | ii |
| LEMBAR PERSEMBAHAN | vi |
| KATA PENGANTAR..... | vii |
| DAFTAR ISI..... | ix |
| DAFTAR TABEL | xiv |
| DAFTAR GAMBAR..... | xvi |
| ABSTRAK | xvii |
| ABSTRACT..... | xviii |
| BAB I PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Ketersediaan Bahan Baku..... | 2 |
| 1.3 Penentuan Kapasitas | 5 |
| 1.4 Tinjauan Pustaka | 7 |
| BAB II PERANCANGAN PRODUK..... | 16 |
| 2.1 Spesifikasi Bahan Baku | 16 |
| 2.1.1 Metil ester | 16 |
| 2.1.2 Hidrogen | 17 |
| 2.2 Spesifikasi Produk | 17 |
| 2.2.1 <i>Fatty Alcohol</i> | 17 |
| 2.2.2 Metanol | 18 |
| 2.3 Spesifikasi Bahan Penunjang..... | 19 |
| 2.3.1 <i>Copper Chromite</i> | 19 |
| 2.4 Pengendalian Kualitas | 19 |
| 2.4.1 Pengendalian Kualitas Bahan Baku | 19 |
| 2.4.2 Pengendalian Proses Produksi..... | 20 |
| 2.4.2.1 Alat Sistem Kontrol | 20 |
| 2.4.2.2 Aliran Sistem Kontrol | 20 |

| | | |
|---------------------------|---|-----------|
| 2.4.2.3 | Pengendalian Kualitas Produk | 21 |
| BAB III | PERANCANGAN PROSES | 22 |
| 3.1 | Uraian Proses | 22 |
| 3.2 | Spesifikasi Alat | 23 |
| 3.2.1 | Tangki Penyimpanan Bahan Baku Metil Ester | 23 |
| 3.2.2 | Tangki Penyimpanan Bahan Baku Hidrogen..... | 24 |
| 3.2.3 | Tangki Penyimpanan Produk <i>Fatty Alcohol</i> | 25 |
| 3.2.4 | Tangki Penyimpana Produk Samping Metanol | 25 |
| 3.2.5 | Reaktor..... | 26 |
| 3.2.6 | Flash Drum | 27 |
| 3.2.7 | <i>Expansion Valve (EV-01)</i> | 27 |
| 3.2.8 | <i>Expansion Valve (EV-02)</i> | 28 |
| 3.2.9 | <i>Heat Exchanger (HE-01)</i> | 28 |
| 3.2.10 | <i>Heat Exchanger (HE-02)</i> | 29 |
| 3.2.11 | <i>Heat Exchanger (HE-03)</i> | 30 |
| 3.2.12 | <i>Cooler (CL-01)</i> | 32 |
| 3.2.13 | <i>Condensor Parsial (CDP-01)</i> | 33 |
| 3.2.19 | Pompa (P-02) | 35 |
| 3.2.20 | Pompa (P-03) | 36 |
| 3.2.21 | <i>Compressor (C-01)</i> | 36 |
| 3.3 | Perencanaan Produksi | 37 |
| 3.3.1 | Analisa Kebutuhan Bahan Baku | 37 |
| 3.3.2 | Perencanaan Bahan Baku dan Alat Proses | 38 |
| BAB IV | | 40 |
| PERANCANGAN PABRIK | | 40 |
| 4.1 | Lokasi Pabrik | 40 |
| 4.1.1 | Faktor Primer Penentuan Lokasi Pabrik | 40 |
| 4.1.2 | Faktor Sekunder Penentuan Lokasi Pabrik | 42 |
| 4.2 | Tata Letak Pabrik | 44 |
| 4.2.1 | Daerah administrasi atau perkantoran dan laboratorium | 44 |
| 4.2.2 | Daerah Proses dan Ruang Kontrol..... | 44 |

| | | |
|---------------------------|--|----|
| 4.2.3 | Daerah Pergudangan, umum, bengkel dan garasi | 44 |
| 4.2.4 | Daerah Utilitas dan <i>Power Station</i> | 44 |
| 4.3 | Tata Letak Alat Proses | 45 |
| 4.3.1 | Aliran Bahan Baku dan Produk | 46 |
| 4.3.2 | Aliran Udara | 46 |
| 4.3.3 | Pencahayaan | 46 |
| 4.3.4 | Lalu Lintas Manusia dan Kendaraan | 46 |
| 4.3.5 | Pertimbangan Ekonomi | 46 |
| 4.3.6 | Jarak antar Alat Proses | 46 |
| 4.4 | Alir Proses dan Material | 49 |
| 4.4.1 | Neraca Massa | 49 |
| 4.4.1.1 | Neraca Massa Total | 49 |
| 4.4.1.2 | Neraca Massa per Alat | 50 |
| a. | Reaktor <i>Trickle Bed</i> (R) | 50 |
| b. | <i>Flash Drum</i> (FD-01) | 50 |
| 4.4.2 | Neraca Panas | 51 |
| 4.4.2.1 | Reaktor <i>Trickle Bed</i> | 51 |
| 4.4.2.2 | <i>Heat Exchanger</i> (HE-01) | 51 |
| 4.4.2.3 | <i>Heat Exchanger</i> (HE-02) | 52 |
| 4.4.2.4 | <i>Heat Exchanger</i> (HE-03) | 52 |
| 4.4.2.5 | <i>Heat Exchanger</i> (HE-04) | 52 |
| 4.4.2.6 | <i>Cooler</i> (CL-01) | 53 |
| 4.4.2.7 | <i>Condensor Parsial</i> (CDP-01) | 53 |
| 4.5 | Perawatan (<i>Maintenance</i>) | 56 |
| 4.6 | Pelayanan Teknik (Utilitas) | 57 |
| 4.6.1 | Unit Penyediaan dan Pengolahan Air (<i>Water Treatment System</i>) | 58 |
| 4.6.1.1 | Unit Penyediaan Air | 58 |
| 4.6.1.2 | Unit Pengolahan Air | 60 |
| Unit Pengolahan Air | 60 | |
| 4.6.1.3 | Kebutuhan Air | 67 |
| 4.6.2 | Unit Pembangkit <i>Steam</i> (<i>Steam Generation System</i>) | 69 |
| 4.6.3 | Unit Pembangkit Listrik (<i>Power Plant System</i>) | 70 |

| | | |
|--------------|--|----|
| 4.6.4 | Unit penyediaan Udara Tekan | 74 |
| 4.6.5 | Unit Penyediaan Bahan Bakar | 74 |
| 4.6.6 | Unit Pengolahan Limbah Cair | 74 |
| | Unit pengolahan limbah berfungsi untuk mengolah limbah yang dihasilkan dari seluruh area pabrik, sehingga limbah buangan pabrik tidak mencemari lingkungan. Limbah yang dihasilkan oleh pabrik berupa limbah hasil air buangan sanitasi, air laboratorium dan kebutuhan lainnya..... | 74 |
| 4.7 | Organisasi Perusahaan | 74 |
| 4.7.1 | Bentuk Perusahaan | 74 |
| 4.7.2 | Struktur Organisasi | 76 |
| 4.7.3 | Tugas dan Wewenang | 79 |
| 4.7.3.1 | Pemegang Saham..... | 79 |
| 4.7.3.2 | Dewan Komisaris..... | 79 |
| 4.7.3.3 | Direktur Utama..... | 80 |
| 4.7.3.4 | Kepala Bagian..... | 80 |
| a. | Kepala Bagian Proses dan Utilitas | 81 |
| b. | Kepala Bagian Pemeliharaan Listrik dan Instrumentasi | 81 |
| c. | Kepala Bagian Penelitian, Pengembangan dan Pengendalian Mutu | 81 |
| d. | Kepala Bagian Keuangan dan Pemasaran | 81 |
| e. | Kepala Bagian Administrasi | 81 |
| f. | Kepala Bagian Humas dan Keamanan | 81 |
| g. | Kepala Bagian Kesehatan Keselamatan Kerja dan Lingkungan | 81 |
| 4.7.3.5 | Kepala Seksi..... | 82 |
| a. | Kepala Seksi Proses | 82 |
| b. | Kepala Seksi Utilitas | 82 |
| c. | Kepala Seksi pemeliharaan dan Bengkel | 82 |
| d. | Kepala Seksi Listrik dan Instrumentasi | 82 |
| e. | Kepala Seksi Bagian Penelitian dan Pengembangan | 82 |
| f. | Kepala Seksi Laboratorium dan Pengendalian Mutu | 83 |
| g. | Kepala Seksi Keuangan | 83 |
| h. | Kepala Seksi Pemasaran | 83 |
| i. | Kepala Seksi Tata Usaha | 83 |
| j. | Kepala Seksi Personalia | 83 |

| | | |
|-----------------------|--|-----|
| k. | Kepala Seksi Humas | 83 |
| l. | Kepala Seksi Keamanan..... | 83 |
| m. | Kepala Seksi Kesehatan dan Keselamatan Kerja | 84 |
| n. | Kepala Seksi Unit pengolahan Limbah..... | 84 |
| 4.7.4 | Catatan..... | 84 |
| 4.8 | Evaluasi Ekonomi | 88 |
| 4.8.1 | Harga Index..... | 89 |
| 4.8.2 | Harga Alat | 91 |
| 4.8.3 | <i>Capital Cost</i> | 93 |
| 4.8.4 | <i>Manufacturing Cost</i> | 99 |
| 4.8.5 | <i>General Expense</i> | 104 |
| 4.8.6 | <i>Total Capital Cost</i> | 104 |
| 4.8.7 | Total Biaya Produksi | 105 |
| 4.8.8 | Analisa Keuntungan | 105 |
| 4.8.9 | Analisa Kelayakan | 105 |
| BAB V | | 111 |
| PENUTUP | | 111 |
| 5.1 | Kesimpulan..... | 111 |
| 5.2 | Saran | 112 |
| DAFTAR PUSTAKA | | 114 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 1.1 <i>Industri Metil Ester yang berada di Indonesia</i> | 2 |
| Tabel 1.2 <i>Industri Fatty Alcohol di Indonesia</i> | 5 |
| Tabel 1.3 <i>Data Fatty Alcohol Import</i> | 5 |
| Tabel 4.1 <i>Perincian luas tanah dan bangunan pabrik</i> | 45 |
| Tabel 4.2 <i>Neraca Massa Total</i> | 49 |
| Tabel 4.3 <i>Neraca Massa Reaktor</i> | 50 |
| Tabel 4.4 <i>Neraca Massa Flash Drum</i> | 50 |
| Tabel 4.5 <i>Neraca Panas Reaktor</i> | 51 |
| Tabel 4.6 <i>Neraca Panas Heater-01</i> | 51 |
| Tabel 4.7 <i>Neraca Panas Heater-02</i> | 52 |
| Tabel 4.8 <i>Neraca Panas Heater-03</i> | 52 |
| Tabel 4.9 <i>Neraca Panas Heater-04</i> | 52 |
| Tabel 4.10 <i>Neraca Panas Cooler-01</i> | 53 |
| Tabel 4.11 <i>Neraca Panas Condenser Parsial-01</i> | 53 |
| Tabel 4.12 <i>Kebutuhan air pembangkit steam</i> | 67 |
| Tabel 4.13 <i>Kebutuhan Air Pendingin</i> | 68 |
| Tabel 4.14 <i>Kebutuhan Listrik Proses</i> | 71 |
| Tabel 4.15 <i>Kebutuhan Listrik Utilitas</i> | 72 |
| Tabel 4.16 <i>Total Kebutuhan Listrik</i> | 73 |
| Tabel 4.17 <i>Gaji Karyawan</i> | 85 |
| Tabel 4.18 <i>Jadwal Kerja Masing-masing Regu</i> | 88 |
| Tabel 4.19 <i>Harga Index Chemical Engineering Progress</i> | 90 |

| | |
|--|-----|
| Tabel 4.20 <i>Total Biaya Physical Plant Cost</i> | 96 |
| Tabel 4.21 <i>Fixed Capital Investment</i> | 98 |
| Tabel 4.22 <i>Total Working Capital Cost</i> | 99 |
| Tabel 4.23 <i>Total Direct Manufacturing Cost</i> | 102 |
| Tabel 4.24 <i>Total Indirect Manufacturing Cost</i> | 102 |
| Tabel 4.25 <i>Total Fixed Manufacturing Cost</i> | 103 |
| Tabel 4.26 <i>Total General Expense</i> | 104 |
| Tabel 5.1 <i>Kesimpulan evaluasi ekonomi</i> | 112 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|-----|
| Gambar 1.1 Grafik Data Import <i>Fatty Alcohol</i> | 6 |
| Gambar 1.2 Rumus Bangun <i>Fatty Alcohol</i> | 7 |
| Gambar 1.3 <i>Reaksi Pembentukan Fatty Alcohol</i> | 11 |
| Gambar 4.1 <i>Lokasi Pendirian Pabrik</i> | 40 |
| Gambar 4.2 <i>Layout Pabrik (1:1000)</i> | 47 |
| Gambar 4.3 <i>Tata letak alat Proses</i> | 48 |
| Gambar 4.4 <i>Diagram Alir Kuantitatif Pabrik Fatty Alcohol dari Metil Ester dan Hidrogen dengan Kapasitas 40.000 ton/tahun</i> | 54 |
| Gambar 4.5 <i>Diagram Alir Kualitatif Pabrik Fatty Alcohol dari Metil Ester dan Hidrogen dengan Kapasitas 40.000 ton/tahun</i> | 55 |
| Gambar 4.6 <i>Diagram Pengolahan Air</i> | 61 |
| Gambar 4.8 <i>Struktur Organisasi</i> | 78 |
| Gambar 4.9 <i>Tahun vs Indeks Harga</i> | 91 |
| Gambar 4.10 <i>Grafik BEP</i> | 109 |

ABSTRAK

Prarancangan pabrik *Fatty Alcohol* (FA) dari metil ester dengan kapaitas 40.000 ton/tahun direncanakan akan dibangun di daerah Serang, Banten. Pabrik ini direncanakan akan beroperasi selama 24 jam dalam sehari selama 330 hari dalam setahun dengan jumlah pekerja sebanyak 150 orang.

Fatty Alcohol dibuat melalui reaksi hidrogenasi dengan umpan gas hidrogen berlebih sebesar 400%. Gas hidrogen sebanyak 17574,62 kg/jam direaksikan dengan cairan metil ester sebanyak 5931,43 kg/jam untuk menghasilkan FA dengan konversi 95%. Reaksi dijalankan di dalam reaktor *trickle bed* pada suhu 250°C dan tekanan 200 atm. Kebutuhan utilitas meliputi air sebanyak 19268 kg/jam, listrik sebanyak 365,07 kW, bahan bakar boiler berupa *fuel oil* sebanyak 43,18 m³/hari, dan solar sebagai bahan bakar generator untuk cadangan listrik sebanyak 26 kg/jam.

Dari hasil analisis ekonomi diperoleh *Fixed Capital Investment (FCI)* sebesar Rp 756.248.345.656- dan *Working Capital Investment (WCI)* Rp 2.600.181.297.354-. Dengan mengambil asumsi pajak sebesar 30%, didapatkan keuntungan sebelum pajak sebesar Rp 341.887.736.931- dan keuntungan setelah pajak sebesar Rp 239.321.415.852-. *Return on Investment (ROI)^b* sebelum pajak sebesar 45,21% dan *Return on Investment (ROI)^a* setelah pajak sebesar 31,65%. *Pay Out Time (POT)^b* sebelum pajak diperoleh selama 1,81 tahun dan *Pay Out Time (POT)^a* setelah pajak diperoleh selama 2,40 tahun. *Break Even Point (BEP)* diperoleh sebesar 43,15% dan *Shut Down Point (SDP)* sebesar 24,29% serta *Discounted Cash Flow Rates of Return (DCFRR)* diperoleh sebesar 17,41%.

Dari tinjauan proses, pabrik ini tergolong pabrik beresiko tinggi. Dari hasil evaluasi ekonomi yang dilakukan, didapatkan bahwa semua parameter memenuhi persyaratan pabrik beresiko tinggi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa prarancangan pabrik ini layak dikaji lebih lanjut untuk didirikan.

Kata – kata kunci: Fatty Alcohol, Metil Ester, Hidrogenasi, Trickle Bed Reactor

ABSTRACT

The pre-designed factory design of Fatty Alcohol (FA) from methyl esters with a capacity of 40,000 tons/year is planned to be built in Serang, Banten. The plant is planned to operate 24 hours a day for 330 days a year with a total of 150 workers.

Fatty alcohol is made through hydrogenation reaction with excess hydrogen gas feed of 400%. Hydrogen gas as much as 17574,62 kg/hour is reacted with liquid methyl ester as much as 5931,43 kg/hour to produce FA with 95% conversion. The reaction is carried out in a trickle bed reactor at a temperature of 250°C and a pressure of 200 atm. Utility needs include water as much as 19268 kg/hour, electricity as much as 365,07 kW, boiler fuel in the form of 43,18 m³/day of fuel oil, and diesel fuel as generator fuel for electricity reserves of 26 kg/hour.

From the results of the economic analysis, Fixed Capital Investment (FCI) amounted to Rp 756.248.345.656- and Working Capital Investment (WCI) Rp 2.600.181.297.354-. By taking a tax assumption of 30%, a pre-tax profit is Rp 341.887.736.931- and a profit after tax is Rp 239.321.415.852- was obtained. Return on Investment (ROI)_b before tax was 45,21% and Return on Investment (ROI)_a after tax was 31,65%. Pay Out Time (POT)_b before tax is obtained for 1,81 years and Pay Out Time (POT)_a after tax is obtained for 2,40 years. Break Even Point (BEP) was obtained at 45,15% and Shut Down Point (SDP) at 24,29% and Discounted Cash Flow Rates of Return (DCFRR) were obtained at 17,41%.

From the review of the process, this plant is classified as a high-risk factory. From the results of the economic evaluation conducted, it was found that all parameters met the requirements of high-risk factories. So it can be concluded that the design of this plant is worthy of further study to be established.

Key words: Fatty Alcohol, Methyl Esters, Hydrogenation, Trickle Bed Reactor

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Fatty Alcohol (FA) bisa dikatakan juga dengan lemak alkohol karena FA merupakan turunan dari lemak yang berasal dari alam atau bisa dikatakan dengan minyak alam. FA mempunyai rumus $C_{16}H_{34}O$ (1-hexadecanol) dan biasanya mempunyai atom karbon dengan jumlah genap. FA sendiri dapat diproduksi dari minyak dengan bahan alami dan minyak dengan bahan sintetis dari petrokimia. Pengklasifikasian FA dari alam atau sintetis tergantung dari bahan baku yang digunakan. Sumber FA alami bisa didapatkan dari sumber daya terbarukan, seperti lemak, minyak dan lilin nabati atau hewani. Sedangkan sumber FA sintetis biasanya didapat dari petrokimia seperti *olefin* dan *paraffin*.

FA sangat populer di dunia detergen karena memiliki toleransi yang tinggi dan lebih mudah terurai. FA dapat digunakan sebagai *emulsifier*, *emollients*, dan *thickeners* dalam industri kosmetik dan makanan. FA sendiri dapat digunakan secara luas dalam bidang industri yaitu pada industri *plasticizer*, detergen, pengelmuksi, pelumas, *softener*, kosmetik (untuk pembuatan macam-macam krim wajah), makanan sebagai anti oksidan, surfaktan, bahan anti busa, produk *intermediate*, parfum dan farmasi.

FA merupakan suatu dasar produk oleokimia yang mempunyai laju pertumbuhan yang sangat pesat sehingga dapat membantu dalam peningkatan pertumbuhan ekonomi di Indonesia dan juga kemajuan standar hidup masyarakat

Indonesia. Peningkatan permintaan bahan baku FA dunia sudah mencapai 4% pertahunnya dan di Asia yang mempunyai pertumbuhan konsumsi FA terbesar yaitu India dan China.

1.2 Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku yang berupa metil ester bisa didapatkan dari industri yang berada di Indonesia. Dan dibawah ini adalah Industri yang memproduksi metil ester, yaitu :

Tabel 1.1 *Industri Metil Ester yang berada di Indonesia*

| No | Nama Perusahaan | Kapabilitas Produksi | | Alamat Pabrik |
|----|--------------------------------|----------------------|-----------|--|
| | | MT/Tahun | kL/Tahun | |
| 1 | PT. Indo Biofuels Energy | 60.000 | 68.966 | Jl. Yos Sudarso, Kota Cilegon, Banten |
| 2 | PT Eterindo Nusa Graha | 40.000 | 45.977 | Jl. Prof. M. Amin, SH, Gresik |
| 3 | PT. Wilmar Bioenergi Indonesia | 1.050.000 | 1.206.897 | Jl. P. Belitung Kawasan Industri Dumai Pelintung |
| 4 | PT. Darmex Biofuels | 150.000 | 172.414 | Jl. Raya Bekasi KM 27, Bekasi |
| 5 | PT. Pelita Agung Agrindustri | 200.000 | 229.885 | Simpang Bangko, Ds Bumbang, Kab. Bengkalis |
| 6 | PT. Musim Mas | 850.000 | 977.011 | Pelabuhan CPIO Kabil-Batam, Nongsa, Batam, Kep. Riau |
| 7 | PT. Sintong Abadi | 30.450 | 35.000 | Jl. Duku, Kedai Ledang-Kisaran Asahan 21224 |
| 8 | PT. Multi Energi Nabati | 20.000 | 22.989 | Ganda Mekar, Cikarang Barat, Kota Bekasi 17520 |

| No | Nama Perusahaan | Kapabilitas Produksi | | Alamat Pabrik |
|----|---------------------------------------|----------------------|----------|--|
| | | MT/Tahun | kL/Tahun | |
| 9 | PT. Cemerlang Energi Perkasa | 400.000 | 459.770 | Ds Lubuk Gaung, Sei Sembilan, Dumai, Riau |
| 10 | PT. Bioenergi Pratama Jaya | 66.000 | 75.862 | Dusun Jabdan, Kec. MuaraWahau, Kutai Timur |
| 11 | PT. Ciliandra Perkasa | 250.000 | 287.356 | Surya Dumai Group Building, 5 th FL, Jl. Jend. Sudimrman 395, Pekanbaru 28116 |
| 12 | PT. Wilmar Nabati Indonesia | 690.000 | 793.103 | Jl. Kaptan Darmo Sugondo 56, Gresik 61124 |
| 13 | PT. Sinar Alam Permai | 41.400 | 47.586 | Jl. Pelabuhan CPO Sungai Kalap Kumai Hulu, Kotawaringin Barat 74181 |
| 15 | PT. Petro Andalan Nusantara | 130.500 | 150.000 | Jl. Pulau Rupert, Kawasan Industri Dumai, Pelintung |
| 16 | PT. Primanusa Palma Energi | 20.880 | 24.000 | Jl. Raya Pluit selatan Blok S No. 8J, Pluit , Jak-Ut 14440 |
| 17 | PT. Sumi Asih Oleochemical | 100.000 | 114.943 | Jl. Cempaka KM 38 Jatimulya, Tambun, Bekasi |
| 18 | PT. Eternal Buana Chemical Industries | 40.000 | 45.977 | Jl. Raya Serang KM 14, Kec. Cikupa, Kota Tangerang |
| 19 | PT. Pasadena Biofuels Mandiri | 8.909 | 10.240 | Jl. Industri Selatan IB/Blok KK 3-J-K Jababeka II, Cikarang |
| 20 | PT. Wahana Abdi Tritatehnika Sejati | 11.484 | 13.200 | Jl. Jelambar Fajar No. 32, Tubagus Angke, Jak-Ut |

| No | Nama Perusahaan | Kapasitas Produksi | | Alamat Pabrik |
|----|----------------------------------|--------------------|------------------|---|
| | | MT/Tahun | kL/Tahun | |
| 21 | PT. Alia Mada Perkasa | 9.570 | 11.000 | Pegudangan Pantai Indah, Dadap Blok HA No. 1, Kosambi Tangerang |
| 22 | PT. Damai Sentosa Cooking | 120.000 | 137.931 | Jl. Rungkut Industri IV 25 Kawasan Sier, Surabaya |
| 23 | PT. Oil Tanking Merak | 504.000 | 579.310 | Jl. Yos Sudarso, Ds Lebak Gede, Cilegon, Banten |
| 24 | PT. Tjengkareng Djaya | 72.000 | 82.759 | Daan Mogot, Jakarta |
| 25 | PT. Energi Alternatif | 7.000 | 8.046 | Jl. Kramat Raya No. 9, Kec. Tj Priok, Jakarta Utara |
| | Total Kapasitas Terpasang | 4.912.193 | 5.646.199 | |
| | Total Aktif Beroperasi | 3.887.850 | 4.468.793 | |

(Sumber : Kementerian Perindustrian Republik Indonesia, 2011)

Untuk ketersediaan bahan baku gas hidrogen dapat dipenuhi oleh perusahaan gas milik negara maupun milik swasta.

1.3 Penentuan Kapasitas

Saat ini pabrik *Fatty Alcohol* (FA) yang beroperasi di Indonesia yaitu :

Tabel 1.2 *Industri Fatty Alcohol di Indonesia*

| No. | Perusahaan | Kapasitas (ton) |
|-----|---------------------------------|------------------|
| 1 | PT. Bakrie Sumatera Plantations | 132.000 |
| 2 | PT. Domba Mas | 40.000 |
| 3 | PT. Ecogreen Oleochemicals | 419.000 |
| 4 | PT. Musim Mas | 450.000 |
| 5 | PT. Sinar Mas | 160.000 |
| | Total | 1.201.000 |

(Sumber : Badan Pusat Statistik)

Untuk mencari kapasitas produksi FA pada pabrik yang kita bangun yaitu dengan pendekatan berikut :

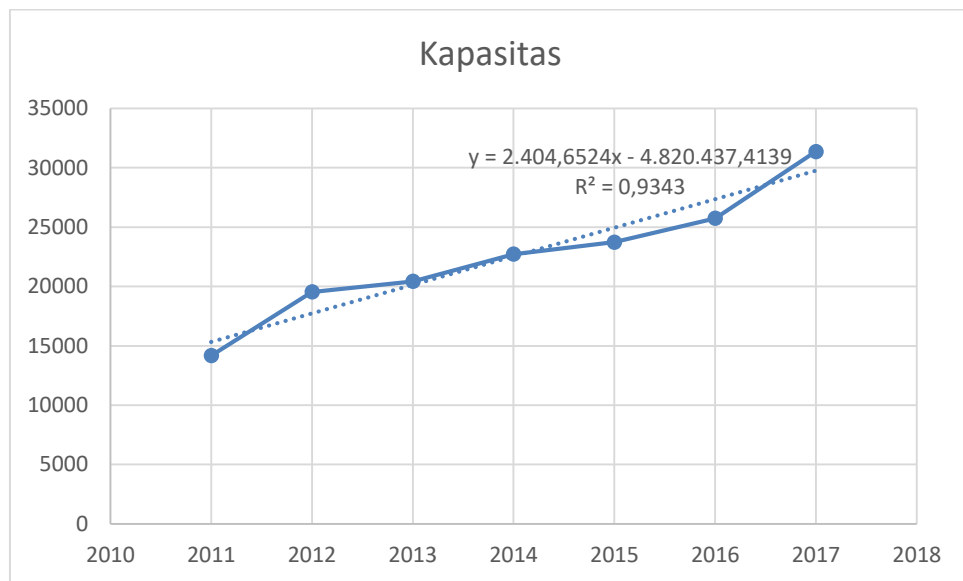
$$Y = Ax + B$$

Dimana tabel dibawah ini yaitu data import FA yang diperoleh dari data BPS:

Tabel 1.3 *Data Fatty Alcohol Import*

| Tahun | Kapasitas |
|-------|-----------|
| 2011 | 14166,85 |
| 2012 | 19541,827 |
| 2013 | 20433,864 |
| 2014 | 22728,196 |
| 2015 | 23737,849 |
| 2016 | 25747,878 |
| 2017 | 31371,577 |

(Sumber : Badan Pusat Statistik)



Gambar 1.1 Grafik Data Import *Fatty Alcohol*

Pabrik FA ini rencana akan didirikan pada tahun 2020. Dari data Badan Pusat Statistik (BPS) diatas dapat diperkirakan kapasitas pabrik menggunakan pendekatan diatas yaitu sebagai berikut :

$$Y = 2.404,65X - 4820437,41$$

$$Y = 2.404,65 \times 2020 - 4820437,41$$

$$Y = 42.982,94 \text{ ton/tahun}$$

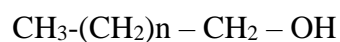
Jadi, kapasitas pabrik FA pada tahun 2020 sekitar 38.975,59 ton/tahun.

Sedangkan dari tabel 1.2 kapasitas minimum produksi pabrik yang sudah ada yaitu 40.000 ton/tahun dan kapasitas maksimumnya yaitu 450.000 ton/tahun. Dengan pertimbangan tersebut maka akan direncanakan pendirian pabrik dengan kapasitas produksi sebesar 40.000 ton/tahun.

1.4 Tinjauan Pustaka

Fatty Alcohol (FA) disebut juga dengan lemak alkohol yaitu alkohol alifatis yang merupakan turunan dari FA mempunyai panjang rantai ikatan antara C₆ dan C₂₂, *linear, monohydric*, dan juga mempunyai satu atau lebih ikatan, maka dari itu FA merupakan *aliphatic alcohols*. Sedangkan alkohol dengan rantai di atas C₂₂ cenderung akan menjadi *wax alcohols* dan *diol* yang memiliki rantai diatas C₈ merupakan FA tersubstitusi. Bahan baku yang digunakan dalam produksi pembentukan FA akan mempengaruhi karakteristik FA (primer atau sekunder, rantai lurus atau bercabang, jenuh atau tidak jenuh).

FA sendiri dapat diproduksi dari minyak dengan bahan alami dan minyak dengan bahan sintetis dari petrokimia. Pengklasifikasian FA dari alam atau sintetis tergantung dari bahan baku yang digunakan. Sumber FA alami bisa didapatkan dari sumber daya terbarukan, seperti lemak, minyak dan lilin nabati atau hewani. Sedangkan sumber FA sintetis biasanya didapat dari petrokimia seperti *olefin* dan *paraffin*.



Gambar 1.2 Rumus Bangun *Fatty Alcohol*

1. Hidrolisis lilin ester menggunakan lemak hewani

Pertama kali alkohol lemak diperoleh dari hidrolisis lilin ester yang berasal dari binatang, terutama *spermaceti* yang berasal dari sperma ikan paus. Karena di dunia ikan paus sangat susah didapat dan adanya larangan di seluruh dunia atas ikan paus yang diburu, maka sumber ini tidak lagi digunakan.

Cara pemisahan lilin *spermaceti* yaitu dengan memanaskannya menggunakan NaOH pekat yang suhunya diatas 300°C, kemudian alkohol yang didapat akan didistilasi dari sabun sodium. Dari distilasi yang digunakan maka terdapat hasil sulingan (distilat) yang mengandung alkohol tak jenuh (C₁₆-C₂₀). Untuk mencegah terjadinya *auto*-oksidasi yaitu dengan cara distilat dikeraskan dengan hidrogenasi katalitik. Dan alkohol yang diperoleh dari proses tersebut yaitu minyak sperma yang mengandung 70% wax ester, yang mencapai yield 35%, kemudian hasil yang didapat dipisahkan dalam distilasi vakum dari sabun dan air yang terbentuk. Produk utama yang didapatkan yaitu: *cetyl*, *oceyl*, dan *alcohol arachidyl*.

2. Proses reduksi sodium

Pabrik FA dari proses reduksi sodium untuk memproduksi FA dari kelapa ester pertama kali dibangun pada tahun 1930an dan yang menemukan proses tersebut adalah Beauvault dan Black pada tahun 1909. Proses yang digunakan pada pabrik yang berdiri tahun 1930an ini relatif sederhana, karena pabrik banyak menangani produk dan reaktan yang kompleks.

Larutan sodium didispersikan dalam pelarut *inert* kemudian ditambahkan ester kering dan alkohol dengan sangat hati-hati. Pada saat reaksi komplit, oksida dipecah dengan pengadukan pada air. Kemudian alkohol dicuci dan didistilasi.

Penambahan alkohol R' (sebaiknya alkohol sekunder) yang bertindak sebagai donor hidrogen. Karena ada reaksi samping, maka pemakaian sodium bisa diatas 20% dari kebutuhan stoikiometri. Reduksi berjalan selektif tanpa adanya pembuatan hidrokarbon dari isomerisasi atau hidrogenisasi rangkap.

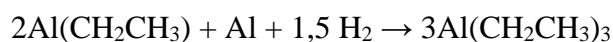
3. Proses *Ziegler* menggunakan etilene

FA pada proses *Ziegler* menggunakan Etilene ini mempunyai struktur yang sama dengan alkohol lemak alami. Dan proses ini dibagi menjadi dua proses yaitu proses Alfol dan proses Epal.

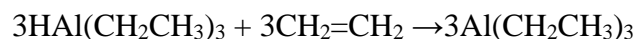
a. Proses alfol

Pada proses alfol ini hidrokarbon digunakan sebagai pelarut, proses ini melalui lima tahapan, yaitu:

1. Hidrogenasi



2. Etilasi



2/3 dari proses ini di *recycle* lagi ke dalam proses hidrogenisasi dan sisanya langsung masuk ke reaksi perkembangan

3. Reaksi perkembangan (*growth reaction*)
4. Oksidasi
5. Hidrolisa

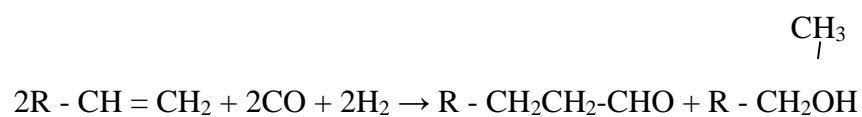
b. Proses epal

Pada proses epal ini langkah-langkah pembuatan FA hampir sama dengan proses alfol. Fleksibilitas pada proses ini lebih besar dibandingkan dengan proses alfol.

Alkohol dan *a-olefin* pada proses epal ini dapat dipasarkan kembali. Namun, modal dan biaya yang dibutuhkan juga lebih besar, karena membutuhkan proses kontrol yang lebih kompleks dan penambahan *olefin* dan alkohol rantai cabang.

4. Proses oxo menggunakan hidrogenasi *olefin*

Proses oxo ini terdiri dari reaksi antara *olefin* dengan campuran gas H₂-CO dan juga katalis yang cocok. Reaksi oxo (*hidroformilasi*) ini ditemukan oleh O.Roelen pada tahun 1938. Reaksi dibawah ini yaitu reaksi oxo :



Yield *a-olefin* diperkirakan sama dengan jumlah aldehid rantai lurus dan bercabangnya. Proses oxo dapat dilakukan dengan tiga cara sebagai berikut :

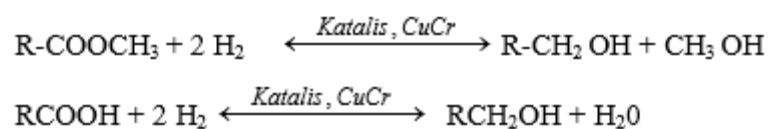
- a. Proses klasik dengan menggunakan katalis $\text{HCO}(\text{CO})_4$
- b. Proses *shell* berdasarkan kompleks *kobalt karbonil-phoephine*
- c. Proses menggunakan katalis *rhodium*

5. Hidrogenasi langsung dari lemak dan minyak

Metode ini dikembangkan dan dipatenkan oleh Henkel, yaitu *direct hydrogenation* dari minyak alami atau *trigliserida*. Metode ini memiliki persamaan yang sangat kompetitif dibandingkan dengan metode lainnya. Proses ini melalui dua tahap reaksi, yaitu:

- a. Esterifikasi asam lemak dan alkohol lemak menghasilkan ester dan air
- b. Hidrogenasi ester menghasilkan dua mol alkohol lemak

Kedua reaksi ini berlangsung secara simultan pada reaktor yang sama. Reaktor yang digunakan pada metode ini yaitu reaktor yang bertekanan tinggi yang berguna sebagai pemanas awal bagi material-umpan asam lemak. Resirkulasi alkohol lemak dan katalis pellet, dan gas hidrogen yang diumpankan secara terus menerus. Proses ini berlangsung pada tekanan (P) 200 atm dan suhu (T) 250°C. Hidrogenasi metil ester dan asam lemak menjadi FA dapat terjadi melalui reaksi berikut :



Gambar 1.3 Reaksi Pembentukan Fatty Alcohol

Proses hidrogenasi langsung ini tidak digunakan dalam industri skala besar, karena kebutuhan *temperature* reaksi yang lebih tinggi menghasilkan yield yang lebih rendah dan karena juga dengan suhu yang tinggi tersebut dapat merusak katalis. Secara konvensional, asam lemak dikonversi terlebih dahulu menjadi ester sebelum dihidrogenasi. Ada dua macam pembentukan hidrogenasi dengan tekanan tinggi, yaitu:

- *Suspension Process*
- *Fixed Bed Process*

Pada proses suspensi digunakan katalis dan metil ester yang jumlahnya sedikit kemudian diumpungkan kedalam reaktor bersamaan dengan sisa ester. Metil ester dan gas hidrogen dipanaskan secara terpisah. Katalis CuCr yang direaksikan dengan sejumlah metil ester dimasukan secara bersamaan dengan metil ester dan gas hidrogen yang telah dipanaskan kedalam reaktor tubular. Konsentrasi katalis dalam sistem setidaknya 2% umpan yang digunakan yaitu kira-kira 20 mol gas hidrogen per mol ester. Gas hidrogen ini mengakibatkan gelembung yang membantu proses *agitasi* reaktan. Reaktan dijaga pada tekanan 200 atm dan suhu 250-300°C. Selama proses ini berlangsung suhu reaksi harus dijaga, hal ini dilakukan untuk mengurangi reaksi samping berupa pembentukan hidrokarbon yang tidak diinginkan.

Dari kolom, campuran reaksi didinginkan dan memisahkan gas hidrogen dari campuran alkohol-metanol. Gas hidrogen di *recycle* dan campuran alkohol-metanol di alirkan ke unit metanol *stripping* dengan tekanan yang lebih rendah. Metanol dipisahkan dan di *recycle* untuk proses esterifikasi. FA mentah disaring

untuk memisahkan katalisnya dan sebagian besar katalisnya di *recycle*, sehingga katalis yang terpakai rata-rata 0,5-0,7% dari alkohol yang dihasilkan. Alkohol yang sudah disaring kemudian di *treatment* dengan soda pekat untuk membentuk sabun dengan ester yang tidak bereaksi. Alkohol didistilasi untuk menghilangkan hidrokarbon yang terbentuk pada sabun yang masih tertinggal di dasar kolom.

Proses hidrogenasi metil ester dengan *fixed bed process* merupakan proses yang paling banyak digunakan dalam industri. Reaksi yang terjadi dalam fasa heterogen dimana umpan gas hidrogen berlebih (400 mol) yang kemudian bereaksi dengan cairan metil ester yang terlebih dahulu sudah dipanaskan sebelum melewati *fix catalyst bed*. Proses hidrogenasi ini berlangsung pada tekanan 200 atm dan suhu 250-300°C. campuran reaksi yang berada dalam reaktor dikeluarkan dengan dua pipa, yaitu pipa untuk cairan dan pipa untuk gas. Pipa pada cairan berupa FA dengan kandungan metil ester sekitar 0.05% dan pipa gas berupa campuran antara gas hidrogen dan gas metanol. Cairan yang sudah terbentuk kemudian didinginkan dan diturunkan tekanannya sesuai dengan suhu dan tekanan operasi yang kemudian di alirkan ke tangki penyimpanan. Sedangkan pada pipa gas, diturunkan suhunya dan tekanannya kemudian dipisahkan antara gas hidrogen dan metanol. Gas hidrogen di *recycle* kembali dan metanol menjadi produk samping.

Tabel 1.4 Perbandingan Proses Pembuatan Fatty Alcohol

| Proses | Kondisi Proses | Produk Samping | Proses Pendukung | Konversi |
|-----------------------------|---|-----------------------|---|-----------------|
| Hidrolisis dari Lilin Ester | P = 1 bar T = 300°C | Sabun | Pemisahan alkohol lemak dari sabun dan air | 35 % |
| Reduksi Sodium | P = 1 bar T = 120-200 °C | Kaustik Soda | Pencampuran larutan sodium, ester kering dan alkohol | 85 % |
| Proses Suspensi | P = 20.000 - 30.000 kPa T = 250 - 300 °C | Metanol dan Gliserol | Kondensasi uap alkohol dari hasil reaksi, separasi fase gas dari alkohol cair, sentrifugasi katalis dari alkohol lemak, pemurnian alkohol lemak | 85 % |
| Proses Oxo | P = 5.000 - 10.000 kPa T = 170 - 210 °C | Propanol | Distilasi | 20-60% |
| Proses Hidrogenasi | P = 20.000 - 30.000 kPa T = 170 - 210 °C | Metanol dan Gliserol | Pemanasan Metil Ester, separasi fase gas dari alkohol cair | 95% |

Dari beberapa proses pembuatan FA di atas, proses hidrogenasi metil ester dengan *fixed bed process* termasuk kondisi pengoperasian yang cukup mudah karena proses pembuatan FA tidak memerlukan proses selanjutnya. Hasil produk yang diinginkan yaitu dengan kemurnian 95%.

BAB II

PERANCANGAN PRODUK

Dalam rangka untuk memenuhi kualitas produk agar sesuai dengan target produksi pada perancangan, maka mekanisme proses pembuatan FA dirancang berdasarkan variabel utama yaitu: spesifikasi produk, spesifikasi bahan baku dan pengendalian kualitas.

2.1 Spesifikasi Bahan Baku

2.1.1 Metil ester

| | |
|-------------------------------------|----------------------|
| Rumus Molekul | : $C_{17}H_{34}O_2$ |
| Wujud | : Cair (1 atm, 30°C) |
| Kenampakan | : Bening |
| <i>Melting Point</i> (°C) | : 27 |
| Kemurnian (%) | : > 99 |
| Densitas, 30°C (kg/m ³) | : 874,69 |
| Viskositas (pada 250°C, cP) | : 0.1954 |
| <i>Impurities</i> (%) | : 0 |
| <i>Critical Temperature</i> (°C) | : 512 |
| <i>Boiling Point</i> (1 atm, °C) | : 321 |
| <i>Specific Gravity</i> | : 0.84 |
| Berat Molekul (mol/kg) | : 270 |

(Sumber: www.oiltanking.com)

2.1.2 Hidrogen

| | |
|-------------------------------------|------------------|
| Rumus Molekul | : H ₂ |
| Wujud | : Gas |
| <i>Melting Point</i> (°C) | : -259.2 |
| Kemurnian (%) | : 99.999 % |
| Densitas, 30°C (kg/m ³) | : 0.8130 |
| <i>Impurities</i> (%) | : 0 |
| <i>Critical Temperature</i> (°C) | : -250 |
| <i>Boiling Point</i> (1 atm, °C) | : -252.8 |
| <i>Specific Gravity</i> | : 0.08342 |
| Berat Molekul (mol/kg) | : 2.016 |

(Sumber: www.tiraaustenite.com)

2.2 Spesifikasi Produk

2.2.1 Fatty Alcohol

| | |
|------------------------------------|-------------------------------------|
| Rumus Molekul | : C ₁₆ H ₃₄ O |
| Wujud | : Cair |
| Kenampakan | : Bening |
| <i>Melting Point</i> (°C) | : 49.3 |
| Kemurnian (%) | : 94,45 |
| Densitas 30°C (kg/m ³) | : 831,01 |
| Viskositas (pada 250°C, cP) | : 0.2492 |
| <i>Impurities</i> (%) | : 5,55 |

| | |
|----------------------------------|----------|
| <i>Critical Temperature</i> (°C) | : 488 |
| <i>Boiling Point</i> (1 atm, °C) | : 324 |
| <i>Specific Gravity</i> | : 0.6018 |
| Berat Molekul (mol/kg) | : 242 |

2.2.2 Metanol

| | |
|-------------------------------------|----------------------|
| Rumus Molekul | : CH ₃ OH |
| Wujud | : Cair |
| Kenampakan | : Bening |
| <i>Melting Point</i> (°C) | : -97.8 |
| Kemurnian (%) | : 100 |
| Densitas, 30°C (kg/m ³) | : 782,80 |
| Viskositas (pada 250°C, cP) | : 0.04073 |
| <i>Impurities</i> (%) | : 0 |
| <i>Critical Temperature</i> (°C) | : 240 |
| <i>Boiling Point</i> (1 atm, °C) | : 64.2 |
| <i>Specific Gravity</i> | : 0.7915 |
| Berat Molekul (mol/kg) | : 32 |

2.3 Spesifikasi Bahan Penunjang

2.3.1 *Copper Chromite*

| | |
|-------------------------------|-----------------|
| Rumus Molekul | : Cu-Cr |
| Wujud | : Padatan |
| Kenampakan | : <i>Pellet</i> |
| Densitas (kg/m ³) | : 4500 |
| Berat Molekul (mol/kg) | : 311 |

2.4 Pengendalian Kualitas

Pengendalian kualitas (*Quality Control*) pada pabrik FA ini meliputi pengendalian kualitas bahan baku, pengendalian kualitas proses dan pengendalian kualitas produk.

2.4.1 Pengendalian Kualitas Bahan Baku

Pengendalian kualitas dari bahan baku dimaksudkan untuk mengetahui sejauh mana kualitas bahan baku yang digunakan, apakah sudah sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan untuk proses atau belum. Oleh karena itu, sebelum dilakukan proses produksi, dilakukan pengujian terhadap kualitas bahan baku yang berupa metil ester dan hidrogen serta bahan pembantu *copper chromite* dengan tujuan agar bahan yang digunakan dapat diproses di dalam pabrik.

2.4.2 Pengendalian Proses Produksi

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

2.4.2.1 Alat Sistem Kontrol

- a. Sensor digunakan untuk identifikasi variabel-variabel proses. Alat-alat kontrol yang dapat digunakan adalah *manometer* untuk sensor aliran fluida, tekanan serta level, dan *thermocouple* untuk sensor suhu.
- b. *Controller* dan *indicator*, meliputi *level controller*, *temperature control*, *pressure control*, dan *flow control*.
- c. *Actuator* digunakan untuk *manipulate* agar variabelnya sama dengan *variable controller*. Alat yang digunakan adalah *automatic control valve* dan *manual hand valve*.

2.4.2.2 Aliran Sistem Kontrol

- a. Aliran *pneumatic* (aliran udara tekan) digunakan untuk *valve* dari *controller* ke *actuator*.
- b. Aliran *electric* (aliran listrik) digunakan untuk suhu dari sensor ke *controller*.
- c. Aliran mekanik (aliran gerakan atau perpindahan level) digunakan untuk *flow* dari sensor ke *controller*.

2.4.2.3 Pengendalian Kualitas Produk

Untuk mendapatkan kualitas atau mutu produk yang sesuai standart, maka diperlukan bahan yang berkualitas, pengawasan serta pengendalian terhadap proses yang ada dengan cara sistem kontrol, sehingga didapatkan produk yang berkualitas dan dapat dipasarkan.

BAB III

PERANCANGAN PROSES

3.1 Uraian Proses

Larutan metil ester dari tangki penyimpanan dinaikkan suhunya menjadi 250°C kemudian dipompakan untuk menaikkan tekanannya hingga menjadi 200 atm. Gas hidrogen yang disimpan pada kondisi 30°C dan tekanan 70 atm dialirkan ke reaktor melalui *heater* dan kompresor untuk dinaikkan suhunya menjadi 250°C dan tekanan 200 atm. Jumlah gas hidrogen yang digunakan berjumlah 400 kali dari jumlah teoritisnya agar dapat menggeser reaksi kesetimbangan kearah produk (Henkel, K.ag). Setelah itu gas hidrogen masuk dari bagian atas reaktor, sedangkan metil ester masuk dari bagian kiri atas reaktor *trickle bed* secara *co-current* dengan kondisi 200 atm dan suhu 250°C menjadi campuran heterogen.

Gas hidrogen bereaksi dengan metil ester cair di dalam reaktor dan kemudian hasil reaksi akan bereaksi dengan katalis *copper chromite* (Cu-Cr) sehingga terjadi reaksi hidrogenasi yang berlangsung pada suhu 250°C-300°C dan tekanan 200 atm. Perbandingan antara metil ester dengan hidrogen yaitu 1:2 dengan konversi reaksi sebesar 95%.

Reaksi yang terjadi adalah:

Reaksi utama:



Reaksi hidrogenasi yang berlangsung dengan *co-current* menghasilkan produk campuran heterogen yang keluar pada suhu 274°C dan tekanan 200 atm,

reaksi yang berlangsung yaitu secara *non-isothermal adiabatic*. Keluaran reaktor berupa FA yang mengandung *impurities* metil ester, dan juga metanol, serta hidrogen. Keluaran pada reaktor ini berupa gas dan cairan. Hasil bawah pada reaktor berupa cairan yaitu FA dengan *impurities* metil ester, sedangkan hasil samping bawah berupa gas yaitu hidrogen dan metanol.

Hasil keluaran reaktor yang berupa cair sudah menjadi produk jadi, yaitu *Fatty Alcohol* dan metil ester yang kemudian diturunkan tekanannya menjadi 1 atm dan suhunya menjadi 40°C lalu dimasukkan kedalam tangki penyimpanan produk. Untuk memisahkan produk gas yang berada dalam hasil samping bawah reaktor digunakan separator dimana hasil keluaran reaktor sebelum dimasukkan ke Flash Drum terlebih dahulu dilewatkan ke *condenser parsial* agar metanolnya mengembun dan bisa dipisahkan. Hasil atas Flash Drum yang diharapkan hanya H₂ dikembalikan (di *recycle*) ke reaktor sedangkan hasil bawah Flash Drum yang berupa metanol dialirkan kedalam tangki penyimpanan yang akan menjadi produk.

3.2 Spesifikasi Alat

3.2.1 Tangki Penyimpanan Bahan Baku Metil Ester

| | |
|--------|---|
| Fungsi | : Untuk menyimpan bahan baku metil ester sebanyak 1430,59 m ³ untuk keperluan 7 hari |
| Jenis | : Tangki silinder tegak dengan <i>flat bottom</i> dan <i>conical head</i> |
| Fase | : Cair |
| Jumlah | : 1 Buah |

| | | |
|-----------------|--------------------------------------|-----------|
| Kondisi Operasi | : Tekanan | = 1 atm |
| | Suhu | = 30°C |
| Spesifikasi | : Diameter | = 13,71 m |
| | Tinggi | = 10,97 m |
| | Tebal <i>Head</i> | = 0,025 m |
| Bahan | : <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i> | |
| Harga | : \$ 264.623,07 | |

3.2.2 Tangki Penyimpanan Bahan Baku Hidrogen

| | |
|-----------------|--|
| Fungsi | : Untuk menyimpan bahan baku hidrogen sebanyak 1883,53 m ³ untuk keperluan selama 7 hari |
| Jenis | : Tangki <i>Silinder Horizontal</i> |
| <i>Fase</i> | : Gas |
| Jumlah | : 1 Buah |
| Kondisi Operasi | : Tekanan = 70 atm |
| | Suhu = 30 °C |
| Spesifikasi | : Diameter = 12,19 m |
| | Panjang = 18,29 m |
| | Tebal <i>Shell</i> = 0,0048 m |
| Bahan | : <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i> |
| Harga | : \$ 247.046,23 |

3.2.3 Tangki Penyimpanan Produk *Fatty Alcohol*

| | |
|-----------------|---|
| Fungsi | : Untuk menyimpan produk <i>Fatty Alcohol</i> selama 7 hari sebanyak 1684,20 m ³ |
| Jenis | : Tangki silinder tegak dengan <i>flat bottom</i> dan <i>conical head</i> |
| <i>Fase</i> | : Cair |
| Jumlah | : 1 Buah |
| Kondisi Operasi | : Tekanan = 1 atm Suhu = 30 °C |
| Spesifikasi | : Diameter = 15,24 m Tinggi = 10,97 m Tebal <i>Head</i> = 0,0635 m |
| Bahan | : <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i> |
| Harga | : \$ 303.443,08 |

3.2.4 Tangki Penyimpanana Produk Samping Metanol

| | |
|-----------------|---|
| Fungsi | : Untuk menyimpan produk Metanol selama 7 hari sebanyak 171,99 m ³ |
| Jenis | : Tangki silinder tegak dengan <i>flat bottom</i> dan <i>conical head</i> |
| <i>Fase</i> | : Cair |
| Jumlah | : 1 Buah |
| Kondisi Operasi | : Tekanan = 1 atm Suhu = 30 °C |
| Spesifikasi | : Diameter = 7,6200 m |

| | | |
|-------|--------------------------------------|------------|
| | Tinggi | = 5,4864 m |
| | Tebal <i>Head</i> | = 0,0254 m |
| Bahan | : <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i> | |
| Harga | : \$ 78.394,85 | |

3.2.5 Reaktor

| | | |
|-----------------|---|------------|
| Fungsi | : Tempat terjadinya reaksi antara metil ester, hidrogen dan juga katalis (CuCr) | |
| Jenis | : <i>Trickle Bed Reactor</i> | |
| <i>Fase</i> | : Heterogen | |
| Jumlah | : 1 Buah | |
| Kondisi Operasi | Tekanan | = 200 atm |
| | Suhu | = 250 °C |
| Spesifikasi | Diameter | = 1,2182 m |
| | Tinggi | = 7,6786 m |
| | Tebal <i>Head</i> | = 0,2286 m |
| Bahan | : <i>Carbon Steel SA-285 Grade C</i> | |
| Harga | : \$ 8.612.880,33 | |

3.2.6 Flash Drum

| | |
|-----------------|--|
| Fungsi | : Memisahkan campuran antara fasa uap-cair yaitu metanol dan gas hidrogen yang keluar dari kondensor parsial |
| Jenis | : Tangki <i>silinder vertikal</i> |
| Jumlah | : 1 Buah |
| Kondisi Operasi | : Tekanan = 200 atm Suhu = 20 °C |
| Spesifikasi | : Diameter = 1,0668 m Tinggi = 3,8275 m Tebal <i>Head</i> = 0,0191 m |
| Bahan | : <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i> |
| Harga | : \$ 13.587,00 |

3.2.7 Expansion Valve (EV-01)

| | |
|-------------|--|
| Fungsi | : Menurunkan tekanan produk <i>Fatty Alcohol</i> dari tekanan 200 atm ke tekanan 1 atm |
| Jenis | : <i>Gate Valve</i> |
| Ukuran Pipa | : ID = 0,0351 m Sch N= 40 NPS = 1¼ |
| Bahan | : <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i> |
| Harga | : \$4200 |

3.2.8 *Expansion Valve (EV-02)*

| | |
|-------------|--|
| Fungsi | : Menurunkan tekanan produk metanol dari tekanan 200 atm ke tekanan 1 atm dari hasil bawah keluaran bawah Flash Drum |
| Jenis | : <i>Gate Valve</i> |
| Ukuran Pipa | : ID = 0,0409 m Sch N= 40 NPS = 3/8 |
| Bahan | : <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i> |
| Harga | : \$2000 |

3.2.9 *Heat Exchanger (HE-01)*

| | |
|---------------------|--|
| Fungsi | : Memanaskan bahan baku metil ester sebanyak 5931,43 kg/jam dari tangki penyimpanan ke reaktor |
| Jenis | : <i>Double Pipe</i> |
| Beban Panas | : 3408451,29 kJ/jam |
| Luas Transfer Panas | : 137,57 ft ² |
| Panjang | : 12 ft |
| <i>Annulus</i> | |
| Fluida Panas | : <i>Steam</i> |
| Ukuran | : - ID = 3,068 in : - OD = 3,5 in |
| <i>Inner Pipe</i> | |

| | |
|------------------------------|---|
| Fluida Dingin | : Metil Ester |
| Ukuran | : - ID = 2,067 in |
| | : - OD = 2,38 in |
| <i>Dirt Factor Min</i> | : 0,002 hr.ft ² .°F/Btu |
| <i>Dirt Factor Available</i> | : 0,0033 hr.ft ² .°F/Btu |
| Catatan | : <i>Heat Exchanger</i> (HE-01) memenuhi syarat, karena R_d <i>available</i> > R_d min |
| Bahan | : <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i> |
| Harga | : \$ 19.949,17 |

3.2.10 Heat Exchanger (HE-02)

| | |
|---------------------|--|
| Fungsi | : Memanaskan bahan baku Hidrogen sebanyak 83,48 kg/jam dari tangki penyimpanan ke reaktor |
| Jenis | : <i>Double Pipe</i> |
| Beban Panas | : 164351,23 kJ/jam |
| Luas Transfer Panas | : 89,06 ft ² |
| Panjang | : 12 ft |
| <i>Annulus</i> | |
| Fluida Panas | : Hidrogen |
| Ukuran | : - ID = 2,067 in |
| | : - OD = 2,38 in |
| <i>Inner Pipe</i> | |
| Fluida Dingin | : <i>Steam</i> |

| | |
|-----------------------|--|
| Ukuran | : - ID = 1,38 in |
| | : - OD = 1,66 in |
| Dirt Factor Min | : 0,002 hr.ft ² .°F/Btu |
| Dirt Factor Available | : 0,0382 hr.ft ² .°F/Btu |
| Catatan | : <i>Heat Exchanger</i> (HE-02) memenuhi syarat, karena R_d <i>available</i> > R_d min |
| Bahan | : <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i> |
| Harga | : \$ 1.941,00 |

3.2.11 *Heat Exchanger* (HE-03)

| | |
|---------------------|--|
| Fungsi | : Memanaskan bahan baku Hidrogen dengan impuritas metanol keluaran Flash Drum sebanyak 17776,17 kg/jam |
| Jenis | : <i>Shell and Tube</i> |
| Beban Panas | : 39152368,4219 kJ/Jam |
| Luas Transfer Panas | : 2137,5125 ft ² |
| Panjang | : 16 ft |
| <i>Shell Side</i> | |
| Fluida Panas | : <i>Steam</i> |
| Ukuran | : - ID = 33 in |
| | : - <i>Baffle Space</i> = 6,6 in |
| | : - pass = 1 |

Tube Side

| | |
|---------------|------------------------|
| Fluida Dingin | : Hidrogen |
| Ukuran | : - Jumlah Tube = 522 |
| | : - OD, BWG = 1 in; 16 |
| | : - ID = 0,870 in |
| | : - Pass = 2 |

Dirt Factor Min : 0,0020 hr.ft².°F/Btu

Dirt Factor Available : 0,0137 hr.ft².°F/Btu

Catatan : *Heat Exchanger* (HE-03) memenuhi syarat, karena R_d *available* > R_d min

Bahan : *Carbon Steel SA-283 Grade C*

Harga : \$ 148.810,04

3.2.12 Heat Exchanger (HE-04)

Fungsi : Memanaskan bahan baku Hidrogen sebelum masuk ke reaktor 17859,65 kg/jam

Jenis : *Shell and Tube*

Beban Panas : 19609544,2978 kJ/Jam

Luas Transfer Panas : 2510,8053 ft²

Panjang : 16 ft

Shell Side

Fluida Panas : *Steam*

Ukuran : - ID = 35 in

: - *Baffle Space* = 7 in

: - pass = 1

Tube Side

Fluida Dingin : Hidrogen

Ukuran : - Jumlah Tube = 608

: - OD, BWG = 1 in; 16

: - ID = 0,870 in

: - Pass = 1

Dirt Factor Min : 0,0020 hr.ft².°F/Btu

Dirt Factor Available : 0,0090 hr.ft².°F/Btu

Catatan : *Heat Exchanger* (HE-03) memenuhi syarat, karena R_d
available > R_d min

Bahan : *Carbon Steel SA-283 Grade C*

Harga : \$ 159.593,38

3.2.13 Cooler (CL-01)

Fungsi : Mendinginkan produk *Fatty Alcohol* sebanyak
5050,5050 kg/jam

Jenis : *Double Pipe*

Beban Panas : 1068042,54 kJ/jam

Luas Transfer Panas : 95,80 ft²

Panjang : 16 ft

Annulus

Fluida Panas : *Fatty Alcohol*
 Ukuran : - ID = 3,068 in
 : - OD = 3,5 in

Inner Pipe

Fluida Dingin : Air Pendingin
 Ukuran : - ID = 2,067 in
 : - OD = 2,38 in

Dirt Factor Min : 0,002 hr.ft².°F/Btu

Dirt Factor Available : 0,0073 hr.ft².°F/Btu

Catatan : *Cooler* (CL-01) memenuhi syarat, karena *Rd available* >
Rd min

Bahan : *Carbon Steel SA-283 Grade C*

Harga : \$ 105.245,36

3.2.14 Condensor Parsial (CDP-01)

Fungsi : Mengembunkan methanol sebanyak 667,8354 kg/jam yang keluar dari Reaktor dari suhu 274 °C menjadi suhu 20 °C

Jenis : *Shell and Tube*

Beban Panas : 60347753,4709 kJ/jam

Luas Transfer Panas : 1801,1784 ft²

Panjang : 16 ft

Shell Side

Fluida Panas : Heterogen (Metanol dan Hidrogen)

Ukuran : - ID = 31 in

: - *Baffle Space* = 6,2 in

: - pass = 1

Tube Side

Fluida Dingin : Air

Ukuran : - Jumlah *Tube* = 188

: - OD, BWG = 1 in; 16

: - ID = 0,870 in

: - Pass = 4

Dirt Factor Min : 0,0090 hr.ft².°F/Btu

Dirt Factor Available : 0,0063 hr.ft².°F/Btu

Catatan : *Condensor Parsial* (CDP-01) memenuhi syarat, karena R_d
available > R_d min

Bahan : *Carbon Steel SA-283 Grade C*

Harga : \$ 305.492,92

3.2.15 Pompa (P-01)

| | |
|-------------------|---|
| Fungsi | : Menaikkan tekanan metil ester dari tangki penyimpanan bahan baku dari tekanan 1 atm menjadi 200 atm |
| Jenis | : Pompa <i>Sentrifugal</i> |
| Ukuran Pipa | : ID = 4,026 in Sch N = 40 NPS = 4 |
| Total <i>Head</i> | : 1066,32 m |
| Motor Penggerak | : 162 HP, 3500 rpm |
| Jumlah | : 2 (1 cadangan) |
| Bahan | : <i>Cast iron API-610</i> |
| Harga | : \$ 7.009,17 |

3.2.19 Pompa (P-02)

| | |
|-------------------|---|
| Fungsi | : Mengalirkan produk FA ke tangki penyimpanan sebanyak 5050,5050 kg/jam |
| Jenis | : Pompa <i>Sentrifugal</i> |
| Ukuran Pipa | : ID = 3,068 in Sch N = 40 NPS = 3 |
| Total <i>Head</i> | : 5,18 m |
| Motor Penggerak | : 0,75 HP, 3500 rpm |
| Jumlah | : 2 Buah (1 cadangan) |

Bahan : *Cast iron API-610*

Harga : \$ 6793,50

3.2.20 Pompa (P-03)

Fungsi : Mengalirkan Produk metanol ke tangki penyimpanan sebanyak 667,17 kg/jam

Jenis : Pompa *Sentrifugal*

Ukuran Pipa : ID = 0,824 in

Sch N = 40

NPS = 1/2

Total *Head* : 10,64 m

Motor Penggerak : 0,5 HP, 3500 rpm

Jumlah : 2 Buah (1 cadangan)

Bahan : *Cast iron API-610*

Harga : \$ 4.313,33

3.2.21 Compressor (C-01)

Fungsi : Menaikkan tekanan gas hidrogen dari tekanan 70 atm ke tekanan 200 atm sebanyak 83,48 kg/jam

Jenis : *Compressor Sentrifugal*

Jumlah *Stage* : 1 *Stage*

Motor Pengaduk : 46,63 HP

Bahan : *Carbon Steel SA-283 Grade C*

Harga : \$ 12.940,00

3.3 Perencanaan Produksi

3.3.1 Analisa Kebutuhan Bahan Baku

Pemilihan kapasitas perancangan didasarkan pada kebutuhan impor *Fatty Alcohol* (FA) di Indonesia, tersedianya bahan baku serta ketentuan kapasitas minimal. Kebutuhan akan FA dari tahun ke tahun mengalami peningkatan. Hal ini menunjukkan pesatnya perkembangan industri kimia di Indonesia.

Diperkirakan kebutuhan FA akan terus meningkat ditahun-tahun yang akan datang sejalan dengan berkembangnya industri-industri yang menggunakan FA sebagai bahan bakunya dan sebagai bahan tambahan. Dan dengan melihat kapasitas pabrik-pabrik FA yang telah berdiri di Indonesia dan masih beroperasi, sehingga dapat ditetapkan kapasitas pabrik FA yang akan didirikan sebesar 40.000 ton/tahun.

Untuk menentukan kapasitas produksi pabrik, ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan, yaitu:

1. Proyeksi kebutuhan dalam negeri

Berdasarkan data statistik yang diterbitkan oleh *Badan Pusat Statistik* (BPS) tentang kebutuhan impor dan ekspor FA di Indonesia dari tahun ke tahun cenderung mengalami peningkatan. Dengan pertimbangan tersebut diharapkan kapasitas pabrik yang ingin didirikan dapat meningkatkan kapasitas ekspor serta mengurangi jumlah impor FA serta dapat meningkatkan devisa negara.

2. Ketersediaan bahan baku

Ketersediaan bahan baku yang terus menerus atau kontinu dalam pembuatan FA adalah hal yang penting dan mutlak yang harus diperhatikan pada penentuan kapasitas produksi suatu pabrik yang ingin didirikan. Kebutuhan bahan baku metil ester dapat diperoleh dari PT. Oil Tanking Merak dengan kapasitas produksi 504.000 ton/tahun, sedangkan hidrogen diperoleh dari PT. Tira Austenite yang terletak di Cilegon

3.3.2 Perencanaan Bahan Baku dan Alat Proses

Secara garis besar ada dua hal yang harus diperhatikan dalam menyusun perencanaan produksi yaitu faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internal adalah kemampuan dari suatu pabrik sedangkan faktor eksternal adalah faktor yang menyangkut kemampuan pasar terhadap jumlah produk yang dihasilkan.

1. Kemampuan Pasar

Kemampuan pasar dapat dibagi menjadi 2 kemungkinan, yaitu:

- a. Kemampuan pasar lebih besar dibandingkan kemampuan pabrik, maka rencana produksi disusun secara maksimal.
- b. Kemampuan pasar lebih kecil dibandingkan kemampuan pabrik. Oleh karena itu, perlu dicari alternatif untuk menyusun rencana produksi, misalnya:
 - 1) Rencana produksi sesuai dengan kemampuan pasar atau produksi diturunkan sesuai kemampuan pasar dengan mempertimbangkan untung dan rugi.

- 2) Rencana produksi tetap dengan mempertimbangkan bahwa kelebihan produksi disimpan dan dipasarkan tahun berikutnya.
- 3) Mencari daerah pemasaran.

2. Kemampuan Pabrik

Pada umumnya pabrik ditentukan oleh beberapa faktor, yaitu:

a. Material (bahan baku)

Dengan pemakaian material yang memenuhi kualitas dan kuantitas maka akan tercapai target produksi yang diinginkan.

b. Manusia (tenaga kerja)

Kurang terampilnya tenaga kerja akan menimbulkan kerugian pabrik, untuk itu perlu dilakukan pelatihan atau *training* pada karyawan agar keterampilannya meningkat.

c. Mesin (peralatan)

Ada dua hal yang mempengaruhi keandalan dan kemampuan dari suatu mesin, yaitu jam kerja mesin efektif dan kemampuan mesin. Jam kerja efektif adalah kemampuan suatu alat untuk beroperasi pada kapasitas yang diinginkan pada periode waktu tertentu. Kemampuan mesin adalah kemampuan suatu alat dalam proses produksi.

BAB IV

PERANCANGAN PABRIK

4.1 Lokasi Pabrik

Pemilihan lokasi sangat menentukan kelangsungan dan perkembangan suatu pabrik di masa mendatang. Ada beberapa hal yang harus dipertimbangkan dalam menentukan lokasi pabrik yang akan di bangun agar pabrik yang direncanakan akan mendapatkan keuntungan. Lokasi pabrik *Fatty Alcohol* (FA) yang akan dirancang direncanakan didirikan di daerah Serang, Banten dengan beberapa pertimbangan antara lain:



Gambar 4.1 Lokasi Pendirian Pabrik

4.1.1 Faktor Primer Penentuan Lokasi Pabrik

Faktor primer merupakan faktor yang secara langsung mempengaruhi tujuan utama dari usaha pabrik. Tujuan utama ini meliputi proses produksi dan

distribusi, adapun faktor-faktor primer yang berpengaruh secara langsung dalam pemulihan lokasi pabrik adalah:

1. Penyediaan bahan baku

Lokasi pabrik sebaiknya dekat dengan lokasi penyedia bahan baku dan pemasaran produk agar dapat menghemat biaya transportasi. Lokasi pabrik juga sebaiknya dekat dengan pelabuhan laut untuk mempermudah aktivitas ekspor produk.

Untuk menekan biaya penyediaan bahan baku, maka pabrik FA didirikan dekat dengan penghasil utama bahan baku metil ester, yaitu pabrik metil ester milik PT. Oil Tanking Merak di Banten dengan kapasitas 504.000 Ton/Tahun dan hidrogen (H_2) disuplai dari PT. Tira Austenite yang terletak di Cilegon.

2. Pemasaran Produk

Pemasaran merupakan salah satu hal yang sangat mempengaruhi studi kelayakan suatu proses. Dengan adanya pemasaran yang tepat, maka pabrik akan mendapatkan keuntungan dan dapat menjamin keberlangsungan pabrik. Produk yang dihasilkan diharapkan dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan FA dalam negeri dan juga untuk kebutuhan ekspor Indonesia.

3. Transportasi

Untuk mempermudah lalu lintas pembelian bahan baku dan pendistribusian produk dan pemasarannya, pabrik yang dirancang direncanakan akan didirikan di Serang, Banten. Wilayah Banten terletak pada lokasi yang strategis sehingga sarana dan prasarana mudah untuk dijangkau

seperti jalan raya dan pelabuhan. Sehingga diharapkan aktivitas transportasi akan kebutuhan pabrik dapat berjalan dengan baik.

4. Tenaga Kerja

Tenaga kerja merupakan modal yang utama dalam pendirian suatu pabrik. Sebagian besar tenaga kerja yang dibutuhkan adalah tenaga kerja yang berpendidikan kejuruan atau menengah dan sebagian sarjana. Untuk tenaga kerja dengan kualitas tertentu dapat dengan mudah diperoleh meski tidak dari daerah setempat. Sedangkan untuk tenaga kerja buruh dapat diambil dari daerah setempat atau dari para pendatang yang mencari kerja. Selain itu, faktor kedisiplinan dan juga pengalaman kerja menjadi prioritas dalam perekrutan tenaga kerja, sehingga diperoleh tenaga kerja yang berkualitas.

5. Utilitas

Utilitas yang diperlukan adalah air, bahan bakar dan listrik. Kebutuhan air dapat dipenuhi dengan baik dan murah karena pada area kawasan ini memiliki sumber aliran sungai, yaitu sungai Ciujung. Sarana lain seperti bahan bakar dan listrik dapat diperoleh dengan cukup mudah.

4.1.2 Faktor Sekunder Penentuan Lokasi Pabrik

Faktor sekunder tidak secara langsung berperan dalam proses industri, akan tetapi sangat berpengaruh dalam kelancaran proses produksi dari pabrik tersebut. Adapun faktor-faktor sekunder tersebut antara lain:

1. Perluasan Area Unit

Pemilihan lokasi pabrik berada di area perkebunan yang memungkinkan adanya perluasan pabrik dengan tidak mengganggu pemukiman penduduk.

2. Perizinan

Lokasi pabrik dipilih pada daerah khusus untuk kawasan industri, sehingga memudahkan dalam perijinan pendirian pabrik. Pengaturan tata letak pabrik merupakan bagian yang penting dalam proses pendirian pabrik, hal-hal yang perlu diperhatikan antara lain:

- a. Segi keamanan kerja terpenuhi
- b. Pengoperasian, pengontrolan, pengangkutan, pemindahan maupun perbaikan semua peralatan proses dapat dilakukan dengan mudah dan aman.
- c. Tanah yang tersedia untuk lokasi pabrik dengan harga terjangkau dan masih cukup luas.
- d. Pemanfaatan area tanah seefisien mungkin
- e. Transportasi yang baik dan efisien

3. Prasarana dan Fasilitas Sosial

Prasarana seperti jalan dan transportasi lainnya harus tersedia. Selain itu, fasilitas-fasilitas sosial seperti sarana pendidikan, ibadah, hiburan, bank dan perumahan agar dapat meningkatkan kesejahteraan dan taraf hidup.

Dengan pertimbangan di atas maka dapat disimpulkan bahwa daerah tersebut layak dijadikan tempat pendirian pabrik FA di Indonesia.

4.2 Tata Letak Pabrik

Tata letak pabrik adalah tempat kedudukan dari bagian-bagian pabrik yang meliputi tempat bekerjanya karyawan, tempat peralatan, tempat penyimpanan bahan baku dan produk, dan sarana-sarana lain seperti utilitas, taman dan tempat parkir. Secara garis besar tata letak pabrik dibagi menjadi beberapa daerah utama, yaitu:

4.2.1 Daerah administrasi atau perkantoran dan laboratorium

Daerah administrasi merupakan pusat kegiatan administrasi pabrik yang mengatur kelancaran operasi. Laboratorium sebagai pusat pengendalian kualitas dan kuantitas bahan yang akan diproses serta produk yang akan dijual.

4.2.2 Daerah Proses dan Ruang Kontrol

Merupakan daerah tempat alat-alat proses di letakkan dan tempat proses berlangsung. Ruang kontrol sebagai pusat pengendalian berlangsungnya proses

4.2.3 Daerah Pergudangan, umum, bengkel dan garasi

Pergudangan yaitu tempat penyimpanan produk sebelum dipasarkan, sedangkan bengkel tempat untuk memperbaiki alat atau mesin transportasi yang mengalami kerusakan.

4.2.4 Daerah Utilitas dan *Power Station*

Merupakan daerah dimana penyediaan air dan tenaga listrik dipusatkan. Adapun perincian luas tanah untuk pendirian pabrik dapat di lihat pada tabel berikut:

Tabel 4.1 *Perincian luas tanah dan bangunan pabrik*

| No. | Bangunan/Area | Luas, m² |
|-----------------------|--------------------------------|----------------------------|
| 1 | Taman | 700 |
| 2 | Pos Jaga 1 | 25 |
| 3 | Pos Jaga 2 | 25 |
| 4 | Tempat Parkir Kendaraan Ringan | 375 |
| 5 | Tempat Parkir Kendaraan Berat | 500 |
| 6 | perkantoran | 1.000 |
| 7 | Kantin | 100 |
| 8 | Aula | 300 |
| 9 | Laboratorium | 150 |
| 10 | Bengkel | 250 |
| 11 | Gudang | 600 |
| 12 | Masjid | 600 |
| 13 | Ruang Kontrol proses | 300 |
| 14 | Ruang kontrol utilitas | 200 |
| 15 | poliklinik dan koperasi | 150 |
| 16 | Pemadam Kebakaran | 250 |
| 17 | Area proses | 3.600 |
| 18 | Area Utilitas | 2.500 |
| 19 | Area tangki Penyimpan | 2.500 |
| 20 | Area Pengolahan Limbah | 900 |
| 21 | Area Pengembangan | 3.600 |
| 22 | Jalan | 4.400 |
| Luas Total, m2 | | 22.725 |

4.3 Tata Letak Alat Proses

Ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam perancangan tata letak alat proses pada suatu pabrik, yaitu :

4.3.1 Aliran Bahan Baku dan Produk

Untuk menunjang kelancaran dan keamanan suatu produksi maka jalannya aliran bahan baku dan produk harus dilakukan dengan tepat dan dengan begitu akan memberikan keuntungan ekonomi yang besar.

4.3.2 Aliran Udara

Tujuan dari diperhatikannya aliran udara atau arah hembusan angin yang berada di sekitar area pabrik yaitu agar menghindari *stagnasi* udara pada suatu tempat berupa penumpukan atau akumulasi bahan kimia berbahaya yang dapat membahayakan keselamatan pekerja.

4.3.3 Pencahayaan

Pencahayaan atau penerangan pada pabrik sangat penting maka dari itu pencahayaan harus memadai, dan pencahayaan pada tempat-tempat berbahaya atau beresiko tinggi harus diberi penerangan tambahan.

4.3.4 Lalu Lintas Manusia dan Kendaraan

Lalu lintas untuk manusia dan kendaraan harus dipisahkan, hal ini untuk mencegah terjadinya kecelakaan dalam area pabrik.

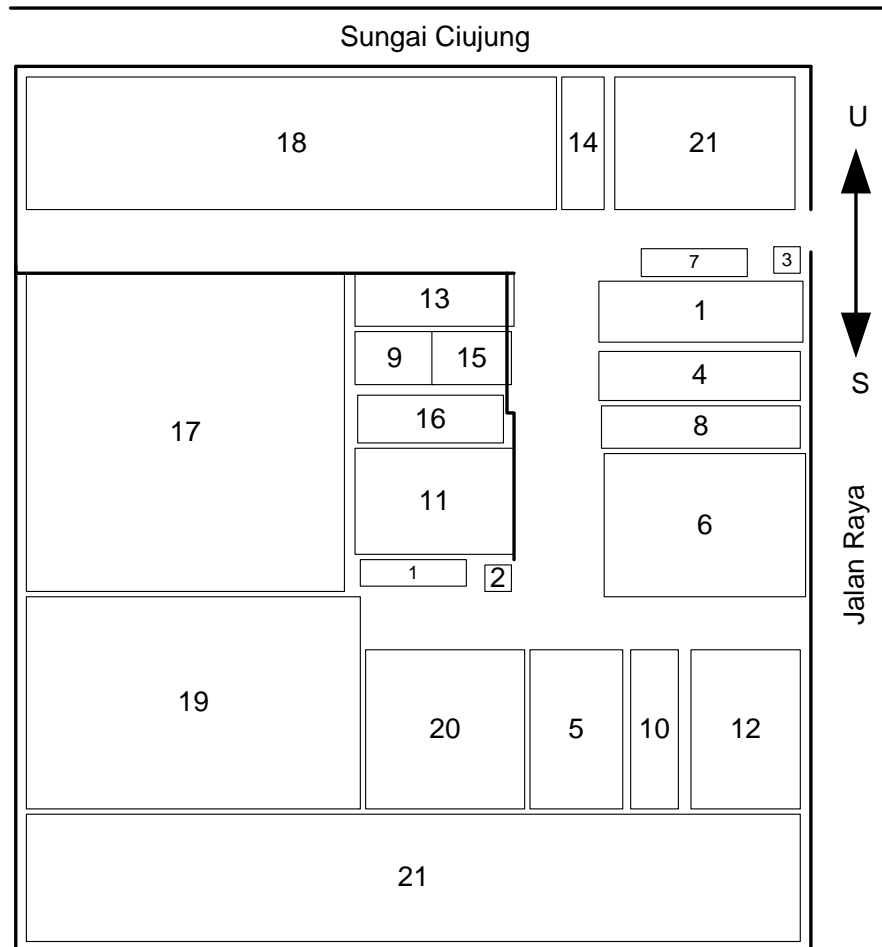
4.3.5 Pertimbangan Ekonomi

Penempatan alat-alat proses pada pabrik harus diusahakan agar dapat menekan biaya operasi dan menjamin kelancaran serta keamanan produksi pabrik sehingga dapat menguntungkan dari segi ekonomi.

4.3.6 Jarak antar Alat Proses

Alat proses yang mempunyai suhu dan tekanan yang tinggi sebaiknya dipisahkan dengan alat proses lainnya, hal ini dilakukan apabila terjadi ledakan

atau kebakaran pada alat tersebut tidak membahayakan alat-alat proses lainnya dan juga mengurangi resiko area kebakaran agar tidak semakin luas. Berikut *layout* dengan skala 1:1000 dan tata letak pabrik :



Gambar 4.2 *Layout Pabrik (1:1000)*

Keterangan:

1 = Taman

2 = Pos Jaga 1

3 = Pos Jaga 3

4 = Parkir kendaraan ringan

12 = Masjid

13 = Ruang kontrol proses

14 = Ruang kontrol utilitas

15 = Poliklinik dan koperasi

5 = Parkir kendaraan berat

16 = Pemadam kebakaran

6 = Perkantoran

17 = Area Proses

7 = Kantin

18 = Area utilitas

8 = Aula

19 = Area tangki penyimpanan

9 = Laboratorium

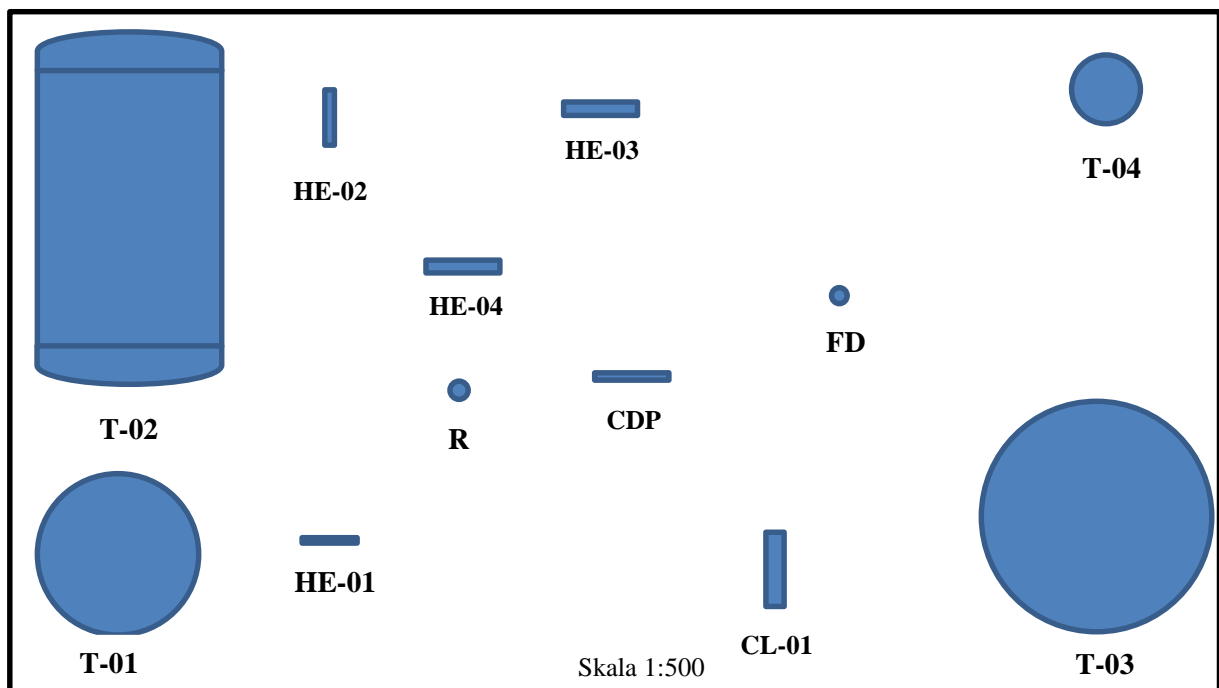
20 = Area pengolahan limbah

10 = Bengkel

21 = Area pengembangan

11 = Gudang

22 = Jalan



Gambar 4.3 Tata letak alat Proses (1:500)

Keterangan Gambar :

R : Reaktor

HE-01 : Heater untuk memanaskan metil ester

HE-02 : Heater untuk memanaskan hidrogen dari tangki bahan baku

HE-03 : Heater untuk memanaskan hidrogen keluaran separator

HE-04 : Heater untuk memanaskan hidrogen sebelum masuk ke reaktor

CL-01 : Cooler untuk mendinginkan Fatty Alcohol keluaran reaktor

FD : Flash Drum

CDP : Condensor Parsial

T-01 : Tangki Penyimpanan Bahan Baku Metil Ester

T-02 : Tangki Penyimpanan Bahan Baku Hidrogen

T-03 : Tangki Penyimpanan Produk *Fatty Alcohol*

T-04 : Tangki Penyimpanan Produk Metanol

4.4 Alir Proses dan Material

4.4.1 Neraca Massa

4.4.1.1 Neraca Massa Total

Tabel 4.2 *Neraca Massa Total*

| Komponen | Input, Kg/jam | Output, Kg/jam |
|-----------------|----------------------|-----------------------|
| Metil ester | 5931,43 | 296,57 |
| Hidrogen | 17574,61 | 17491,13 |
| FA | | 5050,50 |
| Metanol | | 667,83 |
| Total | 23506,05 | 23506,05 |

4.4.1.2 Neraca Massa per Alat

a. Reaktor *Trickle Bed* (R)

Tabel 4.3 *Neraca Massa Reaktor*

| Komponen | Input, Kg/jam | Output, Kg/jam |
|------------------|----------------------|-----------------------|
| Metil ester | 5931,43 | 296,571629 |
| Hidrogen | 17574,61 | 17491,14 |
| FA | | 5050,51 |
| Metanol | 285,03 | 952,87 |
| Sub Total | 23791,08 | 23791,08 |
| Total | 23791,08 | 23791,08 |

b. *Flash Drum* (FD-01)

Tabel 4.4 *Neraca Massa Flash Drum*

| Komponen | Input, Kg/jam | Output, Kg/jam | |
|-----------------|----------------------|-----------------------|-------------|
| | | Gas | Cair |
| Hidrogen | 17491,1356 | 17491,14 | 0 |
| Metanol | 952,8701 | 285,03 | 667,83 |
| Sub Total | 18444,0057 | 17776,17 | 667,83 |
| Total | 18444,0057 | 18444,0057 | |

4.4.2 Neraca Panas

4.4.2.1 Reaktor *Trickle Bed*

Suhu referensi = 30°C

Tabel 4.5 *Neraca Panas Reaktor*

| Komponen | ΔH_{in}, (kJ/jam) | ΔH_{out}, (kJ/jam) |
|-----------------|---|--|
| Metil ester | 1109068,87 | 55453,44 |
| Hidrogen | 53429432,77 | 53175642,97 |
| FA | | 1005314,44 |
| Metanol | | 379911,65 |
| Panas Reaksi | 3689814,13 | |
| Panas Hilang | | 3767634,99 |
| Total | 58383957,49 | 58383957,49 |

4.4.2.2 *Heat Exchanger (HE-01)*

Tabel 4.6 *Neraca Panas Heater-01*

| Komponen | ΔH_{in} | ΔH_{out} |
|-----------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| Metil ester | 68663,55 | 3477114,84 |
| Q pemanasan | 3408451,29 | |
| Total | 3477114,84 | 3477114,84 |

4.4.2.3 Heat Exchanger (HE-02)

Tabel 4.7 Neraca Panas Heater-02

| Komponen | ΔH_{in} | ΔH_{out} |
|-----------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| Hidrogen | 6005,28 | 170356,50 |
| Q pemanasan | 164351,23 | |
| Total | 170356,50 | 170356,50 |

4.4.2.4 Heat Exchanger (HE-03)

Tabel 4.8 Neraca Panas Heater-03

| Komponen | ΔH_{in} | ΔH_{out} |
|-----------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| Hidrogen | 1257221,41 | 37809427,8 |
| Methanol | 2460,29 | 83258,93 |
| Q pemanasan | 36633005,02 | |
| Total | 37892686,72 | 37892686,72 |

4.4.2.5 Heat Exchanger (HE-04)

Tabel 4.9 Neraca Panas Heater-04

| Komponen | ΔH_{in} | ΔH_{out} |
|-----------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| Hidrogen | 38073138,65 | 57682682,95 |
| | | |
| Q pemanasan | 19609544,3 | |
| Total | 57682682,95 | 57682682,95 |

4.4.2.6 Cooler (CL-01)

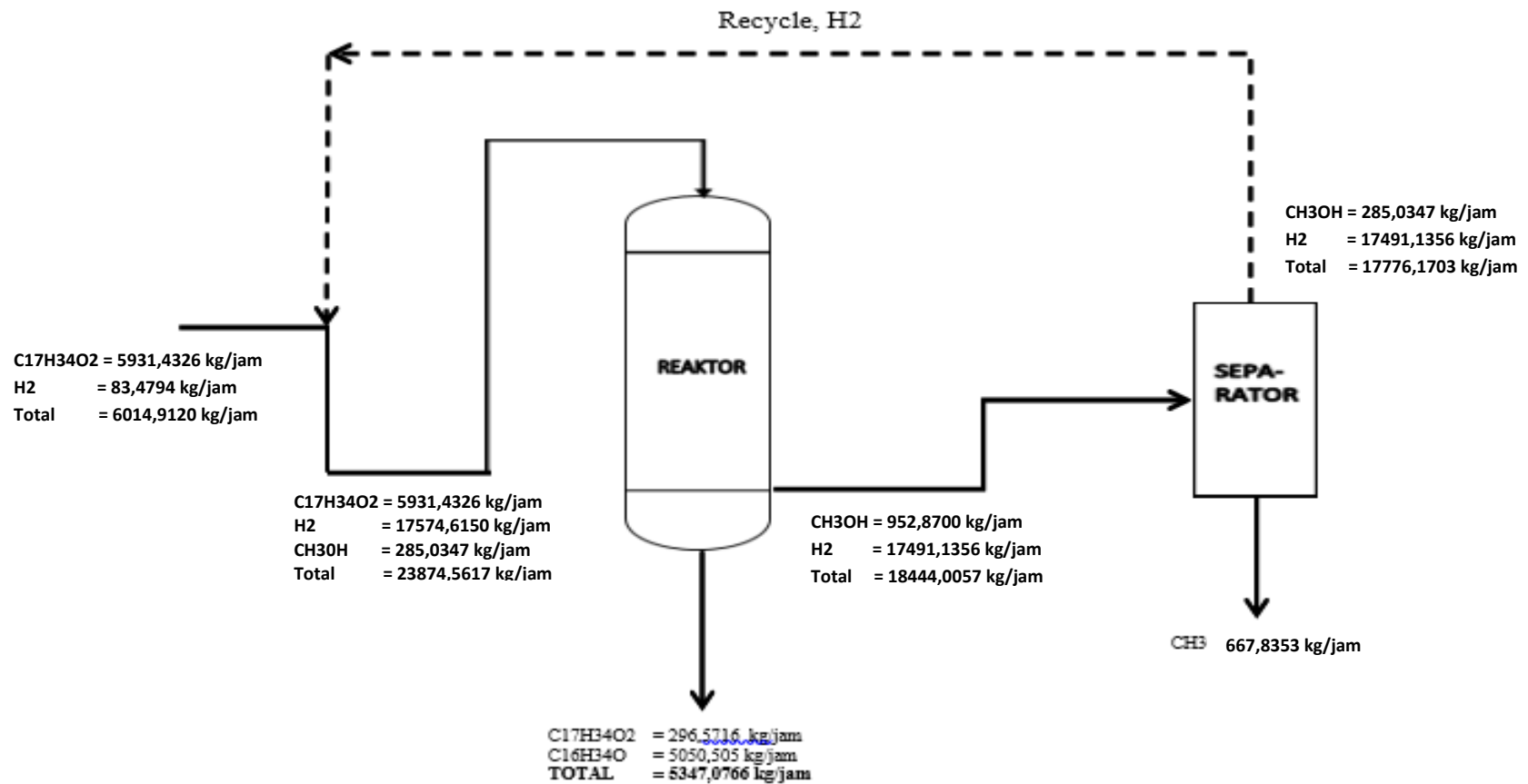
Tabel 4.10 *Neraca Panas Cooler-01*

| Komponen | ΔH_{in} | ΔH_{out} |
|-----------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| Metil ester | 195757,95 | 3433,18 |
| FA | 942463,70 | 44843,73 |
| Q pendinginan | | 1089944,75 |
| Total | 1138221,66 | 1138221,66 |

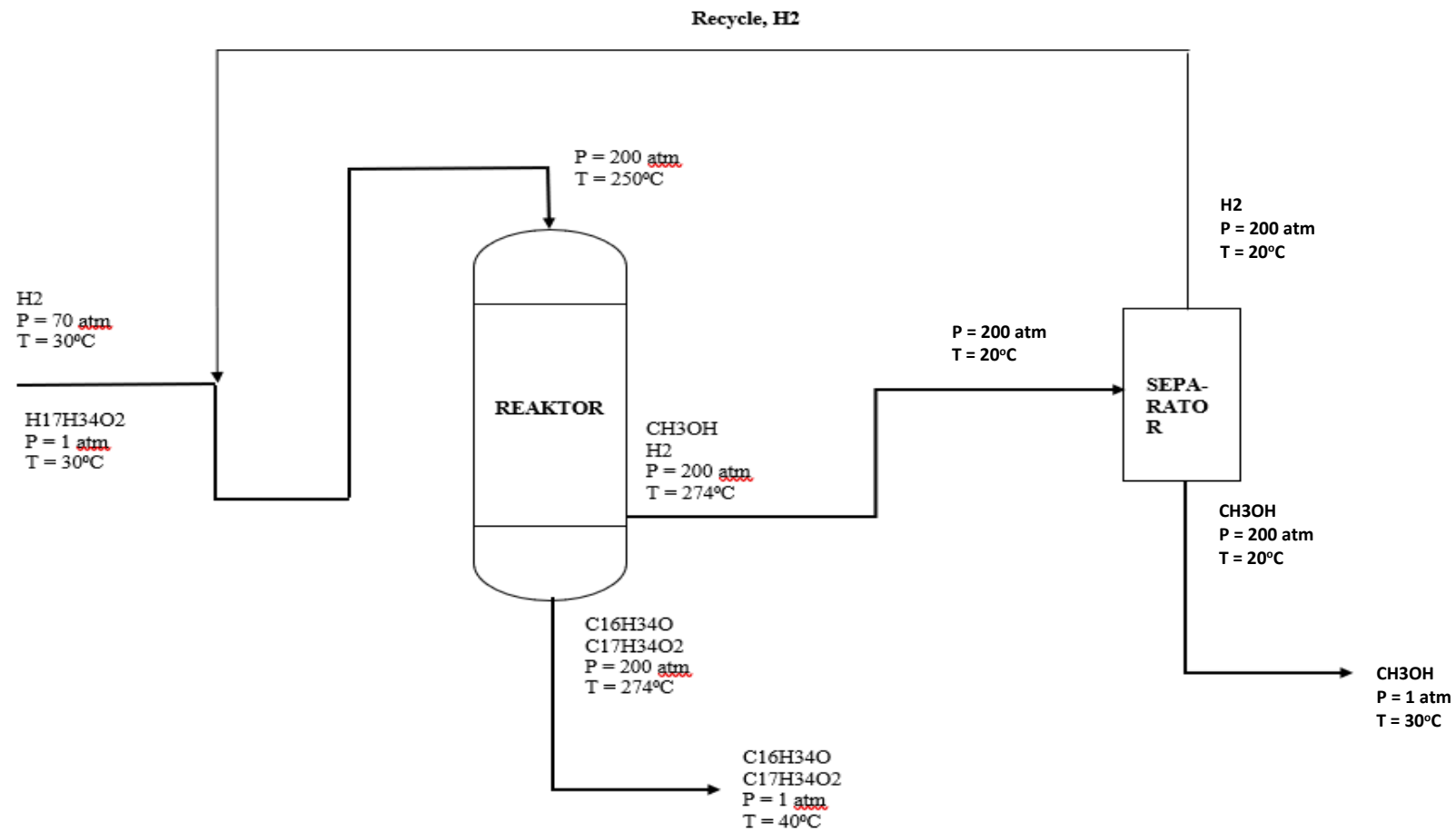
4.4.2.7 Condensor Parsial (CDP-01)

Tabel 4.11 *Neraca Panas Condenser Parsial-01*

| Komponen | ΔH_{in} | ΔH_{out} |
|-----------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| Metanol | 319581,13 | 8316,60 |
| Hidrogen | 58237598,89 | 1257221,41 |
| Q pendinginan | | 57291642,02 |
| Total | 58557180,03 | 58557180,03 |



Gambar 4.4 Diagram Alir Kuantitatif Pabrik Fatty Alcohol dari Metil Ester dan Hidrogen dengan Kapasitas 40.000 ton/tahun



Gambar 4.5 Diagram Alir Kualitatif Pabrik Fatty Alcohol dari Metil Ester dan Hidrogen dengan Kapasitas 40.000 ton/tahun

4.5 Perawatan (*Maintenance*)

Agar sarana atau fasilitas peralatan pabrik tidak gampang rusak dan produksi dapat berjalan dengan lancar, maka perlu diadakannya perawatan (*maintenance*) yaitu dengan cara memelihara dan memperbaiki setiap alat sehingga produktifitas yang dihasilkan akan tinggi dan mencapai target produksi maupun spesifikasi produk yang diharapkan.

Dalam hal perawatan ini dapat digolongkan menjadi 2 perawatan yaitu perawatan preventif dan perawatan periodik. Perawatan preventif sendiri yaitu perawatan yang dilakukan setiap hari untuk menjaga alat dari kerusakan dan kebersihan lingkungan alat. Sedangkan perawatan periodik yaitu perawatan yang dilakukan sesuai jadwal, jadi perawatan tersebut sudah terjadwal dengan buku petunjuk yang sudah ada. Penjadwalan yang dibuat tersebut di susun sedemikian rupa sehingga alat-alat mendapat perawatan khusus secara bergantian. Alat-alat tersebut memproduksi secara kontinyu dan jika mengalami kerusakan maka akan berhenti dengan sendirinya.

Perawatan (*maintenance*) alat-alat proses ini dilakukan dengan prosedur yang tepat. Hal ini bisa dilihat dari penjadwalan yang dilakukan pada setiap alat.

Perawatan mesin setiap alat-alat meliputi :

1. *Over Head* (1 x 1 tahun)

Perawatan ini merupakan perbaikan dan pengecekan serta *leveling* alat secara menyeluruh yang meliputi: pembongkaran alat, penggantian bagian-bagian alat yang sudah rusak, kemudian kondisi alat dikembalikan seperti kondisi semula.

2. *Repairing*

Perawatan ini dilakukan biasanya setelah pemeriksaan alat-alat dan memperbaiki bagian-bagian alat.

Faktor-faktor yang mempengaruhi *maintenance* yaitu :

a. Umur Alat

Semakin tua umur alat maka semakin banyak juga perawatan yang harus diberikan dan hal itu akan menambah biaya perawatan.

b. Bahan Baku

Dalam memilih bahan baku kita harus teliti karena bahan baku yang kurang berkualitas akan menyebabkan kerusakan alat sehingga alat akan lebih sering dibersihkan.

c. Tenaga Manusia

Pemanfaatan tenaga kerja manusia yang terdidik, terlatih, dan berpengalaman akan menghasilkan pekerjaan yang baik pula.

4.6 Pelayanan Teknik (Utilitas)

Demi kelancaran jalannya proses produksi maka harus didukung dengan sarana penunjang. Sarana penunjang yaitu sarana yang diperlukan selain bahan baku dan bahan pembantu agar proses produksi berjalan sesuai yang diinginkan.

Salah satu faktor yang menunjang kelancaran suatu proses produksi di dalam pabrik yaitu penyediaan utilitas. Penyediaan Utilitas meliputi :

1. Unit Penyediaan dan Pengolahan Air (*Water Treatment System*)
2. Unit Pembangkit *Steam* (*Steam Generation System*)

3. Unit Pembangkit Listrik (*Power Plant System*)
4. Unit Penyedia Udara Instrumen (*Instrument Air System*)
5. Unit Penyediaan Bahan Bakar
6. Unit Pengolahan Limbah

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

4.6.1.1 Unit Penyediaan Air

Air yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan pabrik pada umumnya yaitu air sumur, air sungai, air danau maupun air laut sebagai sumbernya. Dalam Prarancangan Pabrik *Fatty Alcohol* ini, sumber air yang digunakan berasal dari sungai Ciujung. Pertimbangan dalam penggunaan air yaitu sebagai berikut:

1. Pengolahan yang dilakukan pada air sungai relatif lebih sederhana dan biaya pengolahan pun relatif lebih murah dibandingkan dengan proses pengolahan air laut yang lebih rumit dan biaya pengolahan juga lebih mahal, karena air laut mengandung garam jadi lebih rumit pengolahannya.
2. Air sungai merupakan sumber air yang kontinuitasnya lebih tinggi, sehingga kendala kekurangan sumber air akan dapat dihindari.
3. Jumlah air sungai lebih banyak dibandingkan dengan air sumur.
4. Lokasi sungai tidak jauh dengan lokasi pabrik.

Air yang diperlukan di lingkungan pabrik digunakan untuk:

1. Air Pendingin

Air digunakan dalam media pendingin ini sudah umum digunakan, yaitu meliputi faktor-faktor berikut ini:

- a. Air merupakan materi yang dapat diperoleh dalam jumlah besar
- b. Mudah dalam pengolahan dan pengaturannya
- c. Dapat menyerap jumlah panas yang relatif tinggi persatuan volume.
- d. Tidak mudah menyusut
- e. Tidak mudah terdekomposisi

2. Air Umpan Boiler (*Boiler Feed Water*)

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam penanganan air umpan boiler adalah sebagai berikut:

- a. Zat-zat yang dapat menyebabkan korosi

Korosi yang terjadi pada boiler disebabkan karena air mengandung larutan-larutan asam, gas-gas terlarut seperti O_2 , CO_2 , H_2S dan NH_3 . O_2 termasuk penyebab terjadinya korosi pada boiler karena terjadi *aerosi* atau kontak antara O_2 dengan udara luar.

- b. Zat yang dapat menyebabkan kerak (*Scale Forming*)

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

- c. Zat yang menyebabkan *Forming*

Forming pada boiler ini disebabkan karena air yang diambil kembali dari proses pemanasan, air-air tersebut bisa saja mengandung zat-zat organik

yang tidak larut dalam jumlah besar dan efek pembusaan terjadi pada alkalitas tinggi.

3. Air Sanitasi

Air sanitasi yaitu air yang akan digunakan untuk keperluan sanitasi. Air yang digunakan ini antara lain untuk keperluan perumahan, perkantoran, laboratorium, dan masjid. Air sanitasi ini harus memenuhi kualitas sebagai berikut:

a. Syarat fisik, meliputi:

- 1) Suhu = Di bawah suhu udara
- 2) Warna = Jernih
- 3) Rasa = Tidak berasa
- 4) Bau = Tidak berbau

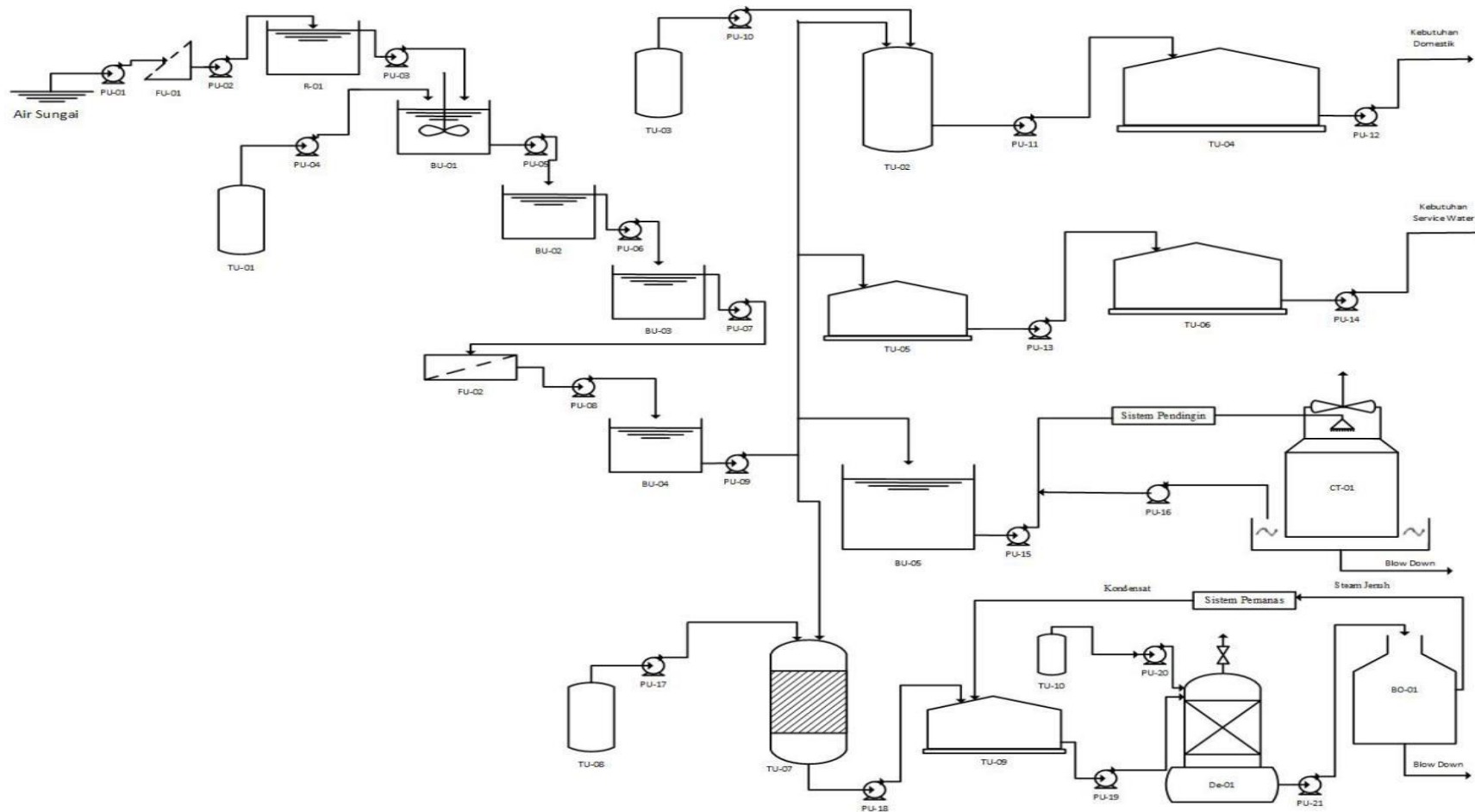
b. Syarat Kimia, meliputi:

- 1) Tidak mengandung zat organik dan anorganik yang dapat larut dalam air
- 2) Tidak mengandung bakteri

4.6.1.2 Unit Pengolahan Air

Unit Pengolahan Air

Dalam perancangan pabrik *Fatty Alcohol* ini, kebutuhan air diambil dari air sungai yang terdekat dengan pabrik. Berikut ini merupakan diagram alir pengolahan air:



Gambar 4.6 *Diagram Pengolahan Air*

Keterangan:

1. PU : Pompa Utilitas
2. FU-01 : *Screening*
3. R-01 : *Reservoir*
4. BU-01 : Bak Penggumpal (Koagulasi dan Flokulasi)
5. TU-01 : Tangki Alum
6. BU-02 : Bak Pengendap I
7. BU-03 : Bak Pengendap II
8. FU-02 : *Sand Filter*
9. BU-04 : Bak Penampung Air Bersih
10. TU-02 : Tangki Klorinasi
11. TU-03 : Tangki Kaporit
12. TU-04 : Tangki Air Kebutuhan Domestik
13. TU-05 : Tangki *Service Water*
14. TU-06 : Tangki Air Bertekanan
15. BU-05 : Bak *Cooling Water*
16. CT-01 : *Cooling Tower*
17. TU-07 : *Mixed-Bed*
18. TU-08 : Tangki NaCl
19. TU-09 : Tangki Air Demin
20. TU-10 : Tangki N₂H₄
21. De-01 : Deaerator
22. BO-01 : Boiler

Adapun tahap-tahap proses pengolahan air yang dilakukan meliputi :

- Penghisapan

Pengambilan air dari sungai dilakukan dengan cara pemompaan yang kemudian dialirkan ke penyaringan (*screening*) dan langsung dimasukkan ke dalam *reservoir*.

- Penyaringan (*Screening*)

Pada *screening*, partikel-partikel padat yang besar akan tersaring tanpa bantuan bahan kimia. Sedangkan partikel-partikel yang lebih kecil akan ikut bersama air menuju unit pengolahan selanjutnya. Penyaringan dilakukan agar kotoran-kotoran yang bersifat kasar atau besar tidak ikut ke sistem pengolahan air, maka sisi isap pompa di pasang saringan (*screen*) yang dilengkapi dengan fasilitas pembilas apabila *screen* kotor.

- Penampungan (*Reservoir*)

Air dalam penampungan di *reservoir*, kotorannya seperti lumpur yang akan mengendap.

- Koagulasi

Koagulasi merupakan proses penggumpalan akibat penambahan zat kimia atau bahan koagulan ke dalam air. Koagulan yang digunakan biasanya adalah tawas atau *Aluminium Sulfat* ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), yang merupakan garam yang berasal dari basa lemah dan asam kuat, sehingga dalam air yang mempunyai suasana basa akan mudah terhidrolisis. Untuk memperoleh sifat alkalis agar proses flokulasi dapat berjalan efektif, sering ditambahkan kapur ke dalam air. Selain itu kapur juga berfungsi untuk mengurangi atau menghilangkan

kesadahan karbonat dalam air untuk membuat suasana basa, sehingga mempermudah penggumpalan.

- Bak Pengendap I dan II

Flok dan endapan dari proses koagulasi diendapkan dalam bak pengendap I dan II.

- Proses Filtrasi

Air yang keluar dari bak pengendap II yang masih mengandung padatan tersuspensi selanjutnya dilewatkan filter untuk di filtrasi.

- Bak Penampung Air Bersih

Air dari proses filtrasi merupakan air bersih, di tampung di dalam bak penampung air bersih. Air bersih tersebut kemudian digunakan secara langsung untuk air pendingin dan air layanan (*Service Water*). Air bersih kemudian digunakan juga untuk air domestik yang terlebih dahulu di *desinfektanisasi*, dan umpan boiler terlebih dahulu di *demineralisasi*.

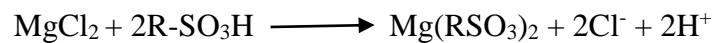
- *Demineralisasi*

Air untuk umpan ketel harus murni dan bebas dari garam-garam terlarut yang terdapat didalamnya, Untuk itu perlu dilakukan proses *demineralisasi*. Alat *demineralisasi* terdiri atas penukar kation (*cation exchanger*) dan penukar anion (*anion exchanger*). Unit ini berfungsi untuk menghilangkan mineral-mineral yang terkandung dalam air seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- dan lain-lain, dengan menggunakan resin. Air yang diperoleh adalah air bebas mineral yang akan diproses lebih lanjut menjadi air umpan boiler.

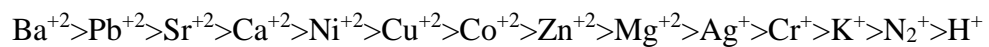
Proses *Cation Exchanger* dan *Anion Exchanger* berlangsung pada Resin *Mixed-Bed*. Resin *Mixed-Bed* adalah kolom resin campuran antara resin kation dan resin anion. Air yang mengandung kation dan anion bila dilewatkan ke Resin *Mixed-Bed* tersebut, kation akan terambil oleh resin kation dan begitu juga dengan anion yang akan terambil oleh resin anion. Saat resin kation dan anion telah jenuh oleh ion-ion, resin penukar kation dan anion akan diregenerasi kembali.

- *Cation Exchanger*

Cation Exchanger ini berisi resin penukar kation dengan formula RSO_3H , dimana pengganti kation–kation yang dikandung dalam air diganti dengan ion H^+ sehingga air yang akan keluar dari *Cation Exchanger* adalah air yang mengandung anion dan ion H^+ . Reaksi penukar kation:

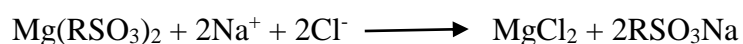


Ion Mg^{+2} dapat menggantikan ion H^+ yang ada dalam resin karena selektivitas Mg^{+2} lebih besar dari selektivitas H^+ . Urutan selektivitas kation adalah sebagai berikut:



Saat resin kation telah jenuh, maka resin penukar kation akan diregenerasi kembali. Larutan peregenerasi yang digunakan adalah NaCl .

Reaksi Regenerasi:



- *Anion Exchanger*

Anion Exchanger berfungsi untuk mengikat ion-ion negatif (*anion*) yang larut dalam air dengan resin yang bersifat basa, yang mempunyai formula $RNOH$, sehingga anion-anion seperti CO_3^{2-} , Cl^- , dan SO_4^{2-} akan membantu garam resin tersebut. Reaksi Penukar Anion:

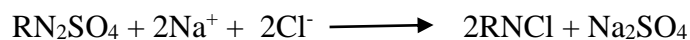


Ion SO_4^{2-} dapat menggantikan ion OH^- yang ada dalam resin karena selektivitas SO_4^{2-} lebih besar dari selektivitas OH^- . Urutan selektivitas anion adalah sebagai berikut:



Saat resin anion telah jenuh, maka resin penukar anion akan diregenerasi kembali. Larutan peregenerasi yang digunakan adalah $NaCl$.

Reaksi Regenerasi:



- Deaerator

Air yang telah mengalami *demineralisasi* masih mengandung gas-gas terlarut terutama O_2 dan CO_2 . Gas tersebut dihilangkan lebih dahulu, karena dapat menimbulkan korosi. Unit deaerator diinjeksikan bahan kimia berupa *Hidrazin* yang berfungsi menghilangkan sisa-sisa gas yang terlarut terutama oksigen sehingga tidak terjadi korosi.

Deaerator berfungsi untuk memanaskan air yang keluar dari alat penukar ion (*ion exchanger*) dan kondensat bekas sebelum dikirim sebagai air umpan ketel. Pada deaerator ini, air dipanaskan hingga $90^\circ C$ supaya gas-gas

yang terlarut dalam air, seperti O₂ dan CO₂ dapat dihilangkan. Karena gas-gas tersebut dapat menimbulkan suatu reaksi kimia yang menyebabkan terjadinya bintik-bintik yang semakin menebal dan menutupi permukaan pipa-pipa dan hal ini akan menyebabkan korosi pada pipa-pipa ketel. Pemanasan dilakukan dengan menggunakan koil pemanas di dalam deaerator.

4.6.1.3 Kebutuhan Air

1. Kebutuhan air pembangkit *steam*

Tabel 4.12 Kebutuhan air pembangkit *steam*

| Nama Alat | Jumlah (kg/jam) |
|------------------|------------------------|
| HE-01 | 2.430,57 |
| HE-02 | 117,20 |
| HE-03 | 27.919,59 |
| HE-04 | 13.983,58 |
| Total | 30.467,36 |

Perancangan dibuat *over design* sebesar 20%

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan steam} &= (100 \% + 20\%) \times 30.467,36 \\ &\text{kg/jam} \end{aligned}$$

$$= 36.560,83 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Blowdown} = 15\% \times \text{kebutuhan steam}$$

$$= 15\% \times 36.560,83 \text{ kg/jam}$$

$$= 5.484,12 \text{ kg/jam}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Steam Trap} &= 5\% \times \text{kebutuhan steam} \\
 &= 5\% \times 36.560,83 \text{ kg/jam} \\
 &= 1.828,04 \text{ kg/jam} \\
 \text{Kebutuhan air make up untuk steam} &= (5.484,12 + 1.828,04) \text{ kg/jam} \\
 &= 7.312,17 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

2. Air Pendingin

Berikut data kebutuhan untuk air pendingin untuk kebutuhan proses:

Tabel 4.13 Kebutuhan Air Pendingin

| Nama Alat | Jumlah (kg/jam) |
|--------------|-------------------|
| CL-01 | 12.797,95 |
| CDP-01 | 359.887,51 |
| Total | 372.685,46 |

Perancangan dibuat *over design* sebesar 20%, sehingga :

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan air pendingin} &= (100\% + 20\%) \times 372.685,46 \\
 &\text{kg/jam} \\
 &= 447.222,55 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

Make up air pendingin

$$\begin{aligned}
 W_m &= W_e + W_d + W_b \\
 &= 3.801,39 \text{ kg/jam} + 89,44 \text{ kg/jam} + 3.711,94 \text{ kg/jam} \\
 &= 7.602,78 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

3. Kebutuhan Air Domestik

Meliputi kebutuhan air karyawan dan kebutuhan air untuk mess.

a. Kebutuhan air karyawan

Kebutuhan air untuk 1 orang adalah 60 liter/hari (*Metcalf, tabel 3-9*)

Diambil kebutuhan air tiap orang = 60 liter/hari

= 2,56 kg/jam

Jumlah karyawan = 150 orang

Kebutuhan air untuk semua karyawan = 383,63 kg/jam

b. Kebutuhan air untuk mess

Jumlah mess = 40 rumah

Penghuni mess = 80 orang

Kebutuhan air untuk mess = 8.000 kg/jam

Total kebutuhan air domestik = (383,6331+8.000) kg/jam

= 8.383,63 kg/jam

c. Kebutuhan *service water*

Perkiraan kebutuhan air untuk pemakaian layanan umum seperti bengkel, laboratorium, kantin, pemadam kebakaran dll sebesar 450 kg/jam.

4.6.2 Unit Pembangkit *Steam* (*Steam Generation System*)

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

Kapasitas : 19776,90 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 maka korosivitasnya juga 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 suhunya hingga 300⁰C, kemudian diumpankan ke *boiler*.

4.6.3 Unit Pembangkit Listrik (*Power Plant System*)

Kebutuhan listrik pada pabrik pembuatan *Fatty Alcohol* diperoleh melalui 2 sumber yaitu Perusahaan Listrik Negara (PLN) dan generator *diesel*. Generator *diesel* berfungsi sebagai tenaga cadangan ketika PLN terjadi gangguan. Berikut adalah spesifikasi generator *diesel* yang digunakan:

Kapasitas = 265 kW

Jenis = 1 buah

Rincian kebutuhan listrik :

1. Kebutuhan *Plant*

a. Kebutuhan listrik untuk proses

Tabel 4.14 *Kebutuhan Listrik Proses*

| Alat | Daya | |
|--------------|---------------|-------------------|
| | Hp | Watt |
| Pompa-01 | 60,00 | 44742,00 |
| Pompa-02 | 60,000 | 44742,00 |
| Pompa-03 | 60,00 | 44742,00 |
| Pompa-04 | 0,75 | 559,27 |
| Pompa-05 | 0,50 | 372,85 |
| Total | 181,25 | 135.158,12 |

b. Kebutuhan listik untuk utilitas

Tabel 4.15 *Kebutuhan Listrik Utilitas*

| Alat | Daya | |
|--|--------------|------------------|
| | Hp | Watt |
| Bak Penggumpal (Koagulasi dan Flokulasi) | 2,00 | 1491,40 |
| Blower Cooling Tower | 30,00 | 22371,00 |
| Pompa-01 | 3,00 | 2237,10 |
| Pompa-02 | 5,00 | 3728,50 |
| Pompa-03 | 7,50 | 5592,75 |
| Pompa-04 | 0,12 | 93,21 |
| Pompa-05 | 3,00 | 2237,10 |
| Pompa-06 | 7,50 | 3728,50 |
| Pompa-07 | 3,00 | 2237,10 |
| Pompa-08 | 5,00 | 3728,50 |
| Pompa-09 | 3,00 | 2237,10 |
| Pompa-10 | 0,12 | 93,21 |
| Pompa-11 | 1,50 | 1118,55 |
| Pompa-12 | 1,50 | 1118,55 |
| Pompa-13 | 0,12 | 93,21 |
| Pompa-14 | 0,12 | 93,21 |
| Pompa-15 | 0,50 | 372,85 |
| Pompa-16 | 15,00 | 11185,50 |
| Pompa-17 | 0,12 | 93,21 |
| Pompa-18 | 0,75 | 559,27 |
| Pompa-19 | 0,75 | 559,27 |
| Pompa-20 | 0,12 | 93,21 |
| Pompa-21 | 3,00 | 2237,10 |
| Total | 92,75 | 69.163,67 |

2. Kebutuhan listrik untuk penerangan dan AC

Listrik untuk penerangan diperkirakan adalah sebesar 100 kW

Listrik untuk AC diperkirakan adalah sebesar 15 kW

3. Kebutuhan listrik untuk laboratorium dan bengkel

Listrik untuk laboratorium dan bengkel diperkirakan adalah sebesar 40 kW

4. Kebutuhan listrik untuk instrumentasi

Listrik untuk instrumentasi diperkirakan adalah sebesar 20,432 kW

Total kebutuhan listrik pada pabrik adalah sebesar:

Tabel 4.16 *Total Kebutuhan Listrik*

| No | Keperluan | Kebutuhan (Kw) |
|----|--------------------------|-----------------|
| 1 | Kebutuhan Plant | |
| | a. Proses | 135,16 |
| | b. Utilitas | 69,163 |
| 2 | a. Listrik Ac | 15 |
| | b. Listrik Penerangan | 100 |
| 3 | Laboratorium dan Bengkel | 40 |
| 4 | Instrumentasi | 20 |
| | Total | 379,7540 |

Pada *Diesel* ini prinsip kerjanya yaitu solar dan udara yang terbakar secara kompresi yang akan menghasilkan panas. Guna dari panas ini yaitu untuk memutar poros engkol sehingga dapat menghidupkan generator yang mampu menghasilkan tenaga listrik. Listrik ini didistribusikan dan akan di alirkan ke unit pemakai. Pada operasi sehari-hari digunakan tenaga listrik dari PLN, tetapi apabila listrik padam maka operasinya akan menggunakan listrik dari *Diesel*.

4.6.4 Unit penyediaan Udara Tekan

Perlunya penyediaan udara tekan ini yaitu untuk pemakaian alat *pneumatic control*. Dan total kebutuhan udara tekan yang diperlukan yaitu 33,64 m³/jam.

4.6.5 Unit Penyediaan Bahan Bakar

Tujuan dari unit ini yaitu untuk menyediakan bahan bakar yang digunakan pada *generator* dan *boiler*. Bahan bakar yang digunakan untuk *generator* adalah solar (*Industrial Diesel Oil*) yang diperoleh dari PT. Pertamina, Cilacap. Sedangkan bahan bakar yang dipakai pada *boiler* adalah *fuel oil* yang juga diperoleh dari PT. Pertamina, Cilacap.

4.6.6 Unit Pengolahan Limbah Cair

Unit pengolahan limbah berfungsi untuk mengolah limbah yang dihasilkan dari seluruh area pabrik, sehingga limbah buangan pabrik tidak mencemari lingkungan. Limbah yang dihasilkan oleh pabrik berupa limbah hasil air buangan sanitasi, air laboratorium dan kebutuhan lainnya.

4.7 Organisasi Perusahaan

4.7.1 Bentuk Perusahaan

Pada prarancangan Pabrik *Fatty Alcohol* (FA) ini bentuk dari perusahaannya yaitu Perseroan Terbatas (PT). Perseroan Terbatas merupakan bentuk perusahaan yang mendapatkan modalnya dari penjualan saham dimana setiap sekutu turut mengambil bagian sebanyak satu saham atau lebih. Saham

yaitu surat berharga yang dikeluarkan oleh perusahaan atau PT tersebut dan orang yang memiliki saham berarti telah setuju akan menyetorkan modal perusahaan tersebut, yang berarti pula ikut memiliki perusahaan. Dalam PT tanggung jawab pemegang saham hanya menyetorkan penuh sejumlah uang yang sudah disepakati oleh pemegang saham itu sendiri.

Untuk perusahaan-perusahaan skala besar, biasanya menggunakan bentuk Perseroan Terbatas (PT/korporasi), Perseroan Terbatas (PT) merupakan asosiasi pemegang saham yang diciptakan berdasarkan hukum dan dianggap sebagai badan hukum.

Alasan dipilihnya bentuk perusahaan (PT) ini adalah didasarkan beberapa faktor sebagai berikut:

- a. Mudah mendapatkan modal, yaitu dengan menjual saham perusahaan.
- b. Tanggung jawab pemegang saham terbatas, sehingga kelancaran produksi hanya dipegang oleh pimpinan perusahaan.
- c. Kelangsungan hidup perusahaan lebih terjamin, karena tidak terpengaruh berhentinya pemegang saham, direksi beserta stafnya atau karyawan perusahaan.
- d. Efisiensi dari manajemen
- e. Para pemegang saham dapat memilih orang yang ahli sebagai dewan komisaris dan direktur yang cukup cakap dan berpengalaman.
- f. Lapangan usaha lebih luas
- g. Suatu PT dapat menarik modal yang sangat besar dari masyarakat, sehingga dengan modal ini PT dapat memperluas usahanya.

- h. Merupakan badan usaha yang memiliki kekayaan tersendiri yang terpisah dari kekayaan pribadi.
- i. Mudah mendapatkan kredit dari bank dengan jaminan perusahaan.
- j. Mudah bergerak di pasar global.

4.7.2 Struktur Organisasi

Dalam menjalankan suatu perusahaan dalam hal ini pabrik, diperlukan adanya suatu manajemen atau organisasi yang memiliki pembagian tugas dan wewenang yang baik. Struktur organisasi dari suatu perusahaan dapat bermacam-macam sesuai dengan bentuk dan kebutuhan dari masing-masing perusahaan itu sendiri. Di bawah ini termasuk jenjang kepemimpinan suatu perusahaan, diantaranya:

- a. Pemegang saham
- b. Dewan komisaris
- c. Direktur utama
- d. Direktur
- e. Kepala Bagian
- f. Kepala Seksi
- g. Karyawan dan Operator

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.

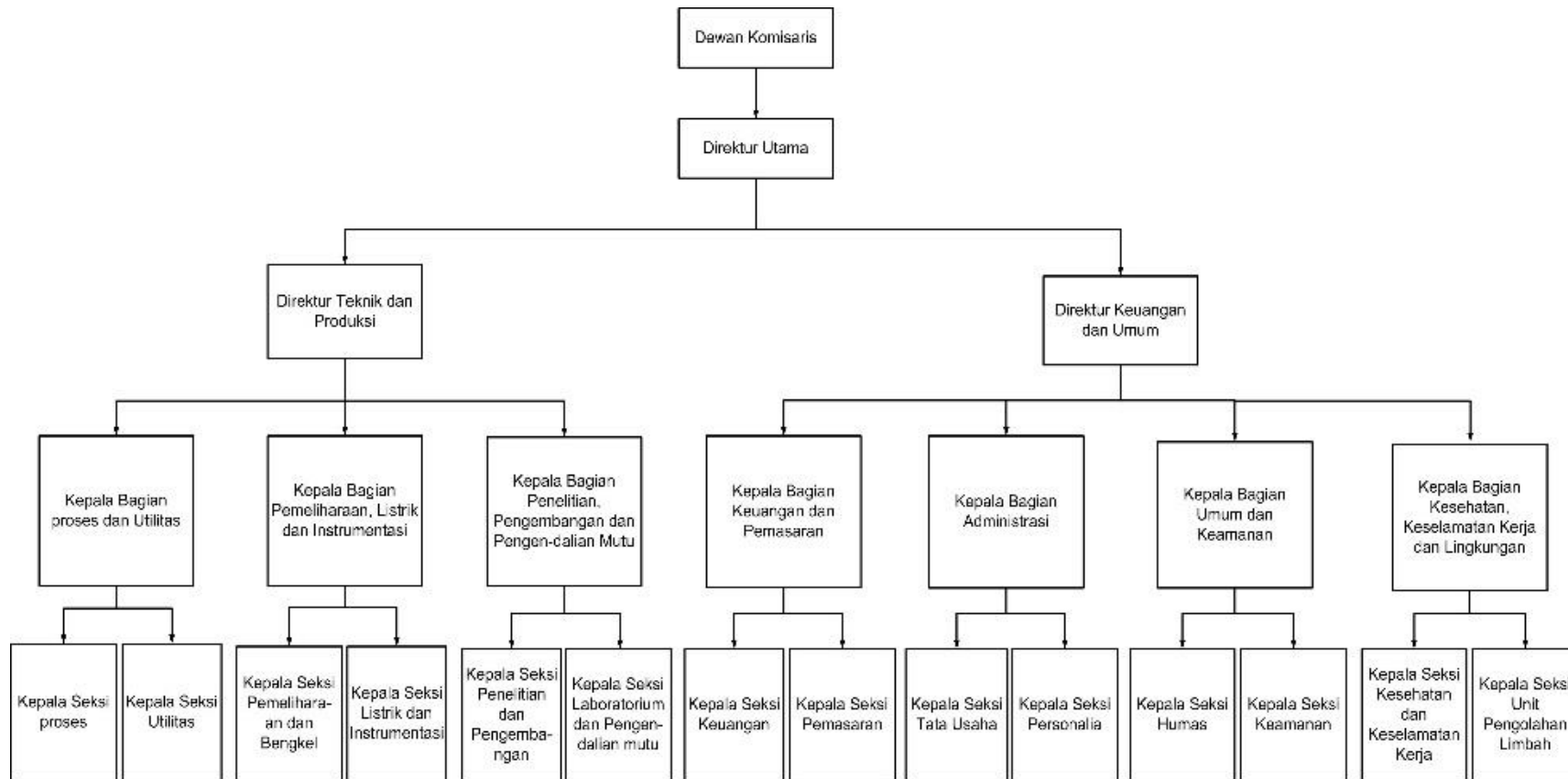
Bentuk struktur organisasi yang baik adalah sistem *line* dan staf. Ada dua kelompok orang-orang yang berpengaruh dalam menjalankan organisasi *line* dan staf , yaitu :

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

Manfaat adanya struktur organisasi tersebut adalah sebagai berikut:

1. Menjelaskan mengenai pembatasan tugas, tanggung jawab dan wewenang
2. Sebagai bahan orientasi untuk pejabat
3. Penempatan pegawai yang lebih tepat
4. Penyusunan program pengembangan manajemen
5. Mengatur kembali langkah kerja dan prosedur kerja yang berlaku bila terbukti kurang lancar

Tanggung jawab dari setiap jenjang kepemimpinan di atas tentu saja berbeda-beda, sesuai dengan jabatannya. Tanggung jawab, tugas serta wewenang tertinggi terletak pada puncak pimpinan, yaitu dewan komisaris. Sedangkan kekuasaan tertinggi berdasarkan rapat umum adalah pemegang saham. Berikut struktur organisasi perusahaan:



Gambar 4.7 Struktur Organisasi

4.7.3 Tugas dan Wewenang

4.7.3.1 Pemegang Saham

Pemegang saham bisa juga dikatakan sebagai pemilik perusahaan, yaitu beberapa orang yang mengumpulkan modal untuk kepentingan pendirian suatu perusahaan (pabrik) dan berjalannya operasi perusahaan tersebut berkat adanya pemegang saham. Kekuasaan tertinggi pada perusahaan yang mempunyai bentuk perseroan terbatas adalah rapat umum pemegang saham. Yang dihasilkan pada rapat umum pemegang saham yaitu:

- a. Mengangkat dan memberhentikan Dewan Komisaris
- b. Mengangkat dan memberhentikan Direktur
- c. Mengesahkan hasil-hasil usaha serta neraca perhitungan untung rugi tahunan dari suatu perusahaan

4.7.3.2 Dewan Komisaris

Dewan komisaris merupakan pelaksana dari para pemilik saham, sehingga akan bertanggung jawab terhadap pemilik saham. Tugas-tugas Dewan Komisaris yaitu:

- a. Menilai dan menyetujui rencana dari direksi tentang kebijakan umum, target keuntungan perusahaan, alokasi sumber-sumber dana dan pengarahannya pemasaran
- b. Mengawasi tugas-tugas Direktur Utama
- c. Membantu Direktur Utama dalam hal-hal yang penting

4.7.3.3 Direktur Utama

Dalam perusahaan Direktur Utama lah yang menjadi pimpinan tertinggi dan bertanggung jawab sepenuhnya dalam hal maju mundurnya suatu perusahaan. Direktur Utama juga bertanggung jawab pada Dewan komisaris atas segala kebijakan dan tindakan yang sudah diambil sebagai pimpinan perusahaan. Direktur Utama membawahi Direktur Produksi serta Direktur Keuangan dan Umum.

Direktur Utama membawahi:

a. Direktur Teknik dan Produksi

Tugas dari direktur teknik dan produksi yaitu memimpin jalannya kegiatan pabrik yang berhubungan dengan bidang produksi dan operasi, teknik, pengembangan, pemeliharaan peralatan, pengadaan dan laboratorium.

b. Direktur Keuangan dan Umum

Tugas dari direktur keuangan dan umum adalah bertanggung jawab terhadap masalah-masalah yang berhubungan dengan administrasi, personalia, keuangan, pemasaran, humas, keamanan dan keselamatan kerja.

4.7.3.4 Kepala Bagian

Tugas kepala bagian secara umum adalah mengkoordinasi, mengatur dan mengawasi pelaksanaan pekerjaan dalam lingkungan. Bagiannya yaitu sesuai dengan garis-garis yang sudah diberikan oleh pimpinan perusahaan. Kepala bagian juga bisa bertindak sebagai staf direktur. Kepala bagian ini bertanggung jawab kepada direktur masing-masing. Kepala bagian terdiri dari:

a. Kepala Bagian Proses dan Utilitas

Tugasnya yaitu mengkoordinasikan kegiatan pabrik dalam bidang proses dan penyediaan utilitas.

b. Kepala Bagian Pemeliharaan Listrik dan Instrumentasi

Tugasnya yaitu bertanggung jawab terhadap kegiatan pemeliharaan dan fasilitas penunjang kegiatan produksi.

c. Kepala Bagian Penelitian, Pengembangan dan Pengendalian Mutu

Tugasnya yaitu mengkoordinasikan kegiatan yang berhubungan dengan penelitian, pengembangan, dan pengawasan mutu.

d. Kepala Bagian Keuangan dan Pemasaran

Tugasnya yaitu mengkoordinasikan kegiatan pemasaran, pengadaan barang dan juga pembukuan keuangan.

e. Kepala Bagian Administrasi

Tugasnya yaitu bertanggung jawab terhadap kegiatan yang berhubungan dengan tata usaha, personalia dan rumah tangga perusahaan.

f. Kepala Bagian Humas dan Keamanan

Tugasnya yaitu bertanggung jawab terhadap kegiatan yang berhubungan dengan perusahaan dan masyarakat serta menjaga keamanan perusahaan.

g. Kepala Bagian Kesehatan Keselamatan Kerja dan Lingkungan

Tugasnya yaitu bertanggung jawab terhadap keamanan pabrik dan kesehatan keselamatan kerja para karyawan serta menjaga lingkungan agar tetap kondusif.

4.7.3.5 Kepala Seksi

Yang dimaksud dengan kepala seksi yaitu pelaksanaan pekerjaan dalam lingkungan dengan bagian sesuai rencana yang sudah diatur oleh kepala bagian masing-masing. Setiap kepala seksi bertanggung jawab terhadap kepala bagian masing-masing sesuai dengan seksinya.

a. Kepala Seksi Proses

Tugasnya yaitu memimpin langsung serta memantau kelancaran proses produksi.

b. Kepala Seksi Utilitas

Tugasnya yaitu bertanggung jawab dalam penyediaan air, *steam*, bahan bakar dan udara tekan baik untuk proses maupun untuk instrumentasi.

c. Kepala Seksi pemeliharaan dan Bengkel

Tugasnya yaitu bertanggung jawab atas kegiatan perawatan dan penggantian alat-alat serta fasilitas pendukungnya.

d. Kepala Seksi Listrik dan Instrumentasi

Tugasnya yaitu bertanggung jawab terhadap penyediaan listrik serta kelancaran alat-alat instrumentasi.

e. Kepala Seksi Bagian Penelitian dan Pengembangan

Tugasnya yaitu mengkoordinasikan kegiatan-kegiatan yang berhubungan dengan peningkatan produksi dan efisiensi proses secara keseluruhan.

f. Kepala Seksi Laboratorium dan Pengendalian Mutu

Tugasnya yaitu menyelenggarakan pengendalian mutu untuk bahan baku, bahan pembantu, produk dan juga limbah.

g. Kepala Seksi Keuangan

Tugasnya yaitu bertanggung jawab terhadap pembukuan dan hal-hal yang berkaitan dengan keuangan.

h. Kepala Seksi Pemasaran

Tugasnya yaitu mengkoordinasikan kegiatan pemasaran produk dan penyediaan bahan baku pabrik.

i. Kepala Seksi Tata Usaha

Tugasnya yaitu bertanggung jawab terhadap kegiatan yang berhubungan dengan rumah tangga perusahaan serta tata usaha kantor.

j. Kepala Seksi Personalia

Tugasnya yaitu mengkoordinasikan kegiatan yang berhubungan dengan kepegawaian.

k. Kepala Seksi Humas

Tugasnya yaitu menyelenggarakan kegiatan yang berkaitan dengan reaksi perusahaan pemerintah dan masyarakat.

l. Kepala Seksi Keamanan

Tugasnya yaitu menyelenggarakan kegiatan yang berkaitan dengan mengawasi langsung masalah keamanan perusahaan.

m. Kepala Seksi Kesehatan dan Keselamatan Kerja

Tugasnya yaitu mengurus masalah kesehatan karyawan dan keluarganya, serta menangani masalah keselamatan kerja para karyawan.

n. Kepala Seksi Unit pengolahan Limbah

Tugasnya yaitu bertanggung jawab terhadap limbah pabrik agar sesuai dengan baku mutu limbah.

4.7.4 Catatan**a. Cuti Tahunan**

Karyawan mempunyai hak untuk cuti tahunan selama 12 hari setiap tahunnya. Jika hak cuti tahunannya tidak digunakan dalam 1 tahun, maka hak cuti tersebut akan hilang untuk tahun tersebut.

b. Hari Libur Nasional

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

c. Kerja Lembur (*Overtime*)

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

d. Sistem gaji Karyawan

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

Tabel 4.17 Gaji Karyawan

| No | Jabatan | Jmlh | Gaji per Bulan (Rp) | Total Gaji (Rp) |
|-----------|---------------------------------|-------------|--------------------------------|----------------------------|
| 1 | Direktur utama | 1 | 45.000.000,00 | 45.000.000,00 |
| 2 | Direktur Teknik dan Produksi | 1 | 35.000.000,00 | 35.000.000,00 |
| 3 | Direktur Keuangan dan Umum | 1 | 35.000.000,00 | 35.000.000,00 |
| 4 | Staff Ahli | 2 | 20.000.000,00 | 40.000.000,00 |
| 5 | Sekretaris | 2 | 3.500.000,00 | 7.000.000,00 |
| 6 | Kepala Bagian Umum | 1 | 10.000.000,00 | 10.000.000,00 |
| 7 | Kepala Bagian Pemasaran | 1 | 10.000.000,00 | 10.000.000,00 |
| 8 | Kepala Bagian Keuangan | 1 | 10.000.000,00 | 10.000.000,00 |
| 9 | Kepala Bagian Teknik | 1 | 10.000.000,00 | 10.000.000,00 |
| 10 | Kepala Bagian Produksi | 1 | 10.000.000,00 | 10.000.000,00 |
| 11 | Kepala Seksi Personalia | 1 | 7.500.000,00 | 7.500.000,00 |
| 12 | Kepala Seksi Humas | 1 | 7.500.000,00 | 7.500.000,00 |
| 13 | Kepala Seksi Keamanan | 1 | 7.500.000,00 | 7.500.000,00 |
| 14 | Kepala Seksi Pembelian | 1 | 7.500.000,00 | 7.500.000,00 |
| 15 | Kepala Seksi Pemasaran | 1 | 7.500.000,00 | 7.500.000,00 |
| 16 | Kepala Seksi Administrasi | 1 | 7.500.000,00 | 7.500.000,00 |
| 17 | Kepala Seksi Kas/anggaran | 1 | 7.500.000,00 | 7.500.000,00 |
| 18 | Kepala Seksi Proses | 1 | 7.500.000,00 | 7.500.000,00 |
| 19 | Kepala Seksi Pengendalian | 1 | 7.500.000,00 | 7.500.000,00 |
| 20 | Kepala Seksi Laboratorium | 1 | 7.500.000,00 | 7.500.000,00 |
| 21 | Kepala Seksi Penelitian | 1 | 7.500.000,00 | 7.500.000,00 |
| 22 | Kepala Seksi Pengembangan | 1 | 7.500.000,00 | 7.500.000,00 |
| 23 | Kepala Seksi Pemeliharaan | 1 | 7.500.000,00 | 7.500.000,00 |
| 24 | Kepala Seksi Utilitas | 1 | 7.500.000,00 | 7.500.000,00 |

| | | | | |
|-------|-------------------------------|-----|----------------|----------------|
| 25 | Karyawan Personalia | 6 | 4.200.000,00 | 25.200.000,00 |
| 26 | Karyawan Humas | 4 | 4.200.000,00 | 16.800.000,00 |
| 27 | Satpam | 10 | 4.200.000,00 | 42.000.000,00 |
| 28 | Karyawan Pembelian | 3 | 4.200.000,00 | 12.600.000,00 |
| 29 | Karyawan Pemasaran | 4 | 4.200.000,00 | 16.800.000,00 |
| 30 | Karyawan Administrasi | 3 | 4.200.000,00 | 12.600.000,00 |
| 31 | Karyawan kas | 3 | 4.200.000,00 | 12.600.000,00 |
| 32 | Karyawan Proses | 4 | 6.500.000,00 | 26.000.000,00 |
| 33 | Operator Proses dan utilitas | 36 | 5.000.000,00 | 180.000.000,00 |
| 34 | Karyawan Pengendalian | 5 | 5.500.000,00 | 27.500.000,00 |
| 35 | Karyawan Laboratorium | 6 | 5.500.000,00 | 33.000.000,00 |
| 36 | Karyawan Pemeliharaan | 4 | 5.500.000,00 | 22.000.000,00 |
| 37 | Karyawan Utilitas | 16 | 5.500.000,00 | 88.000.000,00 |
| 38 | Karyawan Litbang | 6 | 7.500.000,00 | 45.000.000,00 |
| 39 | Karyawan Pemadam kebakaran | 4 | 3.500.000,00 | 14.000.000,00 |
| 40 | Dokter | 1 | 5.500.000,00 | 5.500.000,00 |
| 41 | Perawat | 2 | 3.400.000,00 | 6.800.000,00 |
| 42 | Sopir | 2 | 3.200.000,00 | 6.400.000,00 |
| 43 | Cleaning Service | 5 | 3.200.000,00 | 16.000.000,00 |
| TOTAL | | 150 | 382.700.000,00 | 925.800.000,00 |

e. Jam Kerja Karyawan

Karyawan dalam suatu perusahaan dapat digolongkan menjadi 2 golongan berdasarkan jam kerjanya, yaitu golongan karyawan *non-shift* (harian) dan karyawan *shift*.

1. Jam Kerja *Non-Shift*

Senin - Kamis

Jam Kerja : 08.00 - 12.00 dan 13.00 - 17.00

Istirahat : 12.00 - 13.00

Jum'at

Jam Kerja : 07.30 - 11.30 dan 13.00 - 17.00

Istirahat : 11.30 - 13.00

Hari Sabtu dan Minggu libur.

2. Jam Kerja Karyawan *Shift*

Jadwal kerja karyawan *shift* dibagi menjadi :

- *Shift* Pagi : 07.00 - 15.00

- *Shift* Sore : 15.00 - 23.00

- *Shift* Malam : 23.00 - 07.00

Untuk golongan karyawan *shift* dibagi menjadi 4 regu, dimana 3 regu bekerja dan 1 regu lainnya istirahat dan ini berlaku secara bergantian antar regu tersebut. Tiap regu mendapat 3 giliran 3 hari kerja dan 1 hari untuk libur tiap *shift*nya dan masuk lagi untuk *shift* berikutnya. Regu yang bertugas pada hari libur atau hari besar yang sudah ditetapkan pemerintah, maka tetap masuk. Jadwal kerja masing-masing regu dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.18 *Jadwal Kerja Masing-masing Regu*

| Regu | Hari ke | | | | | | | | | | | |
|------|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1 | P | P | L | M | M | M | L | S | S | S | L | P |
| 2 | S | L | P | P | P | L | M | M | M | L | S | S |
| 3 | L | S | S | S | L | P | P | P | L | M | M | M |
| 4 | M | M | M | L | S | S | S | L | P | P | P | L |

Keterangan :

P = *Shift Pagi*

M = *Shift Malam*

S = *Shift Sore*

L = *Libur*

Di luar jam kerja kantor maupun pabrik, apabila karyawan masih dibutuhkan untuk bekerja, maka kelebihan dari jam kerja tersebut akan diperhitungkan sebagai kerja lembur (*overtime*) dengan perhitungan gaji tersendiri.

4.8 Evaluasi Ekonomi

Fungsi dari analisa ekonomi yaitu untuk mengetahui apakah pabrik yang akan didirikan tersebut dapat menguntungkan dan layak.

Perhitungan dari evaluasi ekonomi sendiri meliputi:

1. Modal (*Capital Cost*)

a. Modal Tetap (*Fixed Capital Cost*)

b. Modal Kerja (*Working Capital Cost*)

2. Biaya Produksi (*Manufacturing Cost*)
 - a. Biaya Produksi Langsung (*Direct Manufacturing Cost*)
 - b. Biaya Produksi Tak Langsung (*Indirect Manufacturing Cost*)
 - c. Biaya Tetap (*Fixed Manufacturing Cost*)
3. Pengeluaran Umum (*General Expense*)
4. Analisa Keuntungan
 - a. Keuntungan Sebelum Pajak (*Profit Before Tax*)
 - b. Keuntungan Sesudah Pajak (*Profit After Tax*)
5. Analisa Kelayakan
 - a. *Percent Return On Investment* (ROI)
 - b. *Pay Out Time* (POT)
 - c. *Break Event Point* (BEP)
 - d. *Shut Down Point* (SDP)
 - e. *Discounted Cash Flow* (DCF)

Kesimpulan Ekonomi

4.8.1 Harga Index

Dalam analisa ekonomi harga alat-alat maupun harga lainnya diperhitungkan pada tahun pabrik didirikan. Untuk mencari harga pada tahun pabrik didirikan, maka dicari nilai index pada tahun didirikan menggunakan perbandingan harga index pada tahun sebelum-sebelumnya. Di bawah ini harga Index dari CEPCI:

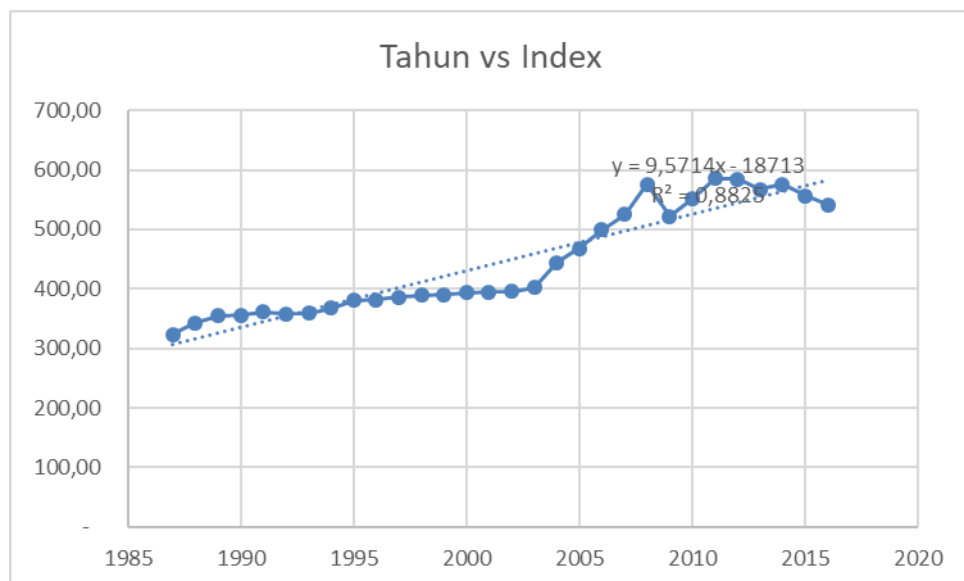
Tabel 4.19 *Harga Index Chemical Engineering Progress*

| Tahun (X) | Indeks (Y) | X (tahun-ke) |
|------------------|-------------------|---------------------|
| 1987 | 323,80 | 1 |
| 1988 | 343,00 | 2 |
| 1989 | 355,00 | 3 |
| 1990 | 356,00 | 4 |
| 1991 | 361,30 | 5 |
| 1992 | 358,20 | 6 |
| 1993 | 359,20 | 7 |
| 1994 | 368,10 | 8 |
| 1995 | 381,10 | 9 |
| 1996 | 381,70 | 10 |
| 1997 | 386,50 | 11 |
| 1998 | 389,50 | 12 |
| 1999 | 390,60 | 13 |
| 2000 | 394,10 | 14 |
| 2001 | 394,30 | 15 |
| 2002 | 395,60 | 16 |
| 2003 | 402,00 | 17 |
| 2004 | 444,20 | 18 |
| 2005 | 468,20 | 19 |
| 2006 | 499,60 | 20 |
| 2007 | 525,40 | 21 |
| 2008 | 575,40 | 22 |
| 2009 | 521,90 | 23 |
| 2010 | 550,80 | 24 |
| 2011 | 585,70 | 25 |
| 2012 | 584,60 | 26 |
| 2013 | 567,30 | 27 |
| 2014 | 576,10 | 28 |

| Tahun (X) | Indeks (Y) | X (tahun-ke) |
|-----------|------------|--------------|
| 2015 | 556,80 | 29 |
| 2016 | 541,70 | 30 |

(Sumber : Peter Timmerhaus, 1990)

Pabrik akan direncanakan berdiri pada tahun 2020. Nilai *Index Chemical Engineering Progress* pada tahun pendirian pabrik diperoleh dengan cara regresi linear. Dari regresi linear diperoleh persamaan: $y = 9,5714x - 18713$ sehingga diperoleh indeks untuk tahun 2020 sebesar 621,228.



Gambar 4.8 Tahun vs Indeks Harga

4.8.2 Harga Alat

Harga alat-alat dan lainnya diperhitungkan pada tahun evaluasi dan juga ditentukan dengan referensi *Peters & Timmerhaus*, dan juga *Aries & Newton*. Harga alat pada tahun pabrik didirikan dapat ditentukan berdasarkan harga pada tahun referensi dikalikan dengan rasio index harga.

$$E_x = E_y \frac{N_x}{N_y} \quad (\text{Aries \& Newton, 1955})$$

Dimana :

- Ex = Harga alat pada tahun x
- Ey = Harga alat pada tahun y
- Nx = Index harga pada tahun x
- Ny = Index harga pada tahun y

Apabila alat dengan kapasitas tertentu ternyata tidak ada spesifikasinya direferensi, maka harga alat dapat diperkirakan dengan persamaan:

$$E_b = E_a \left[\frac{C_b}{C_a} \right]^{0.6} \quad (\text{Aries \& Newton, 1955})$$

Dimana :

- Ea = Harga alat a
- Eb = Harga alat b
- Ca = Kapasitas alat a
- Cb = Kapasitas alat b

Dasar Perhitungan :

- a. Kapasitas Produksi : 40.000 Ton/tahun
- b. Pabrik Beroperasi : 330 Hari Kerja
- c. Umur Alat : 10 Tahun
- d. Nilai Kurs : 1 US\$ = Rp 16.000,00
- e. Pabrik Didirikan Tahun : 2020
- f. Gaji Karyawan asing : \$20/man hour
- g. Gaji Karyawan Indonesia : Rp \$1/man hour

- h. 1 *man hour* asing : 3 *man hour* Indonesia
- i. 5% tenaga asing : 95% tenaga Indonesia

4.8.3 *Capital Cost*

Capital Investment yaitu biaya untuk pengadaan fasilitas-fasilitas pabrik beserta kelengkapannya dan juga biaya untuk mengoperasikan pabrik. *Capital Investment* terdiri dari:

a. *Fixed Capital Cost*

Fixed Capital Cost merupakan biaya yang diperlukan untuk mendirikan fasilitas-fasilitas pabrik.

b. *Working Capital Cost*

Working Capital Cost merupakan biaya yang diperlukan untuk menjalankan atau mengoperasikan suatu pabrik selama waktu tertentu.

a. *Fixed Capital Cost*

Physical Plant Cost (PPC)

1. *Purchased Equipment Cost (PEC)*

a. Harga alat proses = \$10.316.863,12

b. Harga alat utilitas = \$795.675,42

Total PEC = \$11.112.538,54

Delivered Equipment Cost (DEC)

Biaya pengangkutan (15% PEC) = 0,15 x \$11.112.538,54

= \$1.666.880,78

| | |
|---------------------------------------|--------------------------|
| Biaya administrasi dan pajak (5% PEC) | = 0,05 x \$11.112.538,54 |
| | = \$555.626,93 |
| Total DEC | = \$2.222.507,71 |
| 2. Instalasi | |
| <i>Material</i> (11% PEC) | = 0,11 x \$11.112.538,54 |
| | = \$1.222.379,24 |
| <i>Labor</i> (32%) | = 0,32 x \$11.112.538,54 |
| | = \$ 3.556.012,33 |
| ● Tenaga Asing | = \$177.800,62 |
| ● Tenaga local | = Rp 9.121.171.634,73 |
| | = \$506.731,76 |
| Total biaya Instalasi | = \$1.906.911,61 |
| 3. Pemipaan | |
| <i>Material</i> (49% PEC) | = 0,49 x \$11.112.538,54 |
| | = \$5.445.143,89 |
| <i>Labor</i> (37 %) | = 0,37 x \$11.112.538,54 |
| | = \$4.111.639,26 |
| ● Tenaga Asing | = \$205.581,96 |
| ● Tenaga lokal | = \$585.908,59 |
| Total biaya Pemipaan | = \$6.236.634,44 |
| 4. Instrumentasi | |
| <i>Material</i> (24 %PEC) | = 0,24 x \$11.112.538,54 |

| | |
|----------------------------------|---------------------------------|
| | = \$2.667.009,25 |
| <i>Labor</i> (6% PEC) | = 0,06 x \$11.112.538,54 |
| | = \$666.752,31 |
| ● Tenaga Asing | = \$ 33.337,62 |
| ● Tenaga lokal | = \$ 95.012,20 |
| Total biaya Instrumentasi | = \$2.795.359,07 |
| 5. Isolasi | |
| <i>Material</i> (3 %PEC) | = 0,03 x \$11.112.538,54 |
| | = \$333.376,16 |
| <i>Labor</i> (5 %) | = 0,05 x \$11.112.538,54 |
| | = \$555.626,93 |
| ● Tenaga Asing | = \$27.781,35 |
| ● Tenaga lokal | = \$79.176,84 |
| Total biaya Isolasi | = \$440.334,34 |
| 6. Listrik | |
| Biaya listrik (10% PEC) | = 0,10 x \$11.112.538,54 |
| | = \$1.111.253,85 |
| 7. Bangunan | |
| Luas bangunan | = 17.025 m ² |
| Harga bangunan | = Rp2.500.000,00/m ² |
| Total biaya bangunan | = Rp 42.562.500.000 |
| | = \$2.364.583,33 |

8. Tanah

| | |
|--|-------------------------------|
| Luas tanah | = 22.725 m ² |
| Harga tanah | = Rp 600.000,00 |
| Perbaikan (15% Harga Tanah) | = Rp 2.315.250.000,00 |
| Total harga tanah dan Perbaikan | = Rp 17.750.250.000,00 |
| | = \$986.125,00 |

9. Utilitas

| | |
|-------------------------|--------------------------|
| Alat Utilitas (75% PEC) | = 0,75 x \$11.112.538,54 |
| | = \$8.334.403,91 |

Tabel 4.20 *Total Biaya Physical Plant Cost*

| No | Type of Capital Investment | Harga (\$) | Harga (Rp) |
|---------------------------------|------------------------------------|-------------------------|------------------------------|
| 1 | <i>Purchased Equipment cost</i> | \$13.335.046,25 | Rp 240.030.832.492,879 |
| 2 | Instalasi cost | \$1.906.911,61 | Rp 34.324.409.046,48 |
| 3 | Pemipaan | \$6.236.634,44 | Rp 112.259.419.971,51 |
| 4 | Instrumentasi | \$2.795.359,07 | Rp 50.316.463.261,32 |
| 5 | Insulasi | \$440.334,34 | Rp 7.926.018.114,61 |
| 6 | Listrik | \$1.111.253,85 | Rp 20.002.569.374,41 |
| 7 | Bangunan | \$2.364.583,33 | Rp 42.562.500.000 |
| 8 | <i>Land & Yard Improvement</i> | \$986.125,00 | Rp 17.750.250.000 |
| 9 | <i>Utilitas</i> | \$8.334.403,91 | Rp 150.019.270.308,04 |
| Physical Plan Cost (PPC) | | \$ 37.510.651,81 | Rp 525.172.462.261,19 |

10. *Engineering and Construction*

Untuk PPC antara US \$ 1.000.000 - US \$ 5.000.000. Untuk
Engineering and Construction sebesar 20 % PPC
 = 0,20 x \$ 37.510.651,81
 = \$7.502.130,36
 = Rp 135.038.346.513,85

Direct Plant Cost (DPC)

Direct Plant Cost (DPC) = PPC + *Biaya Engineering and Contruction*
 = \$ 37.510.651,81 + \$ 7.502.130,36
 = \$ 45.012.782,17

11. *Contractor Fee (5% DPC)*

Contractor's Fee = 0,05 x \$ 45.012.782,17
 = \$ 2.250.639,11

12. *Contingency (15% DPC)*

Contingency = 0,15 x \$ 45.012.782,17
 = \$ 6.751.917,33

Tabel 4.21 *Fixed Capital Investment*

| No | Type of Capital Investment | Harga (\$) | Harga (Rp) |
|--|----------------------------|-------------------------|------------------------------|
| 1 | <i>Direct Plan Cost</i> | \$ 45.012.782,17 | Rp 630.206.954.713,43 |
| 2 | <i>Cotractor's fee</i> | \$ 2.250.639,11 | Rp 31.510.347.735,67 |
| 3 | <i>Contingency</i> | \$ 6.751.917,33 | Rp 94.531.043.207,01 |
| <i>Fixed Capital Investment (FCI)</i> | | \$ 54.015.338,61 | Rp 756.248.345.656,12 |

Total FCI (dalam rupiah) = Rp 756.248.345.656,12

b. Working Capital Cost

- *Raw Material Inventory* (waktu penyimpanan bahan baku 30 hari)
 - = (30 hari/ 330 hari) x Total biaya bahan baku
 - = Rp 81.504.826.200,53
- *Inprocess Inventory* (persediaan bahan baku dalam proses untuk 1 hari proses)
 - = 1,5 x Total manufacturing cost
 - = Rp 2.069.370.410.998,82
- *Product Inventory* (waktu penyimpanan produk 30 hari)
 - = (30 hari/330 hari) x Total manufacturing cost
 - Dalam dollar = 6.967.577,14
 - Dalam Rupiah = 125.416.388.545,38
- *Extended Credit*

= (30 hari/300 hari) x Penjualan produk

Dalam dollar = 11.026.293,50

Dalam Rupiah = 198.473.283.064,34

- *Available cash* (untuk 1 bulan)

= (30 hari/300 hari) x Total manufacturing cost

Dalam dollar = 6.967.577,14

Dalam Rupiah = 125.416.388.545,38

Tabel 4.22 *Total Working Capital Cost*

| No | <i>Type of Expense</i> | Harga (\$) | Harga (Rp) |
|--|-------------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| 1 | <i>Raw Material Inventory</i> | \$ 4.528.045,90 | Rp 81.504.826.200,53 |
| 2 | <i>In Process Inventory</i> | \$ 114.965.022,83 | Rp 2.069.370.410.998,82 |
| 3 | <i>Product Inventory</i> | \$ 6.967.577,14 | Rp 125.416.388.545,38 |
| 4 | <i>Extended Credit</i> | \$ 11.026.293,50 | Rp 198.473.283.064,34 |
| 5 | <i>Available Cash</i> | \$ 6.967.577,14 | Rp 125.416.388.545,38 |
| <i>Working Capital Investment (WCI)</i> | | \$ 144.454.516,52 | Rp 2.600.181.297.354,45 |

Total WCI (dalam rupiah) = Rp 2.600.181.297.354,45

4.8.4 *Manufacturing Cost*

Yang dimaksud dengan *manufacturing cost* yaitu jumlah *direct*, *indirect* dan *fixed manufacturing cost* yang bersangkutan dalam pembuatan pabrik.

- Direct manufacturing cost* (DMC) yaitu pengeluaran langsung akibat dari pembuatan suatu produk

b. *Indirect manufacturing cost* (IMC) yaitu pengeluaran tidak langsung akibat dari pembuatan suatu produk

c. *Fixed manufacturing cost* (FMC) yaitu pengeluaran tetap yang tidak bergantung waktu dan tingkat produksi

a. *Direct manufacturing cost* (DMC)

1. Bahan baku

● Metil ester

Kebutuhan = 5931,432597 kg/jam

Harga = 1,050 \$/kg

Total = Rp 887.864.279.942,58/th

● Hidrogen

Kebutuhan = 83,47942149 kg/jam

Harga = 0,0100 \$/kg

Total = Rp 119.008.263,27/th

● Katalis Copper Chromite

Kebutuhan = 2300 kg

Harga = \$ 69/kg

Total = Rp 8.569.800.000,00

Total biaya bahan baku = Rp 896.553.088.205,86/tahun

2. Produk

- FA

Harga = 2,900 \$/kg

Produksi = 5050,5050 kg/jam

Annual penjualan = Rp 2.087.999.979.840/tahun

- Metanol

Harga = 1,00 \$/kg

Produksi = 667,1675 kg/jam

Annual penjualan = Rp 95.111.398.800,00/tahun

Total Penjualan (Sales) = Rp 2.183.206.113.707,68

3. Gaji Karyawan

Total Gaji Karyawan = Rp 1.002.450.000,00

Total Gaji Karyawan/tahun = Rp 12.029.400.000

4. *Supervision* (25% Gaji karyawan) = Rp 3.007.350.000

5. *Maintenance* (8% FCI/ Gaji karyawan) = Rp 962.352.000

6. *Plant Supplies* (15% maintenance) = Rp 144.352.800

7. *Royalty and Patent* (3% penjualan) = Rp 65.469.183.411,23

8. Total biaya kebutuhan bahan untuk Utilitas

- dollar = \$ 9.431.490,78

- rupiah = Rp 169.767.940.048,32

Tabel 4.23 Total Direct Manufacturing Cost

| No | Type of Expense | Harga (\$) | Harga (Rp) |
|--|---------------------|-------------------------|--------------------------------|
| 1 | Raw Material | \$ 49.808.504,90 | Rp 896.553.088.205,86 |
| 2 | Labor | \$ 668.300,00 | Rp 12.029.400.000 |
| 3 | Supervision | \$ 167.075,00 | Rp 3.007.350.000 |
| 4 | Maintenance | \$ 53.464,00 | Rp 962.352.000 |
| 5 | Plant Supplies | \$ 8.019,60 | Rp 144.352.800 |
| 6 | Royalty and Patents | \$ 3.638.676,86 | Rp 65.469.183.411,23 |
| 7 | Utilities | \$ 9.431.552,22 | Rp 169.767.940.048,32 |
| Direct Manufacturing Cost (DMC) | | \$ 63.757.592,58 | Rp 1.147.960.666.465,41 |

b. Indirect Manufacturing Cost

1. Payroll Overhead (15% Gaji Karyawan)
2. Laboratorium (10% Gaji Karyawan)
3. Plant Overhead (50% Gaji Karyawan)
4. Packing and Shipping (5% Penjualan)

Tabel 4.24 Total Indirect Manufacturing Cost

| No | Type of Expense | Harga (\$) | Harga (Rp) |
|--|------------------------|------------------------|------------------------------|
| 1 | Payroll Overhead | \$ 100.245,00 | Rp 1.804.410.000 |
| 2 | Laboratory | \$ 66.830,00 | Rp 1.202.940.000 |
| 3 | Plant Overhead | \$ 334.150,00 | Rp 6.014.700.000 |
| 4 | Packaging and Shipping | \$ 6.822.519.105,34 | Rp 105.555.568.932,00 |
| Indirect Manufacturing Cost (IMC) | | \$ 7.386.397,23 | Rp 118.182.355.685,38 |

c. Fixed Manufacturing Cost

1. *Depresiasi* (10% FCI)
2. *Property Tax* (4% FCI)
3. *Asuransi* (1% FCI)

Tabel 4.25 Total Fixed Manufacturing Cost

| No | Type of Expense | Harga (\$) | Harga (Rp) |
|---------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------------|
| 1 | <i>Depreciation</i> | \$ 4.201.379,70 | Rp 75.624.834.565,61 |
| 2 | <i>Property taxes</i> | \$ 1.680.551,88 | Rp 30.249.933.826,24 |
| 3 | <i>Insurance</i> | \$ 420.137,97 | Rp 7.562.483.456,56 |
| Fixed Manufacturing Cost (FMC) | | \$ 6.302.069,55 | Rp 113.437.251.848,42 |

Tabel 4.15 Total Manufacturing Cost (MC)

| No | Type of Expense | Harga (\$) | Harga (Rp) |
|---------------------------------------|--|-------------------------|--------------------------------|
| 1 | <i>Direct Manufacturing Cost (DMC)</i> | \$ 63.757.592,58 | Rp 1.147.960.666.465,41 |
| 2 | <i>Indirect Manufacturing Cost (IMC)</i> | \$ 7.386.397,23 | Rp 118.182.355.685,38 |
| 3 | <i>Fixed Manufacturing Cost (FMC)</i> | \$ 6.302.069,55 | Rp 113.437.251.848,42 |
| Total Manufacturing Cost (TMC) | | \$ 76.643.348,56 | Rp 1.379.580.273.999,21 |

Total MC (dalam rupiah) = Rp 1.379.580.273.999,21

4.8.5 General Expense

General Expense atau yang sering disebut pengeluaran umum yaitu pengeluaran yang meliputi pengeluaran-pengeluaran yang bersangkutan dengan fungsi-fungsi perusahaan yang tidak termasuk *manufacturing cost*.

1. Administrasi (2% MC)
2. Penjualan (10% MC)
3. *Research* (3% MC)
4. *Finance* (4% WCI +FCI)

Tabel 4.26 Total General Expense

| No | Type of Expense | Harga (\$) | Harga (Rp) |
|-----------------------------|-----------------------|-------------------------|------------------------------|
| 1 | <i>Administration</i> | \$ 2.425.784,57 | Rp 43.664.122.274,15 |
| 2 | <i>Sales expense</i> | \$ 12.128.922,85 | Rp 218.320.611.370,00 |
| 3 | <i>Research</i> | \$ 3.638.676,86 | Rp 65.496.183.411,23 |
| 4 | <i>Finance</i> | \$ 7.458.732,54 | Rp 134.257.185.720,42 |
| General Expense (GE) | | \$ 25.652.116,82 | Rp 461.738.102.776,58 |

Total General Expense (dalam rupiah) = Rp 461.738.102.776,58

4.8.6 Total Capital Cost

$$\begin{aligned}
 \text{Total Capital Cost} &= \text{FCI} + \text{WCI} \\
 &= \text{Rp}756.248.345.656,12 + \text{Rp} 2.600.181.297.354,45 \\
 &= \text{Rp} 3.356.429.643.010,57 \\
 &= \$ 186.468.313,50
 \end{aligned}$$

4.8.7 Total Biaya Produksi

Total Production Cost = Manufacturing Cost + General Expense

=Rp 1.379.580.273.999,21+Rp 461.738.102.776,58

= Rp 1.841.318.376.775,79

= \$ 102.295.465,38

4.8.8 Analisa Keuntungan

a. Keuntungan Sebelum Pajak (*Profit Before Tax*)

Total Penjualan = Rp 2.183.206.113.707,680

Total Production Cost = Rp 1.841.318.376.775,79

Profit Before Tax (PBT) = Rp 341.887.736.931,90

b. Keuntungan sesudah pajak (*Profir After Tax*)

Pajak (30% PBT) = Rp 102.566.321.079,57

Profit After Tax (PAT) = Rp 239.321.415.852,33

4.8.9 Analisa Kelayakan

1. Return On Investment (ROI)

Return on Investment adalah tingkat keuntungan yang dihasilkan dari tingkat investasi yang telah dikeluarkan

$$ROI = \frac{\text{Pr ofit(keuntungan)}}{\text{FixedCapitalCost}} \times 100\%$$

a. Sebelum Pajak

$$(ROI)_b = \frac{\textit{Profit Before Tax}}{\textit{Fixed Capital}} \times 100\%$$

$$\mathbf{ROI_b = 45,21\%}$$

b. Sesudah pajak

$$(ROI)_a = \frac{\textit{Profit After Tax}}{\textit{Fixed Capital}} \times 100\%$$

$$\mathbf{ROI_a = 31,65\%}$$

2. Pay Out Time (POT)

Pay Out Time yaitu lama waktu pengambilan modal yang berdasarkan keuntungan yang sudah dicapai.

$$POT = \frac{\textit{FixedCapitalCost}}{\textit{profit}} \times 100\%$$

a. Sebelum Pajak

$$(POT)_b = \frac{\textit{Fixed Capital}}{\textit{Profit before tax} + 0.1 \textit{Fixed Capital}}$$

$$\mathbf{POT_b = 1,81 \textit{ tahun}}$$

b. Sesudah Pajak

$$(POT)_a = \frac{\textit{Fixed Capital}}{\textit{Profit after tax} + 0.1 \textit{Fixed Capital}}$$

$$\mathbf{POT_a = 2,40 \textit{ tahun}}$$

3. Break Event Point (BEP)

Break event point yaitu titik yang menunjukkan suatu tingkat dimana biaya dan penghasilan jumlahnya sama. Dengan BEP kita dapat menentukan tingkat

harga jual unit yang dijual secara minimum dan berapa harga perunit yang dijual agar mendapatkan keuntungan.

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

Annual Fixed Cost (Fa)

| | |
|-----------------------|--------------------------------|
| <i>Depresiasi</i> | = Rp 75.624.834.565,61 |
| <i>Property Tax</i> | = Rp 30.249.933.826,24 |
| Asuransi | = Rp 7.562.483.456,56 |
| Total nilai Fa | = Rp 113.437.251.848,42 |

Regulated Cost (Ra)

| | |
|-------------------------|--------------------------------|
| Gaji Karyawan | = Rp 12.029.400.000,00 |
| <i>Payroll Overhead</i> | = Rp 1.804.410.000,00 |
| <i>Supervision</i> | = Rp 3.007.350.000,00 |
| <i>Plant Overhead</i> | = Rp 6.014.700.000,00 |
| Laboratorium | = Rp 1.202.940.000,00 |
| <i>General Expense</i> | = Rp 461.738.102.776,58 |
| <i>Maintenance</i> | = Rp 962.352.000,00 |
| <i>Plant Supplies</i> | = Rp 144.352.800,00 |
| Total nilai Ra | = Rp 486.903.607.576,58 |

Annual Variable Value (Va)

| | |
|---------------------|-------------------------|
| <i>Raw Material</i> | = Rp 896.553.088.205,86 |
|---------------------|-------------------------|

| | |
|--------------------------------|----------------------------------|
| <i>Packaging and Shipping</i> | = Rp 109.160.305.685,38 |
| Utilitas | = Rp 169.767.940.048,32 |
| <i>Royalty and Patten</i> | = Rp 65.496.183.411,23 |
| Total nilai Va | = Rp 1.240.977.517.350,79 |
| | |
| <i>Annual Sales Value (Sa)</i> | = Rp 2.183.206.113.707,68 |

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

$$BEP = 43,15 \%$$

Batasan: Chemical Indusry, nilai BEP = 40-60%

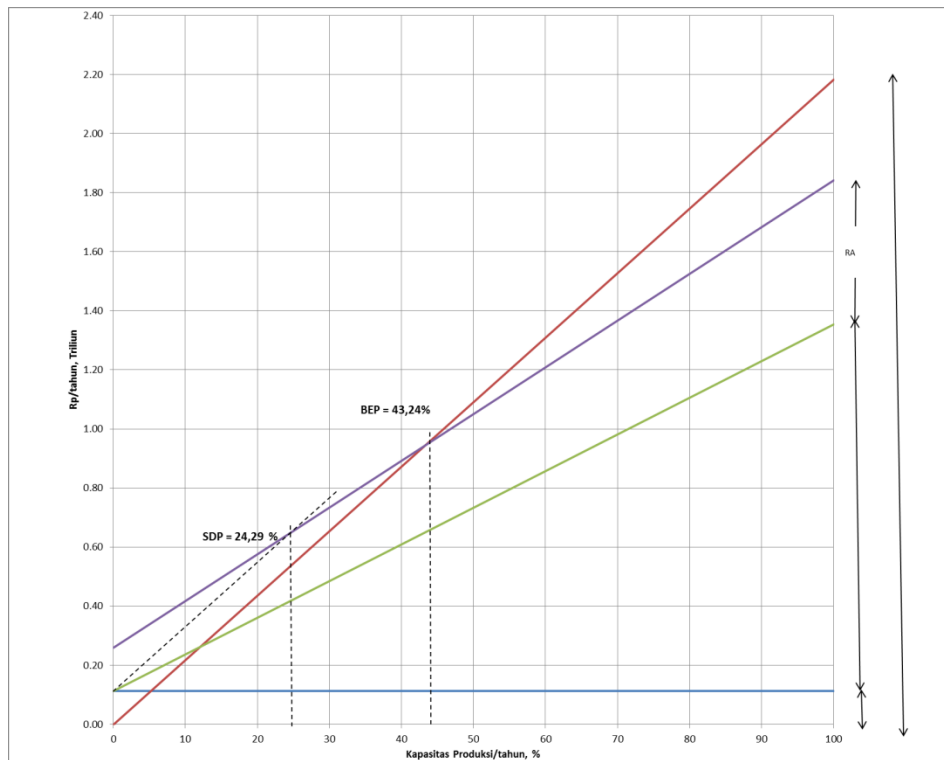
Kesimpulan : Pabrik memenuhi syarat

4. *Shut Down Point (SDP)*

Shut Down Point yaitu titik atau penentuan satu aktivitas produksi harus dihentikan, karena biaya untuk melanjutkan operasi pabrik akan lebih mahal dari pada biaya untuk menutup pabrik dan membayar fixed cost.

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

$$SDP = 24,29 \%$$



Gambar 4.9 Grafik BEP

5. Discounted Cash Flow Rate (DCFR)

Discounted Cash Flow Rate of return yaitu laju bunga maksimum dimana pabrik dapat membayar pinjaman beserta bunganya kepada bank selama umur pabrik.

Umur pabrik (n) = 10 Tahun

Fixed Xapital Cost (FCC) = Rp 756.248.345.656,12

Working Capital Cost (WC) = Rp 2.600.181.297.354,45

Salvage value (Sv) = Rp 75.624.834.565,61

Cash Flow (Cf) = Rp 449.203.436.138,36

Discounted Cash Flow dihitung secara *trial and error*:

Persamaan yang digunakan untuk menentukan DCFR:

$$(FCC + WC)(1+i)^n = \sum_{k=1}^n C_k(1+i)^{n-k} + WC + SV$$

Dengan *trial and error* diperoleh ***i* = 0,1741**

DCFR = 17,41 %

Batasan : Minimum nilai DCFR = 1,5 x Bunga simpanan bank

Bunga Bank : 4,5% (Deposit BNI)

Kesimpulan : DCFR memenuhi syarat (1,5 x 4,5% = 6,75%)

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa, baik analisa ekonomi maupun teknik, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari segi bahan baku, pemasaran, akses transportasi, dan juga lingkungan, lokasi pendirian pabrik *fatty alcohol* di daerah Serang, Banten cukup menguntungkan karena kemudahan dalam mendapatkan bahan baku, tenaga kerja, serta ketersediaan air dan listrik. Meskipun demikian, pabrik FA ini digolongkan sebagai pabrik beresiko tinggi karena prosesnya berlangsung pada kondisi operasi yang tinggi (suhu 250 – 274 °C, Tekanan 250 atm), serta bahan baku gas hidrogen yang digunakan mempunyai sifat mudah terbakar dan meledak pada kondisi tersebut.
2. Dengan *excess* gas hidrogen yang mencapai 400% maka banyak gas hidrogen yang di recycle.
3. Dari perhitungan analisa ekonomi diperoleh hasil sebagai berikut:

| | |
|--------------------------|---------------------------|
| Modal Tetap | = Rp 756.248.345.656,12 |
| Modal Kerja | = Rp 2.600.181.297.354,45 |
| Keuntungan sebelum pajak | = Rp 341.887.736.931,90 |
| Keuntungan setelah pajak | = Rp 239.321.415.852,33 |

Untuk kesimpulan ekonomi disajikan dalam tabel 5.1

Tabel 5.1 *Kesimpulan evaluasi ekonomi*

| Kriteria | Terhitung | Persyaratan | Keterangan |
|-------------------|--------------|---|-----------------------|
| ROI sebelum pajak | 45,21 % | High risk < 44% (Aries Newton, P.193) | Telah memenuhi syarat |
| ROI sesudah pajak | 31,65 % | | |
| POT sebelum pajak | 1,8113 tahun | High risk < 2 th (Aries Newton, P.196) | Telah memenuhi syarat |
| POT sesudah pajak | 2,4012 tahun | | |
| BEP | 43,15 % | 40-60% | Telah memenuhi syarat |
| SDP | 24,29 % | | |
| DCFR | 17,41 % | Kelayakan: 1,5 X suku bunga simpanan (deposito) di bank | Telah memenuhi syarat |

Dari hasil evaluasi ekonomi, pra rancangan pabrik *fatty alcohol* dengan proses hidrogenasi metil ester dengan gas hidrogen dengan katalis *copper chromite* layak untuk didirikan.

5.2 Saran

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

1. Optimasi pemilihan seperti alat proses atau alat penunjang dan bahan baku perlu diperhatikan sehingga akan lebih mengoptimalkan keuntungan yang diperoleh
2. Perancangan pabrik kimia tidak lepas dari produksi limbah, sehingga diharapkan berkembangnya pabrik kimia yang lebih ramah lingkungan .

Produk FA yang dihasilkan dapat direalisasikan sebagai sarana untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri maupun *export* dimasa mendatang yang jumlahnya semakin meningkat dan juga menunjang perekonomian di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2011. *Fixed Bed Reactor*. Nob Hill Oub Lishing
- Aries, R.S . and Newton, R.D. 1955. *Chemical Engineering Cost Estimation*,
New York: Mc Graw Hill Handbook C0. Inc.
- Augusta, dkk, 2000. *All About FAs*, Italy: Condea.
- Badan Pusat Statistik. 2014. *Statistik Perdagangan Luar Negeri Indonesia*,
Indonesia Foreign, Trade Statistic Export, Yogyakarta
- Brown, G.G. dkk. 1978. *Unit Operation. Modern Asia Edition*, New York:
John Wiley and Sons, Inc.
- Brownell, L.E and Young. E.H. 1959. *Process Equipment Design*, New York:
John Wiley and Sons, Inc.
- Burghardt, A. 2014. *Eulerian Three-Phase Flow Model Applied to Truckle
Bed Reactors*, Poland: Polish Academy of Scientist.
- Coulson, J.M. and Richardson, J.F. 1983. *Chemical Engineering. Vol 1 & 6*,
New York: Pergamon Internasional Library.
- Doris de Guzman. 2013. *Oleochemical The Next Generation*, Canada: Green
Chemicals Blog.
- Faith, W.L and Keyes. D.B. 1961. *Industrial Chemical*, New York: John
Wiley and Sons, Inc.
- Fromment, F.G. and Bisehoff, B.K. 1979, *Chemical Reactor Ananlysis and
Design*, New York: John Wiley and Sons, Inc.

- Geankoplis, C.J. 1997. *Transport Process and Unit Operations*, 3rd ed. New Jersey: Prentice-Hall
- Holman, J. 1981. *Heat Transfer*, New York: Mc Graw Hill Book Co., Inc.
- John B, Butt. 1999. *Reaction Kinetics and Reactor Design* 2nd ed, New York: Marcel Dekker.
- Kern, D.Q. 1983. *Process Heat Transfer*, New York: Mc Graw Hill Book Co., Inc.
- Kupan, T. 2000. *Heat Exchanger Design Handbook*. Marcel Dekker, Inc. New York
- Levenspiel, O. 1972. *Chemical Reaction Engineering*, 2nd ed, New York: John Willey and Sons, Inc.
- Ling, K. 2000. *Gas Viscosity at high presurre and high temperature*, China: University of Petroleum.
- Mc Cabe, Smith, J.C. and Harriot. 1985. *Unit Operation of Chemical Engineering*, 4th ed, New York: Mc Graw Hill Book Co., Inc.
- Noweck. K. 2011. *Production Technologies and Application of FAs*, Germany: Lecture at the 4th on Fats and Oils as Renewab le Feedstock for the Chemical Industry.
- Perry, R.H., and Greed, D. 1997. *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, 7th ed. McGraw Hill Companies Inc. USA
- Peters, M.S., and Timmerhaus, K.D. 1980. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*, 3rd ed. Mc Graw Hill Book Co. Inc. New York.

- Rase, H.F. 1977. *Chemical Reactor Design for Process Plants*. Wiley Interscience, Canada.
- Rifai, N. 2014. *The Development and Prospect of Indonesian Palm Oil Industry and Its Derivative Product*, Indonesia: IOSR Journal of Economics and Finance.
- Saleh, Farham H.M., 2015, *Neraca Massa dan Neraca Panas*, Aswaja Pressindo, Yogyakarta
- Sander Van Den Hark, dkk. 2000. *Hydrogenation of Oleochemical at Supercritical single-phase condition: influence of hidrogen and substrats concentration on the process*, Sweden: Elsevier.
- Smith, J.M., and Van Ness, H.C., 1975, *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics*, 3rd. Ed. Mc. Graw Hill, kogakusha, Tokyo.
- Suyenti. E. 2007. *Catalyst in Basis Oleochemical*, Indonesia: Bulletin of Chemical Reaction Engineering and Catalyst.
- Ulrich, G.G., 1984, *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*, John Willey and Sons, New York
- Yaws, C.L. 1999. *Chemical Properties Handbook*, Texas: Mc Graw Hill.
- <http://maps.google.com>
- <http://www.alibaba.com>
- <http://www.bps.go.id>
- <http://www.che.com>
- <http://chemicalbook.com>

<http://www.icispricing.com>

<http://b-ok.org>

<http://www.matche.com>

<http://www.un.go.id>

<https://webbook.nist.gov>

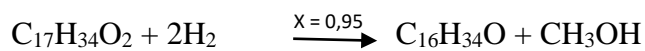
<https://www.icis.com>

LAMPIRAN

Reaktor

| | |
|-----------------|--|
| Jenis | : Trickle Bed Reactor |
| Fungsi | : Tempat berlangsungnya reaksi antara metil ester dan hidrokarbon membentuk FA |
| Kondisi Operasi | : Suhu = 250°C |
| | Tekanan = 200 atm |
| | Reaksi = Eksotermis |

Reaksi yang terjadi didalam Reaktor



1. Menentukan Jenis Reaktor

Dipilih reactor trickle bed dengan pertimbangan sebagai berikut:

- a. Plug flow of liquid
- b. Tidak ada limitasi transfer massa dan transfer panas antar gas dan cairan, cairan dan padatan, dan antar partikel katalis
- c. Reaksi terjadi hanya di permukaan katalis dan antar transfer massa
- d. Tidak ada penguapan dan pengembunan

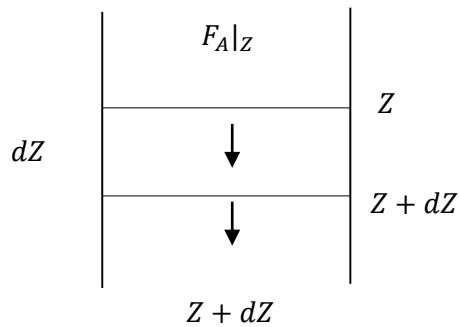
(John B. Butt, hal 647)

2. Persamaan- persamaan matematis reactor

- a. Neraca massa reactor

Reaksi berlangsung dalam keadaan steady state dalam reactor setebal dz dengan konversi sebesar X.

Neraca massa $C_{17}H_{34}O_2$ pada elemen volume:



Input – Output – Bereaksi = 0

$$F_A|_Z - F_A|_{Z+dZ} - (-ra)dv = 0$$

$$dv = \frac{\pi D^2}{4} \varepsilon dz$$

dv = Volume diantara katalis pada elemen volume

$$F_A|_Z - F_A|_{Z+dZ} - (-ra) \cdot \frac{\pi D^2}{4} \varepsilon dZ = 0$$

$$\frac{-F_A|_{Z+dZ} + F_A|_Z}{dZ} = (-ra) \cdot \frac{\pi D^2}{4} \varepsilon$$

$$\frac{-dF_A}{dZ} = (-ra) \cdot \frac{\pi D^2}{4} \varepsilon$$

Dimana $F_A = F_{A0}(1-X)$

$$dF_A = -F_{A0} \cdot dX$$

$$F_{A0} \frac{dX}{dZ} = (-r_A) \frac{\pi D^2}{4} \varepsilon$$

$$\frac{dX}{dZ} = \frac{(-r_A) \pi D^2 \varepsilon}{4 \cdot F_{A0}}$$

Dikarenakan reaksi hidrogenasi ini merupakan reaksi yang cepat dengan konsentrasi liquid yang rendah, maka dapat digunakan persamaan

$$-r_A = \frac{1}{\frac{1}{k_{Ag}a_i} + \frac{H_A}{k_{Al}a_iE}} P_A \dots \dots \dots \frac{kmol}{cum.s}$$

Element of Chemical Engineering Reactors, Octave Levenspiel, P.532

Dengan,

$$k_{aL} = 0.42 \cdot \left(\frac{\mu \cdot g}{\rho} \right)^{1/3} \cdot \left(\frac{\rho \cdot Dal}{\mu} \right)^{1/2}$$

$$k_{ag} = \frac{jD \cdot G}{Sc^{2/3} \cdot P}$$

$$Dal = \frac{7,4 \cdot 10^{-8} \cdot \sqrt{\theta \cdot Mr_L \cdot T}}{\mu_L \cdot Va^{0.6}}$$

$$jD = 0.0149 \cdot \left(\frac{G \cdot Dr}{\mu_g} \right)^{-0.12}$$

Dimana: $\frac{dx}{dz}$ = Perubahan Konversi Persatuan Panjang

ε = Porositas

(-ra) = Kecepatan Reaksi

Z = Panjang Reaktor

D = Diameter dalam Pipa

H = Bilangan henry

Kal = Koefisien perpindahan massa di liquid

Kag = Koefisien perpindahan massa di gas

P_A = Tekanan gas

ρ_{liq} = Densitas liquid

μ_{liq} = Viskositas liquid

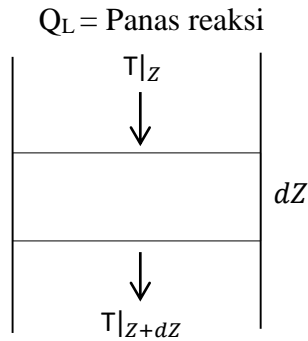
Dal = Difusivitas

jD = Flux Ratio

S = Bilangan Schmidt

G = Superficial mass velocity

b. Neraca panas elemen volume



Input – Output = Acc

$$\sum m_i \cdot C_{pi}(T|_z - T_0) - \sum m_i \cdot C_{pi}(T|_{z+dZ} - T_0) - Q_R = 0$$

$$\sum m_i \cdot C_{pi}(T|_z - T|_{z+dZ}) - Q_R = 0$$

$$\sum m_i \cdot C_{pi}(-dT) - Q_R = 0$$

Dimana, $Q_R = \Delta H_R \cdot F_{A0} dX$

$$\frac{\sum m_i \cdot C_{pi}(-dT)}{dZ} = \Delta H_R \cdot F_{A0} \frac{dX}{dZ}$$

$$\sum m_i \cdot C_{pi} \left(\frac{-dT}{dZ} \right) = \Delta H_R \cdot F_{A0} \left(\frac{dX}{dZ} \right)$$

$$\left(\frac{-dT}{dZ} \right) = \frac{\Delta H_R \cdot F_{A0} \left(\frac{dX}{dZ} \right)}{\sum m_i \cdot C_{pi}}$$

$$\frac{dT}{dz} = - \frac{\Delta H_R F_{A0} \frac{dx}{dz}}{\sum F_i \cdot C_{pi}}$$

Dimana: $\frac{dT}{dz}$ = Perubahan suhu persatuan panjang reaktor

ΔH_R = Panas Reaksi, j/kmol

T = Suhu, K

F_{A0} = Kecepatan Alir Massa, kmol/s

C_p = Kapasitas panas, j/mol.K

c. Pressure Drop

Dalam penentuan pressure drop direaktor, digunakan persamaan:

$$\frac{dP}{dZ} = -\frac{G}{\rho \cdot g \cdot Dp} \cdot \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon^2} \cdot \left[\frac{150(1 - \varepsilon)\mu}{Dp} + 1,75G \right]$$

Dimana: G = Kecepatan kalor massa gas dalam pipa

ρ = Densitas gas, kg/m³

Dp = Densitas Partikel katalis, m

g = Gaya gravitasi, m/s²

ε = Porositas tumpukan katalisator

μ = Viskositas gas, kg/m.s

3. Sifat fisis komponen

a. Menentukan Umpan Masuk

| Komponen | BM (kg/mol) | Massa (kg/jam) | Mol (kmol) | Xi |
|-------------|----------------|-------------------|------------|--------|
| Metil ester | 270 | 5931,4326 | 21,9683 | 0,0025 |
| Hidrogen | 2 | 17574,6151 | 8787,3075 | 0,9975 |
| Total | | 23506,0476 | 8809,2758 | 1 |

b. Menentukan Densitas dan Volume Umpan Reaktor

$$\rho = A \cdot B^{-\left(1 - \frac{T}{T_c}\right)^n}$$

$$\rho_{gas} = P \cdot \frac{BM}{RT}$$

| Komponen | A | B | n | Tc | T(K) | $\left(\frac{T-T_c}{T_c}\right)^n$ | ρ (kg/m ³) |
|-------------|--------|-------|-------|-----|------|------------------------------------|--------------------------------|
| Metil ester | 0,2674 | 0,257 | 0,286 | 790 | 523 | -0,68012 | 669,772 |
| Hidrogen | | | | | | | 9,327 |

| Komponen | Massa (kg/jam) | xi | ρ umpan (kg/m ³) | Q umpan (m ³ /s) |
|-------------|-------------------|--------|--------------------------------------|--------------------------------|
| Metil ester | 5931,4326 | 0,0025 | 669,772 | 0,9864 |
| Hidrogen | 17574,6151 | 0,9975 | 9,327 | 0,5247 |
| Total | 23506,0476 | 1,0000 | 679,099 | 1,5111 |

c. Menentukan Viskositas Umpan

$$\eta_{gas} = A + BT + CT^2$$

$$\text{Log}\eta_{liq} = A + \frac{B}{T} + CT + DT^2$$

| Komponen | A | B | C | D |
|-------------|----------|----------|-----------|-----------|
| Metil ester | -21,9653 | 4,86E+03 | 3,19E-02 | -1,72E-05 |
| Hidrogen | 27,758 | 2,12E-01 | -3,28E-05 | - |

| Komponen | μ cP | zi. μ | zi. μ | zi. μ | μ campuran kg/m.s |
|-------------|-------------|-----------|------------|-----------|--------------------------|
| | | (kg/s.m) | (kg/jam.m) | lb/ft.jam | |
| Metil ester | 0,1954 | 0,0000005 | 0,0017544 | 0,0000004 | 0,000000487 |
| Hidrogen | 0,0130 | 0,0000129 | 0,0465620 | 0,0000113 | 0,000012934 |
| Total | 0,2084 | 0,0000134 | 0,0483164 | 0,0000117 | 0,000013421 |

d. Menentukan Konduktivitas Umpan

$$k_{gas} = A + BT + CT^2$$

$$\text{Log}k_{liq} = A + B \cdot \left[1 - \frac{T}{C}\right]^{2.7}$$

| Komponen | A | B | C |
|-------------|--------------|-------------|--------------|
| Metil ester | -1,786400000 | 1,092000000 | 770 |
| Hidrogen | 0,039510000 | 0,000459180 | -0,000000065 |

| Komponen | zi | k | zi.k |
|-------------|--------|------------|------------|
| | | W/m.K | W/m.K |
| Metil ester | 0,0025 | 1,6969E-02 | 4,2316E-05 |
| Hidrogen | 0,9975 | 2,6190E-01 | 2,6125E-01 |
| Total | 1,0000 | 2,7887E-01 | 2,6129E-01 |

e. Menentukan Kapasitas Panas Campuran Umpan

$$Cp = A + BT + CT^2 + DT^3 + ET^4$$

| Komponen | A | B | C | D | E |
|-------------|---------|--------|-------------|------------|-------------|
| Metil ester | 50,5080 | 3,5963 | -7,5402E-03 | 6,4420E-06 | 0,0000E+00 |
| Hidrogen | 25,3990 | 0,0202 | -3,8549E-05 | 3,1880E-08 | -8,7885E-12 |

| Komponen | Xi | Cp | Cp.Xi | Cp | Cpi = Xi.Cp |
|-------------|--------|-------------------|-------------------|-----------------|-------------|
| | | kJoule/ kmol.K | Kjoule/ kmol.K | kJoule/ kg.K | kJoule/kg.K |
| Metil ester | 0,0025 | 790,4741 | 1,9713 | 2,9277 | 0,0073 |
| Hidrogen | 0,9975 | 29,3109 | 29,2378 | 14,6555 | 14,6189 |
| Total | 1,0000 | 819,7850 | 31,2091 | 17,5831 | 14,6262 |

f. Menentukan Panas Reaksi

| Komponen | ΔH_{298} (kJ/jam) | ΔH_{in} (kJ/jam) | ΔH_{out} (kJ/jam) |
|-------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|
| Metil ester | -11392854,05 | 1109068,874 | 55453,44368 |
| Hidrogen | 0 | 53429432,77 | 53175642,97 |
| FA | -10962100,23 | | 1005314,441 |
| Metanol | -4198388,805 | | 379911,6498 |
| Total | -26553343,085 | 54538501,65 | 54616322,5 |

Dari data diperoleh:

$$\begin{aligned}\Delta H_R &= \Delta H_{298} + \Delta H_{Out} - \Delta H_{In} \\ &= -3689814,13503 \text{ kJ/jam}\end{aligned}$$

g. Data Sifat Fisis Katalis

| | |
|--------------|--------------------------|
| Jenis | : CuCr |
| Bentuk | : Pellet |
| Diameter | : 5100 μ |
| Density | : 4500 kg/m ³ |
| Bulk Density | : 670 kg/m ³ |
| Porositas | : 0,851 |

4. Dimensi Reaktor

a. Menentukan Diameter Reaktor

$$\frac{(G')^2 F \mu^{0,1}}{\rho_G (\rho_L - \rho_G) g_c} = \textit{ordinat}$$

Asumsi:

| | |
|-----------------|------------------------------|
| Nilai Ordinat | : 0,16 |
| Viskositas Cair | : 0,0001954 kg/m.s |
| Viskositas Gas | : 0,0000130 kg/m.s |
| Densitas Cair | : 669,7721 kg/m ³ |
| Densitas Gas | : 9,3271 kg/m ³ |

Maka, dihasilkan,

Superficial mass velocity (G'): 18, 6835 kg/m².s

Kondisi flooding 30%, G' menjadi = 5,6050 kg/m².s

Luas reactor, A : Kecepatan alir massa feed, G/G'

| | |
|---|-------------------------|
| G | : 6,525294 kg/s |
| A | : 1,1649 m ² |
| D | : 1,2181 m |

(Unit Operation of Chemical Engineering, Mc.cabe, 5th Ed)

b. Simulasi Tinggi Reaktor menggunakan Metode Runge Kutta

Dirancang reactor dengan kondisi Nonisothermal Adiabatis

Digunakan metode runge kutta untuk menyelesaikan persamaan-persamaan

berikut:

$$\frac{dx}{dz} = \frac{(-r_A)\pi D^2 \varepsilon}{4 \cdot F_{A0}}$$

$$\frac{dT}{dz} = - \frac{\Delta H_R F_{A0} \frac{dx}{dz}}{\sum F_i \cdot C_{pi}}$$

$$\frac{dP}{dZ} = - \frac{G}{\rho \cdot g \cdot Dp} \cdot \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon^2} \cdot \left[\frac{150(1 - \varepsilon)\mu}{Dp} + 1,75G \right]$$

| n | Z (m) | X | T (K) | P (atm) | K ₁ | L1 | M ₁ | K ₂ | L2 | M ₂ | K ₃ | L3 | M ₃ | K ₄ | L4 | M ₄ |
|----|--------|--------|----------|----------|----------------|--------|----------------|----------------|--------|----------------|----------------|--------|----------------|----------------|--------|----------------|
| 0 | 0,0000 | 0,0000 | 523,0000 | 200,0000 | 0,0041 | 0,1025 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1027 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1027 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1029 | 0,0000 |
| 1 | 0,0280 | 0,0041 | 523,1027 | 200,0000 | 0,0041 | 0,1025 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1027 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1027 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1029 | 0,0000 |
| 2 | 0,0560 | 0,0082 | 523,2054 | 200,0000 | 0,0041 | 0,1025 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1027 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1027 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1030 | 0,0000 |
| 3 | 0,0840 | 0,0122 | 523,3081 | 200,0000 | 0,0041 | 0,1025 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1028 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1028 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1030 | 0,0000 |
| 4 | 0,1120 | 0,0163 | 523,4109 | 200,0000 | 0,0041 | 0,1026 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1028 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1028 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1030 | 0,0000 |
| 5 | 0,1400 | 0,0204 | 523,5137 | 200,0000 | 0,0041 | 0,1026 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1028 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1028 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1031 | 0,0000 |
| 6 | 0,1680 | 0,0245 | 523,6166 | 200,0000 | 0,0041 | 0,1026 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1029 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1029 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1031 | 0,0000 |
| 7 | 0,1960 | 0,0286 | 523,7194 | 200,0000 | 0,0041 | 0,1027 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1029 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1029 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1031 | 0,0000 |
| 8 | 0,2240 | 0,0326 | 523,8223 | 200,0000 | 0,0041 | 0,1027 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1029 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1029 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1032 | 0,0000 |
| 9 | 0,2520 | 0,0367 | 523,9253 | 200,0000 | 0,0041 | 0,1027 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1030 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1030 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1032 | 0,0000 |
| 10 | 0,2800 | 0,0408 | 524,0282 | 200,0000 | 0,0041 | 0,1028 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1030 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1030 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1032 | 0,0000 |
| 11 | 0,3080 | 0,0449 | 524,1312 | 200,0000 | 0,0041 | 0,1028 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1030 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1030 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1033 | 0,0000 |
| 12 | 0,3360 | 0,0490 | 524,2343 | 200,0000 | 0,0041 | 0,1028 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1031 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1031 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1033 | 0,0000 |
| 13 | 0,3640 | 0,0530 | 524,3373 | 200,0000 | 0,0041 | 0,1029 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1031 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1031 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1033 | 0,0000 |
| 14 | 0,3920 | 0,0571 | 524,4404 | 200,0000 | 0,0041 | 0,1029 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1031 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1031 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1034 | 0,0000 |
| 15 | 0,4200 | 0,0612 | 524,5435 | 200,0000 | 0,0041 | 0,1029 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1032 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1032 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1034 | 0,0000 |
| 16 | 0,4480 | 0,0653 | 524,6467 | 199,9999 | 0,0041 | 0,1030 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1032 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1032 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1034 | 0,0000 |
| 17 | 0,4760 | 0,0694 | 524,7499 | 199,9999 | 0,0041 | 0,1030 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1032 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1032 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1035 | 0,0000 |
| 18 | 0,5040 | 0,0734 | 524,8531 | 199,9999 | 0,0041 | 0,1030 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1033 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1033 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1035 | 0,0000 |
| 19 | 0,5320 | 0,0775 | 524,9564 | 199,9999 | 0,0041 | 0,1031 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1033 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1033 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1035 | 0,0000 |
| 20 | 0,5600 | 0,0816 | 525,0597 | 199,9999 | 0,0041 | 0,1031 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1033 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1033 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1035 | 0,0000 |
| 21 | 0,5880 | 0,0857 | 525,1630 | 199,9999 | 0,0041 | 0,1031 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1034 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1034 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1036 | 0,0000 |
| 22 | 0,6160 | 0,0898 | 525,2663 | 199,9999 | 0,0041 | 0,1032 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1034 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1034 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1036 | 0,0000 |
| 23 | 0,6440 | 0,0938 | 525,3697 | 199,9999 | 0,0041 | 0,1032 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1034 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1034 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1036 | 0,0000 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|--------|--------|----------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 24 | 0,6720 | 0,0979 | 525,4731 | 199,9999 | 0,0041 | 0,1032 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1035 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1035 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1037 | 0,0000 |
| 25 | 0,7000 | 0,1020 | 525,5766 | 199,9999 | 0,0041 | 0,1033 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1035 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1035 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1037 | 0,0000 |
| 26 | 0,7280 | 0,1061 | 525,6801 | 199,9999 | 0,0041 | 0,1033 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1035 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1035 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1037 | 0,0000 |
| 27 | 0,7560 | 0,1102 | 525,7836 | 199,9999 | 0,0041 | 0,1033 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1035 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1035 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1038 | 0,0000 |
| 28 | 0,7840 | 0,1142 | 525,8871 | 199,9999 | 0,0041 | 0,1034 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1036 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1036 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1038 | 0,0000 |
| 29 | 0,8120 | 0,1183 | 525,9907 | 199,9999 | 0,0041 | 0,1034 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1036 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1036 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1038 | 0,0000 |
| 30 | 0,8400 | 0,1224 | 526,0943 | 199,9999 | 0,0041 | 0,1034 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1036 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1036 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1039 | 0,0000 |
| 31 | 0,8680 | 0,1265 | 526,1980 | 199,9999 | 0,0041 | 0,1035 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1037 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1037 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1039 | 0,0000 |
| 32 | 0,8960 | 0,1306 | 526,3017 | 199,9999 | 0,0041 | 0,1035 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1037 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1037 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1039 | 0,0000 |
| 33 | 0,9240 | 0,1346 | 526,4054 | 199,9999 | 0,0041 | 0,1035 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1037 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1037 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1040 | 0,0000 |
| 34 | 0,9520 | 0,1387 | 526,5091 | 199,9999 | 0,0041 | 0,1035 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1038 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1038 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1040 | 0,0000 |
| 35 | 0,9800 | 0,1428 | 526,6129 | 199,9999 | 0,0041 | 0,1036 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1038 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1038 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1040 | 0,0000 |
| 36 | 1,0080 | 0,1469 | 526,7167 | 199,9999 | 0,0041 | 0,1036 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1038 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1038 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1041 | 0,0000 |
| 37 | 1,0360 | 0,1510 | 526,8205 | 199,9999 | 0,0041 | 0,1036 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1039 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1039 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1041 | 0,0000 |
| 38 | 1,0640 | 0,1550 | 526,9244 | 199,9999 | 0,0041 | 0,1037 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1039 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1039 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1041 | 0,0000 |
| 39 | 1,0920 | 0,1591 | 527,0283 | 199,9999 | 0,0041 | 0,1037 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1039 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1039 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1042 | 0,0000 |
| 40 | 1,1200 | 0,1632 | 527,1323 | 199,9999 | 0,0041 | 0,1037 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1040 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1040 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1042 | 0,0000 |
| 41 | 1,1480 | 0,1673 | 527,2362 | 199,9999 | 0,0041 | 0,1038 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1040 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1040 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1042 | 0,0000 |
| 42 | 1,1760 | 0,1714 | 527,3402 | 199,9999 | 0,0041 | 0,1038 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1040 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1040 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1043 | 0,0000 |
| 43 | 1,2040 | 0,1754 | 527,4443 | 199,9999 | 0,0041 | 0,1038 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1041 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1041 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1043 | 0,0000 |
| 44 | 1,2320 | 0,1795 | 527,5484 | 199,9999 | 0,0041 | 0,1039 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1041 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1041 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1043 | 0,0000 |
| 45 | 1,2600 | 0,1836 | 527,6525 | 199,9999 | 0,0041 | 0,1039 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1041 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1041 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1044 | 0,0000 |
| 46 | 1,2880 | 0,1877 | 527,7566 | 199,9999 | 0,0041 | 0,1039 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1042 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1042 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1044 | 0,0000 |
| 47 | 1,3160 | 0,1918 | 527,8608 | 199,9998 | 0,0041 | 0,1040 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1042 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1042 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1044 | 0,0000 |
| 48 | 1,3440 | 0,1958 | 527,9650 | 199,9998 | 0,0041 | 0,1040 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1042 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1042 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1045 | 0,0000 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|--------|--------|----------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 49 | 1,3720 | 0,1999 | 528,0692 | 199,9998 | 0,0041 | 0,1040 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1043 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1043 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1045 | 0,0000 |
| 50 | 1,4000 | 0,2040 | 528,1735 | 199,9998 | 0,0041 | 0,1041 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1043 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1043 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1045 | 0,0000 |
| 51 | 1,4280 | 0,2081 | 528,2778 | 199,9998 | 0,0041 | 0,1041 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1043 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1043 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1046 | 0,0000 |
| 52 | 1,4560 | 0,2122 | 528,3821 | 199,9998 | 0,0041 | 0,1041 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1044 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1044 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1046 | 0,0000 |
| 53 | 1,4840 | 0,2162 | 528,4865 | 199,9998 | 0,0041 | 0,1042 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1044 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1044 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1046 | 0,0000 |
| 54 | 1,5120 | 0,2203 | 528,5909 | 199,9998 | 0,0041 | 0,1042 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1044 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1044 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1047 | 0,0000 |
| 55 | 1,5400 | 0,2244 | 528,6953 | 199,9998 | 0,0041 | 0,1042 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1045 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1045 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1047 | 0,0000 |
| 56 | 1,5680 | 0,2285 | 528,7998 | 199,9998 | 0,0041 | 0,1043 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1045 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1045 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1047 | 0,0000 |
| 57 | 1,5960 | 0,2326 | 528,9043 | 199,9998 | 0,0041 | 0,1043 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1045 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1045 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1048 | 0,0000 |
| 58 | 1,6240 | 0,2366 | 529,0089 | 199,9998 | 0,0041 | 0,1043 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1046 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1046 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1048 | 0,0000 |
| 59 | 1,6520 | 0,2407 | 529,1134 | 199,9998 | 0,0041 | 0,1044 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1046 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1046 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1048 | 0,0000 |
| 60 | 1,6800 | 0,2448 | 529,2180 | 199,9998 | 0,0041 | 0,1044 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1046 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1046 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1049 | 0,0000 |
| 61 | 1,7080 | 0,2489 | 529,3227 | 199,9998 | 0,0041 | 0,1044 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1047 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1047 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1049 | 0,0000 |
| 62 | 1,7360 | 0,2530 | 529,4273 | 199,9998 | 0,0041 | 0,1045 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1047 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1047 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1049 | 0,0000 |
| 63 | 1,7640 | 0,2570 | 529,5320 | 199,9998 | 0,0041 | 0,1045 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1047 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1047 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1050 | 0,0000 |
| 64 | 1,7920 | 0,2611 | 529,6368 | 199,9998 | 0,0041 | 0,1045 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1048 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1048 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1050 | 0,0000 |
| 65 | 1,8200 | 0,2652 | 529,7416 | 199,9998 | 0,0041 | 0,1046 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1048 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1048 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1050 | 0,0000 |
| 66 | 1,8480 | 0,2693 | 529,8464 | 199,9998 | 0,0041 | 0,1046 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1048 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1048 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1051 | 0,0000 |
| 67 | 1,8760 | 0,2733 | 529,9512 | 199,9998 | 0,0041 | 0,1046 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1049 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1049 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1051 | 0,0000 |
| 68 | 1,9040 | 0,2774 | 530,0561 | 199,9998 | 0,0041 | 0,1047 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1049 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1049 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1051 | 0,0000 |
| 69 | 1,9320 | 0,2815 | 530,1610 | 199,9998 | 0,0041 | 0,1047 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1049 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1049 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1052 | 0,0000 |
| 70 | 1,9600 | 0,2856 | 530,2659 | 199,9998 | 0,0041 | 0,1047 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1050 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1050 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1052 | 0,0000 |
| 71 | 1,9880 | 0,2897 | 530,3709 | 199,9998 | 0,0041 | 0,1048 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1050 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1050 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1052 | 0,0000 |
| 72 | 2,0160 | 0,2937 | 530,4759 | 199,9998 | 0,0041 | 0,1048 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1050 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1050 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1053 | 0,0000 |
| 73 | 2,0440 | 0,2978 | 530,5810 | 199,9998 | 0,0041 | 0,1048 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1051 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1051 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1053 | 0,0000 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|--------|--------|----------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 74 | 2,0720 | 0,3019 | 530,6860 | 199,9998 | 0,0041 | 0,1049 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1051 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1051 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1053 | 0,0000 |
| 75 | 2,1000 | 0,3060 | 530,7911 | 199,9998 | 0,0041 | 0,1049 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1051 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1051 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1054 | 0,0000 |
| 76 | 2,1280 | 0,3101 | 530,8963 | 199,9998 | 0,0041 | 0,1049 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1052 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1052 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1054 | 0,0000 |
| 77 | 2,1560 | 0,3141 | 531,0015 | 199,9998 | 0,0041 | 0,1050 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1052 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1052 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1054 | 0,0000 |
| 78 | 2,1840 | 0,3182 | 531,1067 | 199,9997 | 0,0041 | 0,1050 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1052 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1052 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1055 | 0,0000 |
| 79 | 2,2120 | 0,3223 | 531,2119 | 199,9997 | 0,0041 | 0,1050 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1053 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1053 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1055 | 0,0000 |
| 80 | 2,2400 | 0,3264 | 531,3172 | 199,9997 | 0,0041 | 0,1051 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1053 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1053 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1055 | 0,0000 |
| 81 | 2,2680 | 0,3305 | 531,4225 | 199,9997 | 0,0041 | 0,1051 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1053 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1053 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1056 | 0,0000 |
| 82 | 2,2960 | 0,3345 | 531,5279 | 199,9997 | 0,0041 | 0,1052 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1054 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1054 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1056 | 0,0000 |
| 83 | 2,3240 | 0,3386 | 531,6333 | 199,9997 | 0,0041 | 0,1052 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1054 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1054 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1057 | 0,0000 |
| 84 | 2,3520 | 0,3427 | 531,7387 | 199,9997 | 0,0041 | 0,1052 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1055 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1055 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1057 | 0,0000 |
| 85 | 2,3800 | 0,3468 | 531,8441 | 199,9997 | 0,0041 | 0,1053 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1055 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1055 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1057 | 0,0000 |
| 86 | 2,4080 | 0,3509 | 531,9496 | 199,9997 | 0,0041 | 0,1053 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1055 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1055 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1058 | 0,0000 |
| 87 | 2,4360 | 0,3549 | 532,0551 | 199,9997 | 0,0041 | 0,1053 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1056 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1056 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1058 | 0,0000 |
| 88 | 2,4640 | 0,3590 | 532,1607 | 199,9997 | 0,0041 | 0,1054 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1056 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1056 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1058 | 0,0000 |
| 89 | 2,4920 | 0,3631 | 532,2663 | 199,9997 | 0,0041 | 0,1054 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1056 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1056 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1059 | 0,0000 |
| 90 | 2,5200 | 0,3672 | 532,3719 | 199,9997 | 0,0041 | 0,1054 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1057 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1057 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1059 | 0,0000 |
| 91 | 2,5480 | 0,3713 | 532,4776 | 199,9997 | 0,0041 | 0,1055 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1057 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1057 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1059 | 0,0000 |
| 92 | 2,5760 | 0,3753 | 532,5833 | 199,9997 | 0,0041 | 0,1055 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1057 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1057 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1060 | 0,0000 |
| 93 | 2,6040 | 0,3794 | 532,6890 | 199,9997 | 0,0041 | 0,1055 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1058 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1058 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1060 | 0,0000 |
| 94 | 2,6320 | 0,3835 | 532,7947 | 199,9997 | 0,0041 | 0,1056 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1058 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1058 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1060 | 0,0000 |
| 95 | 2,6600 | 0,3876 | 532,9005 | 199,9997 | 0,0041 | 0,1056 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1058 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1058 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1061 | 0,0000 |
| 96 | 2,6880 | 0,3917 | 533,0064 | 199,9997 | 0,0041 | 0,1056 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1059 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1059 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1061 | 0,0000 |
| 97 | 2,7160 | 0,3957 | 533,1122 | 199,9997 | 0,0041 | 0,1057 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1059 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1059 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1061 | 0,0000 |
| 98 | 2,7440 | 0,3998 | 533,2181 | 199,9997 | 0,0041 | 0,1057 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1059 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1059 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1062 | 0,0000 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|--------|--------|----------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 99 | 2,7720 | 0,4039 | 533,3241 | 199,9997 | 0,0041 | 0,1057 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1060 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1060 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1062 | 0,0000 |
| 100 | 2,8000 | 0,4080 | 533,4300 | 199,9997 | 0,0041 | 0,1058 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1060 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1060 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1062 | 0,0000 |
| 101 | 2,8280 | 0,4121 | 533,5360 | 199,9997 | 0,0041 | 0,1058 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1060 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1060 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1063 | 0,0000 |
| 102 | 2,8560 | 0,4161 | 533,6421 | 199,9997 | 0,0041 | 0,1058 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1061 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1061 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1063 | 0,0000 |
| 103 | 2,8840 | 0,4202 | 533,7482 | 199,9997 | 0,0041 | 0,1059 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1061 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1061 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1063 | 0,0000 |
| 104 | 2,9120 | 0,4243 | 533,8543 | 199,9997 | 0,0041 | 0,1059 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1061 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1061 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1064 | 0,0000 |
| 105 | 2,9400 | 0,4284 | 533,9604 | 199,9997 | 0,0041 | 0,1059 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1062 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1062 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1064 | 0,0000 |
| 106 | 2,9680 | 0,4325 | 534,0666 | 199,9997 | 0,0041 | 0,1060 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1062 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1062 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1064 | 0,0000 |
| 107 | 2,9960 | 0,4365 | 534,1728 | 199,9997 | 0,0041 | 0,1060 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1062 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1062 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1065 | 0,0000 |
| 108 | 3,0240 | 0,4406 | 534,2790 | 199,9997 | 0,0041 | 0,1060 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1063 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1063 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1065 | 0,0000 |
| 109 | 3,0520 | 0,4447 | 534,3853 | 199,9996 | 0,0041 | 0,1061 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1063 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1063 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1066 | 0,0000 |
| 110 | 3,0800 | 0,4488 | 534,4916 | 199,9996 | 0,0041 | 0,1061 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1064 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1064 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1066 | 0,0000 |
| 111 | 3,1080 | 0,4529 | 534,5980 | 199,9996 | 0,0041 | 0,1062 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1064 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1064 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1066 | 0,0000 |
| 112 | 3,1360 | 0,4569 | 534,7044 | 199,9996 | 0,0041 | 0,1062 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1064 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1064 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1067 | 0,0000 |
| 113 | 3,1640 | 0,4610 | 534,8108 | 199,9996 | 0,0041 | 0,1062 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1065 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1065 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1067 | 0,0000 |
| 114 | 3,1920 | 0,4651 | 534,9173 | 199,9996 | 0,0041 | 0,1063 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1065 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1065 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1067 | 0,0000 |
| 115 | 3,2200 | 0,4692 | 535,0238 | 199,9996 | 0,0041 | 0,1063 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1065 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1065 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1068 | 0,0000 |
| 116 | 3,2480 | 0,4733 | 535,1303 | 199,9996 | 0,0041 | 0,1063 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1066 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1066 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1068 | 0,0000 |
| 117 | 3,2760 | 0,4773 | 535,2369 | 199,9996 | 0,0041 | 0,1064 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1066 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1066 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1068 | 0,0000 |
| 118 | 3,3040 | 0,4814 | 535,3435 | 199,9996 | 0,0041 | 0,1064 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1066 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1066 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1069 | 0,0000 |
| 119 | 3,3320 | 0,4855 | 535,4501 | 199,9996 | 0,0041 | 0,1064 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1067 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1067 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1069 | 0,0000 |
| 120 | 3,3600 | 0,4896 | 535,5568 | 199,9996 | 0,0041 | 0,1065 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1067 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1067 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1069 | 0,0000 |
| 121 | 3,3880 | 0,4937 | 535,6635 | 199,9996 | 0,0041 | 0,1065 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1067 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1067 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1070 | 0,0000 |
| 122 | 3,4160 | 0,4977 | 535,7702 | 199,9996 | 0,0041 | 0,1065 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1068 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1068 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1070 | 0,0000 |
| 123 | 3,4440 | 0,5018 | 535,8770 | 199,9996 | 0,0041 | 0,1066 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1068 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1068 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1070 | 0,0000 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|--------|--------|----------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 124 | 3,4720 | 0,5059 | 535,9838 | 199,9996 | 0,0041 | 0,1066 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1068 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1068 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1071 | 0,0000 |
| 125 | 3,5000 | 0,5100 | 536,0906 | 199,9996 | 0,0041 | 0,1066 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1069 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1069 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1071 | 0,0000 |
| 126 | 3,5280 | 0,5141 | 536,1975 | 199,9996 | 0,0041 | 0,1067 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1069 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1069 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1072 | 0,0000 |
| 127 | 3,5560 | 0,5181 | 536,3044 | 199,9996 | 0,0041 | 0,1067 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1070 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1070 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1072 | 0,0000 |
| 128 | 3,5840 | 0,5222 | 536,4114 | 199,9996 | 0,0041 | 0,1068 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1070 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1070 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1072 | 0,0000 |
| 129 | 3,6120 | 0,5263 | 536,5184 | 199,9996 | 0,0041 | 0,1068 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1070 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1070 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1073 | 0,0000 |
| 130 | 3,6400 | 0,5304 | 536,6254 | 199,9996 | 0,0041 | 0,1068 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1071 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1071 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1073 | 0,0000 |
| 131 | 3,6680 | 0,5345 | 536,7325 | 199,9996 | 0,0041 | 0,1069 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1071 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1071 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1073 | 0,0000 |
| 132 | 3,6960 | 0,5385 | 536,8396 | 199,9996 | 0,0041 | 0,1069 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1071 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1071 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1074 | 0,0000 |
| 133 | 3,7240 | 0,5426 | 536,9467 | 199,9996 | 0,0041 | 0,1069 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1072 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1072 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1074 | 0,0000 |
| 134 | 3,7520 | 0,5467 | 537,0539 | 199,9996 | 0,0041 | 0,1070 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1072 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1072 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1074 | 0,0000 |
| 135 | 3,7800 | 0,5508 | 537,1611 | 199,9996 | 0,0041 | 0,1070 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1072 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1072 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1075 | 0,0000 |
| 136 | 3,8080 | 0,5549 | 537,2683 | 199,9996 | 0,0041 | 0,1070 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1073 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1073 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1075 | 0,0000 |
| 137 | 3,8360 | 0,5589 | 537,3756 | 199,9996 | 0,0041 | 0,1071 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1073 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1073 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1075 | 0,0000 |
| 138 | 3,8640 | 0,5630 | 537,4829 | 199,9996 | 0,0041 | 0,1071 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1073 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1073 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1076 | 0,0000 |
| 139 | 3,8920 | 0,5671 | 537,5903 | 199,9996 | 0,0041 | 0,1071 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1074 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1074 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1076 | 0,0000 |
| 140 | 3,9200 | 0,5712 | 537,6976 | 199,9996 | 0,0041 | 0,1072 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1074 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1074 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1077 | 0,0000 |
| 141 | 3,9480 | 0,5753 | 537,8051 | 199,9995 | 0,0041 | 0,1072 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1075 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1075 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1077 | 0,0000 |
| 142 | 3,9760 | 0,5793 | 537,9125 | 199,9995 | 0,0041 | 0,1073 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1075 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1075 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1077 | 0,0000 |
| 143 | 4,0040 | 0,5834 | 538,0200 | 199,9995 | 0,0041 | 0,1073 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1075 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1075 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1078 | 0,0000 |
| 144 | 4,0320 | 0,5875 | 538,1275 | 199,9995 | 0,0041 | 0,1073 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1076 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1076 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1078 | 0,0000 |
| 145 | 4,0600 | 0,5916 | 538,2351 | 199,9995 | 0,0041 | 0,1074 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1076 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1076 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1078 | 0,0000 |
| 146 | 4,0880 | 0,5957 | 538,3427 | 199,9995 | 0,0041 | 0,1074 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1076 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1076 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1079 | 0,0000 |
| 147 | 4,1160 | 0,5997 | 538,4503 | 199,9995 | 0,0041 | 0,1074 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1077 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1077 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1079 | 0,0000 |
| 148 | 4,1440 | 0,6038 | 538,5580 | 199,9995 | 0,0041 | 0,1075 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1077 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1077 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1079 | 0,0000 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|--------|--------|----------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 149 | 4,1720 | 0,6079 | 538,6657 | 199,9995 | 0,0041 | 0,1075 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1077 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1077 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1080 | 0,0000 |
| 150 | 4,2000 | 0,6120 | 538,7735 | 199,9995 | 0,0041 | 0,1075 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1078 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1078 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1080 | 0,0000 |
| 151 | 4,2280 | 0,6161 | 538,8812 | 199,9995 | 0,0041 | 0,1076 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1078 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1078 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1081 | 0,0000 |
| 152 | 4,2560 | 0,6201 | 538,9891 | 199,9995 | 0,0041 | 0,1076 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1079 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1079 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1081 | 0,0000 |
| 153 | 4,2840 | 0,6242 | 539,0969 | 199,9995 | 0,0041 | 0,1077 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1079 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1079 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1081 | 0,0000 |
| 154 | 4,3120 | 0,6283 | 539,2048 | 199,9995 | 0,0041 | 0,1077 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1079 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1079 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1082 | 0,0000 |
| 155 | 4,3400 | 0,6324 | 539,3127 | 199,9995 | 0,0041 | 0,1077 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1080 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1080 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1082 | 0,0000 |
| 156 | 4,3680 | 0,6365 | 539,4207 | 199,9995 | 0,0041 | 0,1078 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1080 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1080 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1082 | 0,0000 |
| 157 | 4,3960 | 0,6405 | 539,5287 | 199,9995 | 0,0041 | 0,1078 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1080 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1080 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1083 | 0,0000 |
| 158 | 4,4240 | 0,6446 | 539,6367 | 199,9995 | 0,0041 | 0,1078 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1081 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1081 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1083 | 0,0000 |
| 159 | 4,4520 | 0,6487 | 539,7448 | 199,9995 | 0,0041 | 0,1079 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1081 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1081 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1083 | 0,0000 |
| 160 | 4,4800 | 0,6528 | 539,8529 | 199,9995 | 0,0041 | 0,1079 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1081 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1081 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1084 | 0,0000 |
| 161 | 4,5080 | 0,6569 | 539,9611 | 199,9995 | 0,0041 | 0,1079 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1082 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1082 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1084 | 0,0000 |
| 162 | 4,5360 | 0,6609 | 540,0692 | 199,9995 | 0,0041 | 0,1080 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1082 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1082 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1085 | 0,0000 |
| 163 | 4,5640 | 0,6650 | 540,1775 | 199,9995 | 0,0041 | 0,1080 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1083 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1083 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1085 | 0,0000 |
| 164 | 4,5920 | 0,6691 | 540,2857 | 199,9995 | 0,0041 | 0,1081 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1083 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1083 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1085 | 0,0000 |
| 165 | 4,6200 | 0,6732 | 540,3940 | 199,9995 | 0,0041 | 0,1081 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1083 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1083 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1086 | 0,0000 |
| 166 | 4,6480 | 0,6773 | 540,5024 | 199,9995 | 0,0041 | 0,1081 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1084 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1084 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1086 | 0,0000 |
| 167 | 4,6760 | 0,6813 | 540,6107 | 199,9995 | 0,0041 | 0,1082 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1084 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1084 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1086 | 0,0000 |
| 168 | 4,7040 | 0,6854 | 540,7191 | 199,9995 | 0,0041 | 0,1082 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1084 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1084 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1087 | 0,0000 |
| 169 | 4,7320 | 0,6895 | 540,8276 | 199,9995 | 0,0041 | 0,1082 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1085 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1085 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1087 | 0,0000 |
| 170 | 4,7600 | 0,6936 | 540,9360 | 199,9995 | 0,0041 | 0,1083 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1085 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1085 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1088 | 0,0000 |
| 171 | 4,7880 | 0,6977 | 541,0446 | 199,9995 | 0,0041 | 0,1083 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1086 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1086 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1088 | 0,0000 |
| 172 | 4,8160 | 0,7017 | 541,1531 | 199,9994 | 0,0041 | 0,1084 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1086 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1086 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1088 | 0,0000 |
| 173 | 4,8440 | 0,7058 | 541,2617 | 199,9994 | 0,0041 | 0,1084 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1086 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1086 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1089 | 0,0000 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|--------|--------|----------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 174 | 4,8720 | 0,7099 | 541,3703 | 199,9994 | 0,0041 | 0,1084 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1087 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1087 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1089 | 0,0000 |
| 175 | 4,9000 | 0,7140 | 541,4790 | 199,9994 | 0,0041 | 0,1085 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1087 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1087 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1089 | 0,0000 |
| 176 | 4,9280 | 0,7181 | 541,5877 | 199,9994 | 0,0041 | 0,1085 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1087 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1087 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1090 | 0,0000 |
| 177 | 4,9560 | 0,7221 | 541,6964 | 199,9994 | 0,0041 | 0,1085 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1088 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1088 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1090 | 0,0000 |
| 178 | 4,9840 | 0,7262 | 541,8052 | 199,9994 | 0,0041 | 0,1086 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1088 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1088 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1091 | 0,0000 |
| 179 | 5,0120 | 0,7303 | 541,9140 | 199,9994 | 0,0041 | 0,1086 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1089 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1089 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1091 | 0,0000 |
| 180 | 5,0400 | 0,7344 | 542,0229 | 199,9994 | 0,0041 | 0,1086 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1089 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1089 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1091 | 0,0000 |
| 181 | 5,0680 | 0,7385 | 542,1318 | 199,9994 | 0,0041 | 0,1087 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1089 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1089 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1092 | 0,0000 |
| 182 | 5,0960 | 0,7425 | 542,2407 | 199,9994 | 0,0041 | 0,1087 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1090 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1090 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1092 | 0,0000 |
| 183 | 5,1240 | 0,7466 | 542,3497 | 199,9994 | 0,0041 | 0,1088 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1090 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1090 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1092 | 0,0000 |
| 184 | 5,1520 | 0,7507 | 542,4587 | 199,9994 | 0,0041 | 0,1088 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1090 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1090 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1093 | 0,0000 |
| 185 | 5,1800 | 0,7548 | 542,5677 | 199,9994 | 0,0041 | 0,1088 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1091 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1091 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1093 | 0,0000 |
| 186 | 5,2080 | 0,7588 | 542,6768 | 199,9994 | 0,0041 | 0,1089 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1091 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1091 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1094 | 0,0000 |
| 187 | 5,2360 | 0,7629 | 542,7859 | 199,9994 | 0,0041 | 0,1089 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1092 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1092 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1094 | 0,0000 |
| 188 | 5,2640 | 0,7670 | 542,8950 | 199,9994 | 0,0041 | 0,1089 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1092 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1092 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1094 | 0,0000 |
| 189 | 5,2920 | 0,7711 | 543,0042 | 199,9994 | 0,0041 | 0,1090 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1092 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1092 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1095 | 0,0000 |
| 190 | 5,3200 | 0,7752 | 543,1134 | 199,9994 | 0,0041 | 0,1090 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1093 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1093 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1095 | 0,0000 |
| 191 | 5,3480 | 0,7792 | 543,2227 | 199,9994 | 0,0041 | 0,1091 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1093 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1093 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1095 | 0,0000 |
| 192 | 5,3760 | 0,7833 | 543,3320 | 199,9994 | 0,0041 | 0,1091 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1093 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1093 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1096 | 0,0000 |
| 193 | 5,4040 | 0,7874 | 543,4413 | 199,9994 | 0,0041 | 0,1091 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1094 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1094 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1096 | 0,0000 |
| 194 | 5,4320 | 0,7915 | 543,5507 | 199,9994 | 0,0041 | 0,1092 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1094 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1094 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1097 | 0,0000 |
| 195 | 5,4600 | 0,7956 | 543,6601 | 199,9994 | 0,0041 | 0,1092 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1095 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1095 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1097 | 0,0000 |
| 196 | 5,4880 | 0,7996 | 543,7696 | 199,9994 | 0,0041 | 0,1092 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1095 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1095 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1097 | 0,0000 |
| 197 | 5,5160 | 0,8037 | 543,8791 | 199,9994 | 0,0041 | 0,1093 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1095 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1095 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1098 | 0,0000 |
| 198 | 5,5440 | 0,8078 | 543,9886 | 199,9994 | 0,0041 | 0,1093 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1096 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1096 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1098 | 0,0000 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|--------|--------|----------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 199 | 5,5720 | 0,8119 | 544,0982 | 199,9994 | 0,0041 | 0,1094 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1096 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1096 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1098 | 0,0000 |
| 200 | 5,6000 | 0,8160 | 544,2078 | 199,9994 | 0,0041 | 0,1094 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1096 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1096 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1099 | 0,0000 |
| 201 | 5,6280 | 0,8200 | 544,3174 | 199,9994 | 0,0041 | 0,1094 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1097 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1097 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1099 | 0,0000 |
| 202 | 5,6560 | 0,8241 | 544,4271 | 199,9994 | 0,0041 | 0,1095 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1097 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1097 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1100 | 0,0000 |
| 203 | 5,6840 | 0,8282 | 544,5368 | 199,9993 | 0,0041 | 0,1095 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1098 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1098 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1100 | 0,0000 |
| 204 | 5,7120 | 0,8323 | 544,6466 | 199,9993 | 0,0041 | 0,1096 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1098 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1098 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1100 | 0,0000 |
| 205 | 5,7400 | 0,8364 | 544,7564 | 199,9993 | 0,0041 | 0,1096 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1098 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1098 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1101 | 0,0000 |
| 206 | 5,7680 | 0,8404 | 544,8662 | 199,9993 | 0,0041 | 0,1096 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1099 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1099 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1101 | 0,0000 |
| 207 | 5,7960 | 0,8445 | 544,9761 | 199,9993 | 0,0041 | 0,1097 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1099 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1099 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1102 | 0,0000 |
| 208 | 5,8240 | 0,8486 | 545,0860 | 199,9993 | 0,0041 | 0,1097 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1099 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1099 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1102 | 0,0000 |
| 209 | 5,8520 | 0,8527 | 545,1959 | 199,9993 | 0,0041 | 0,1097 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1100 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1100 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1102 | 0,0000 |
| 210 | 5,8800 | 0,8568 | 545,3059 | 199,9993 | 0,0041 | 0,1098 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1100 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1100 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1103 | 0,0000 |
| 211 | 5,9080 | 0,8608 | 545,4160 | 199,9993 | 0,0041 | 0,1098 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1101 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1101 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1103 | 0,0000 |
| 212 | 5,9360 | 0,8649 | 545,5260 | 199,9993 | 0,0041 | 0,1099 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1101 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1101 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1103 | 0,0000 |
| 213 | 5,9640 | 0,8690 | 545,6361 | 199,9993 | 0,0041 | 0,1099 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1101 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1101 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1104 | 0,0000 |
| 214 | 5,9920 | 0,8731 | 545,7463 | 199,9993 | 0,0041 | 0,1099 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1102 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1102 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1104 | 0,0000 |
| 215 | 6,0200 | 0,8772 | 545,8564 | 199,9993 | 0,0041 | 0,1100 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1102 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1102 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1105 | 0,0000 |
| 216 | 6,0480 | 0,8812 | 545,9667 | 199,9993 | 0,0041 | 0,1100 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1103 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1103 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1105 | 0,0000 |
| 217 | 6,0760 | 0,8853 | 546,0769 | 199,9993 | 0,0041 | 0,1101 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1103 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1103 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1105 | 0,0000 |
| 218 | 6,1040 | 0,8894 | 546,1872 | 199,9993 | 0,0041 | 0,1101 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1103 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1103 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1106 | 0,0000 |
| 219 | 6,1320 | 0,8935 | 546,2975 | 199,9993 | 0,0041 | 0,1101 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1104 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1104 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1106 | 0,0000 |
| 220 | 6,1600 | 0,8976 | 546,4079 | 199,9993 | 0,0041 | 0,1102 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1104 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1104 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1107 | 0,0000 |
| 221 | 6,1880 | 0,9016 | 546,5183 | 199,9993 | 0,0041 | 0,1102 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1105 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1105 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1107 | 0,0000 |
| 222 | 6,2160 | 0,9057 | 546,6288 | 199,9993 | 0,0041 | 0,1102 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1105 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1105 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1107 | 0,0000 |
| 223 | 6,2440 | 0,9098 | 546,7393 | 199,9993 | 0,0041 | 0,1103 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1105 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1105 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1108 | 0,0000 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|--------|--------|----------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 224 | 6,2720 | 0,9139 | 546,8498 | 199,9993 | 0,0041 | 0,1103 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1106 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1106 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1108 | 0,0000 |
| 225 | 6,3000 | 0,9180 | 546,9604 | 199,9993 | 0,0041 | 0,1104 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1106 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1106 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1109 | 0,0000 |
| 226 | 6,3280 | 0,9220 | 547,0710 | 199,9993 | 0,0041 | 0,1104 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1106 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1106 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1109 | 0,0000 |
| 227 | 6,3560 | 0,9261 | 547,1816 | 199,9993 | 0,0041 | 0,1104 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1107 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1107 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1109 | 0,0000 |
| 228 | 6,3840 | 0,9302 | 547,2923 | 199,9993 | 0,0041 | 0,1105 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1107 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1107 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1110 | 0,0000 |
| 229 | 6,4120 | 0,9343 | 547,4030 | 199,9993 | 0,0041 | 0,1105 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1108 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1108 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1110 | 0,0000 |
| 230 | 6,4400 | 0,9384 | 547,5138 | 199,9993 | 0,0041 | 0,1106 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1108 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1108 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1110 | 0,0000 |
| 231 | 6,4680 | 0,9424 | 547,6246 | 199,9993 | 0,0041 | 0,1106 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1108 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1108 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1111 | 0,0000 |
| 232 | 6,4960 | 0,9465 | 547,7354 | 199,9993 | 0,0041 | 0,1106 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1109 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1109 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1111 | 0,0000 |
| 233 | 6,5240 | 0,9506 | 547,8463 | 199,9993 | 0,0041 | 0,1107 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1109 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1109 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1112 | 0,0000 |
| 234 | 6,5520 | 0,9547 | 547,9572 | 199,9992 | 0,0041 | 0,1107 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1110 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1110 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1112 | 0,0000 |
| 235 | 6,5800 | 0,9588 | 548,0682 | 199,9992 | 0,0041 | 0,1108 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1110 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1110 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1112 | 0,0000 |
| 236 | 6,6080 | 0,9628 | 548,1792 | 199,9992 | 0,0041 | 0,1108 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1110 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1110 | 0,0000 | 0,0041 | 0,1113 | 0,0000 |

c. Menghitung Tebal Dinding Reaktor

$$t_s = \frac{P \cdot r}{f \cdot E - 0.6 P_d} + C \quad \dots\dots\dots \text{Brownell \& Young, Eq 13. P.254}$$

Dimana: t_s = Tebal shell, m

E = Efisiensi pengelasan

f = Maksimum allowable stress bahan yang digunakan
(Brownell, table 13, P.251)

P = Tekanan design, Psi

C = Faktor korosi

r = Jari-jari dalam shell, in

Bahan yang digunakan Carbon Steel SA 285 Grade C,

Dengan pertimbangan : - Tahan sampai suhu 900°F

- Untuk t_s yang tebal

dengan spesifikasi:

E = 0,80

f = 13750 psi

C = 0,125

$r = \frac{ID}{2} = \frac{47,9601}{2} \text{ in}$

P operasi = 200 atm = 2940 psi -14 psi

Safety Factor = 20%, Maka

P design = 1,2 x P = 3510,36 psi

Sehingga,

Tebal shell (t_s)

$$= \frac{3510,36 \text{ psi} \cdot 23,9801 \text{ in}}{13750 \text{ psi} \cdot (0,80) - 0,6 \cdot (3510,36) \text{ psi}} + 0,125$$

$$= 10,63 \text{ in}$$

$$= 0,27 \text{ m}$$

Dikarenakan tidak tersedia ukuran standar, maka ukuran untuk reaktor menggunakan ukuran custom (ukuran dipesan) sebesar 10,63 in.

$$\begin{aligned} \text{Diameter luar reaktor} &= ID + 2ts \\ &= 47,9601 \text{ in} + 2(10,63) \text{ in} \\ &= 71,96 \text{ in} \end{aligned}$$

Sehingga dipilih diameter luar reaktor 72 in (Brownell P.90)

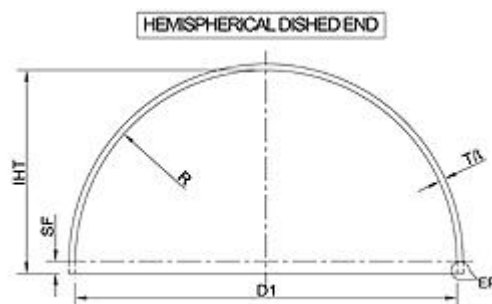
d. Menghitung Tebal Head Reaktor

Bentuk head : Hemispherical Dished Head

Pertimbangan : Digunakan untuk operasi yang sangat tinggi

Kuat dan ukuran yang tersedia terbatas

Bahan yang digunakan : Carbon Steel SA 285 Grade C



Keterangan gambar:

ID = Diameter dalam head

OD = Diameter luar head

- a = Jari-jari dalam head
t = Tebal head
r = Jari-jari luar dish
icr = Jari-jari dalam sudut icr
b = Tinggi head
sf = Straight Flange
OA = Tinggi Total head

Tebal head dihitung berdasarkan persamaan:

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

E = 0,80

f = 12650 psi

C = 0,125

r = $\frac{ID}{2}$ = $\frac{47,9601}{2}$ in

P operasi = 200 atm = 2940 psi -14 psi

Safety Factor = 20%, Maka

P design = 1,2 x P = 3510,36 psi

Sehingga,

$$\begin{aligned} \text{Tebal Head} &= \frac{3510,36 \text{ psi} \times 23,9801 \text{ in}}{2 \times 12650 \text{ psi} \times (0,80) - 0,2 \cdot (3510,36) \text{ psi}} + 0,125 \\ &= 8,74 \text{ in} \end{aligned}$$

e. Menghitung Tinggi Head Reaktor

$$\text{ODs} = 72 \text{ in}$$

$$t_s = 10,63 \text{ in}$$

$$\text{didapat : } i_{cr} = 9 \text{ in}$$

$$r = 66 \text{ in}$$

$$a = \text{IDs}/2 = 23,98 \text{ in}$$

$$\text{AB} = a - i_{cr} = 14,98 \text{ in}$$

$$\text{BC} = r - i_{cr} = 57,00 \text{ in}$$

$$\text{AC} = (\text{BC}^2 - \text{AB}^2)^{1/2} = 54,9963 \text{ in}$$

$$b = r - \text{AC} = 11,0037 \text{ in}$$

Dari tabel 5.11 Brownell P.88 dengan t_h 3 in diperoleh sf 1½ - 4 in, dipilih sf 3 in, maka,

Tinggi head reaktor dapat dihitung dengan persamaan:

$$h_H = t_H + b + sf$$

$$= 8,74 + 11,00 + 3$$

$$= 22,74 \text{ in}$$

f. Menghitung Tinggi Reaktor

$$\text{Tinggi reaktor total} = Z + 2h_H$$

$$= 302,3065 \text{ in}$$

$$= 7,68 \text{ m}$$

g. Menghitung Volume Reaktor (V_R)

$$V_R = V_S + 2V_H$$

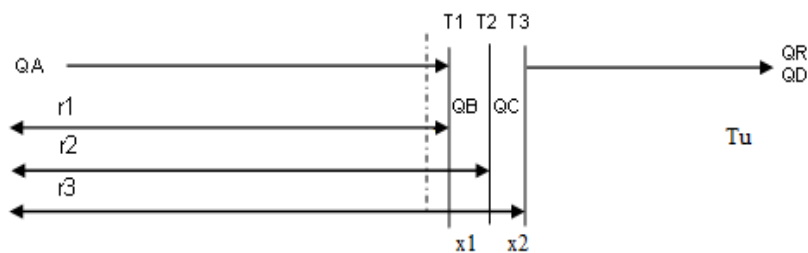
$$= 2.(3,14.IDs^2.Z) + (\pi/12 .IDs^3)$$

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

h. Tebal Isolasi Reaktor

Asumsi:

- Suhu reaktor = suhu permukaan dinding shell
- Steady state, $Q_A = Q_B = Q_C = (Q_D + Q_R)$
- Suhu permukaan luar isolasi isothermal



Keterangan:

r_1 = jari-jari dalam shell

r_2 = jari-jari luar shell

r_3 = jari-jari luar setelah diisolasi

x_1 = tebal dinding shell

x_2 = tebal isolator

T_1 = suhu dinding dalam shell

T_2 = suhu dinding luar shell

T_3 = suhu isolator luar

T_u = suhu udara luar

Q_A = Perp. Konveksi dari gas ke dinding dalam reaktor

Q_B = Perp. Konduksi melalui dinding reaktor

Q_C = Perp. Konduksi melalui isolator

Q_D = Perp. konveksi dari permukaan luar isolator

Q_R = Perp. Panas radiasi

Sifat – sifat fisis bahan:

- Bahan isolasi: Glass wool, dengan sifat fisis (Holman, P.644)

$$k_2 = 0,038 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$$

$$\varepsilon = 0,96$$

- Carbon steel:

$$k_1 = 43 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$$

Ditentukan Tisolator = 40 °C

Suhu Permukaan dinding luar:

$$\left(\frac{q}{A}\right)_{sun} \cdot \alpha_{sun} = \alpha_{low temp} \cdot \sigma \cdot (T_3^4 - T_u^4)$$

$$500 \times 0,18 = 0,8 \times 5,676 \cdot 10^{-8} \cdot (T_3^4 - 313,15^4)$$

$$90 = 4,541 \cdot 10^{-8} \cdot T_3^4 - 409,4313$$

$$499,4313 = 4,541 \cdot 10^{-8} \cdot T_3^4$$

$$T_3^4 = 1,1 \cdot 10^{10}$$

$$T_3 = 323,85 \text{ K}$$

$$T_3 = 50,85 \text{ }^\circ\text{C}$$

Konveksi

Sifat fisis udara pada suhu 40°C (Geankoplis, Tabel A3-3):

$$k = 0,0271 \text{ W/m.K}$$

$$\beta = 3,20 \cdot 10^{-03}$$

$$\rho = 1,127 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Pr} = 0,711$$

$$\text{Cp} = 1,0049 \text{ kJ/kg.K}$$

$$\text{Gr.Pr} = \frac{g \cdot \beta (T_w - T_u) \cdot z^3}{\nu^2} \cdot \text{Pr} \quad \dots \text{Heat Transfer, Holman P.346}$$

$$\text{Gr.Pr} = 2,3 \cdot 10^{11}$$

Berdasarkan tabel 4.7-2 Geankoplis, untuk silinder Vertikal dengan nilai

$\text{Gr.Pr} > 10^9$, maka koefisien perpindahan panas konveksi dirumuskan

sebagai berikut:

$$h = 1,24 \cdot (\Delta T)^{1/3}$$

$$h = 2,7324 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Radiasi

$$\begin{aligned} hf &= \frac{\sigma \epsilon (T_w^4 - T_u^4)}{(T_w - T_u)} \\ &= \frac{5,7 \cdot 10^{-8} \times 0,96 (323,85^4 - 313,15^4)}{(323,85 - 313,15)} \\ &= 7,0739 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} hc + hf &= 2,7324 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} + 7,0739 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \\ &= 9,8063 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Panas yang hilang dari dinsing isolasi ke udara:

$$Q_3 = (hc + hf) \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_3 \cdot L \cdot (T_3 - T_u)$$

$$Q_3 = 4377,7115 \cdot r_3 \text{ J/s}$$

Menghitung tebal isolasi reaktor (X_3)

Diketahui:

$$k_1 = 43 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$k_2 = 0,038 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$r_1 = 23,98 \text{ in} = 0,61 \text{ m}$$

$$r_2 = 36 \text{ in} = 0,91 \text{ m}$$

$$L = 6,524 \text{ m}$$

$$Q = \frac{2 \pi L (T_1 - T_u)}{\frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{k_1} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{k_2} + \frac{1}{(hc+hr)r_3}}$$

Dengan $Q_3 = Q$, maka diperoleh:

$$r_3 = 0,98 \text{ m}$$

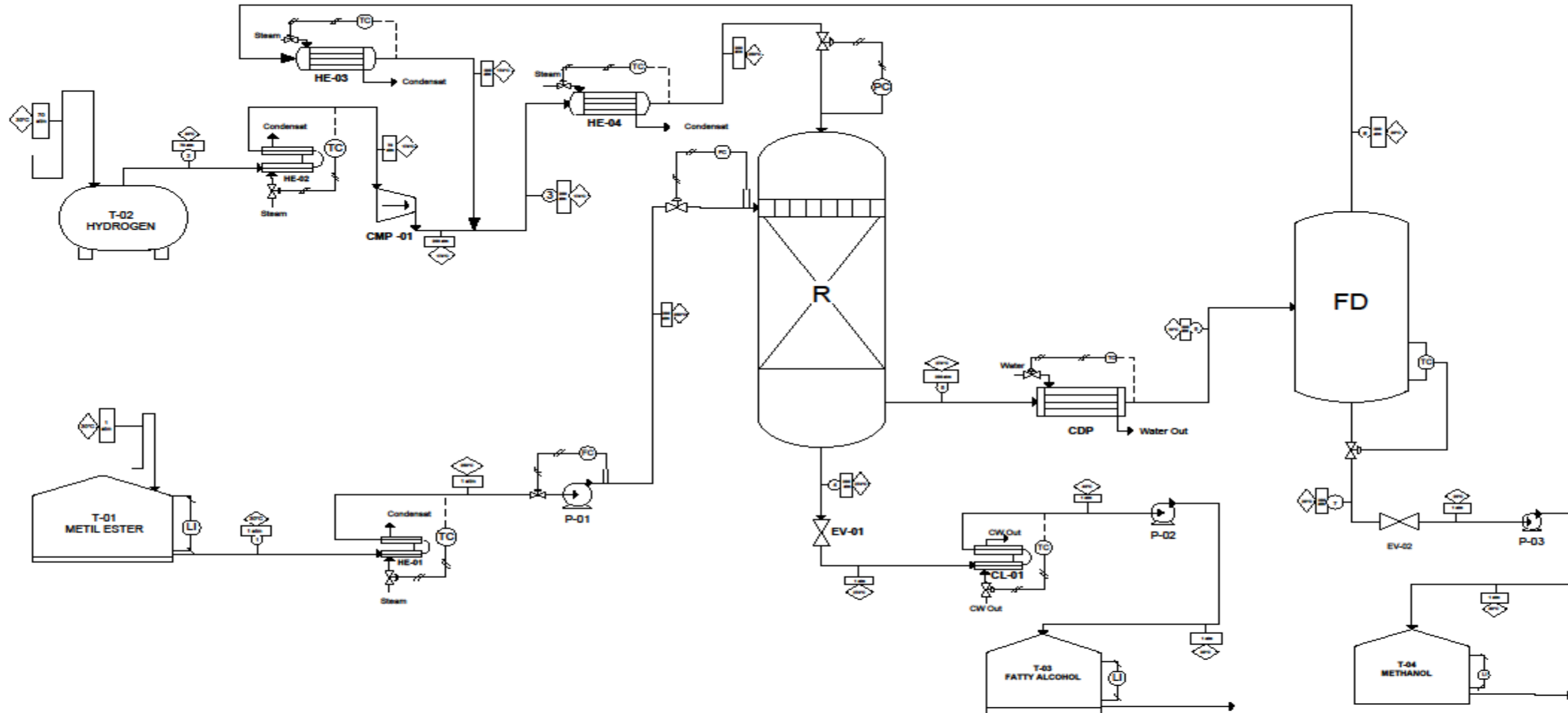
Sehingga tebal isolasi reaktor (x_3) adalah:

$$x_3 = r_3 - r_2$$

$$= 0,98 \text{ m} - 0,91 \text{ m}$$

$$= 0,07 \text{ m}$$


**PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM
PABRIK FATTY ALCOHOL DARI METIL ESTER DAN HIDROGEN
KAPASITAS 40.000 TON/TAHUN**



| Komponen | Nomor Area (kg/jam) | | | | | | |
|----------|---------------------|---------|-------------|------------|-------------|-------------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| ME | 5.931,4326 | - | - | 296,5716 | - | - | - |
| H2 | - | 83,4794 | 17.574,6150 | - | 17.491,1356 | 17.491,1356 | - |
| MeOH | - | - | 285,0347 | - | 952,8701 | 285,0347 | 667,8354 |
| FA | - | - | - | 5050,505 | - | - | - |
| Total | 5.931,4326 | 83,4794 | 17.859,6497 | 5.347,0766 | 18.444,0057 | 17.776,1703 | 667,8354 |

| ALAT | KETERANGAN |
|------|--------------------|
| T | Tangki Penyimpanan |
| P | Pompa |
| HE | Heater |
| EV | Expansion Valve |
| R | Reaktor |
| FD | Flash Drum |
| CDP | Condensor Parsial |
| CL | Cooler |
| CMP | Compressor |

| SIMBOL | KETERANGAN |
|--------|------------------------|
| LI | Level Indicator |
| LC | Level Controller |
| TC | Temperature Controller |
| PC | Pressure Controller |
| FC | Flow Controller |
| ● | Tekanan, atm |
| ◇ | Suhu, C |
| ◇ | Control Valve |
| — | Piping |
| --- | Electric Connection |
| — | Signal |
| — | Pneumatik |

| | |
|--|--|
|  | JURUSAN TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA YOGYAKARTA |
| PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM PABRIK FATTY ALCOHOL DARI METIL ESTER DAN HIDROGEN DENGAN KAPASITAS 40.000 TON/TAHUN | |
| Dikerjakan Oleh : 1. SAHIBA SAHILA (14521002) 2. ELLEN DIAN RAHMAWATI (14521026) | |
| Dosen Pembimbing : Dr. Diana, S.T., M.Sc. | |

