

**PRARANCANGAN PABRIK
BIOLUBRICANT DARI METIL OLEAT
KAPASITAS 10.806 TON/TAHUN**

PRARANCANGAN PABRIK

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



Oleh:

Nama : Nurul Harahap

Nama : Amelia Anjani Harahap

No. Mahasiswa : 19521017

No. Mahasiswa : 19521057

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

2023

**LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN HASIL
PRARANCANGAN PABRIK BIOLUBRICANT DARI METIL OLEAT
KAPASITAS 10.806 TON/TAHUN**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Nurul Harahap Nama : Amelia Anjani Harahap
No. Mahasiswa : 19521017 No. Mahasiswa : 19521057

Yogyakarta, 7 Agustus 2023

Menyatakan bahwa karya Prarancangan Pabrik ini ditulis dengan berdasarkan kaidah penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa ada beberapa bagian dari karya ini yang tidak sesuai dengan kaidah penulisan karya ilmiah, maka saya siap menanggung resiko dan konsekuensi apapun.

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



Nurul Harahap



Amelia Anjani Harahap

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING
PRARANCANGAN PABRIK BIOLUBRICANT DARI METIL OLEAT
KAPASITAS 10.806 TON/TAHUN

PRARANCANGAN PABRIK

Oleh:

| | | | |
|---------------|-----------------|---------------|-------------------------|
| Nama | : Nurul Harahap | Nama | : Amelia Anjani Harahap |
| No. Mahasiswa | : 19521017 | No. Mahasiswa | : 19521057 |

Yogyakarta, 09 Agustus 2023

Pembimbing,



Dr. Dyah Retno Sawitri, S.T., M.Eng.



**LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI
PRARANCANGAN PABRIK BIOLUBRICANT DARI METIL OLEAT
KAPASITAS 10.806 TON/TAHUN**

PRARANCANGAN PABRIK

Oleh:

| | |
|--------------------------|------------------------------|
| Nama : Nurul Harahap | Nama : Amelia Anjani Harahap |
| No. Mahasiswa : 19521017 | No. Mahasiswa : 19521057 |

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

Yogyakarta, 12 September 2023

Tim Penguji,

Dr. Dyah Retno Sawitri, S.T., M.Eng.

Ketua

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

Anggota I

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

Anggota II

 14/9/23

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



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

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Alhamdulillah rabbi'l'alamin, puji syukur senantiasa terucapkan atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan segala nikmat dan karunia-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan laporan tugas akhir prarancangan pabrik kimia dengan baik. Sholawat dan salam semoga selalu dilimpahkan oleh Allah SWT kepada junjungan kita Nabi besar Muhammad SAW beserta keluarga dan para sahabat, karena dengan syafaatnya kita dapat hijrah dari zaman jahiliyah menuju zaman ilmu pengetahuan seperti sekarang ini.

Tugas prarancangan pabrik kimia dengan judul “Prarancangan Pabrik *Biolubricant* dari Metil Oleat Kapasitas 10.806 Ton/Tahun” disusun sebagai penerapan dari ilmu teknik kimia yang telah didapat selama bangku kuliah dan merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Penulisan laporan tugas prarancangan pabrik kimia ini dapat berjalan dengan lancar atas bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, melalui kesempatan ini penyusun ingin menyampaikan terima kasih kepada:

- 1). Allah SWT karena atas segala kehendak-Nya, penyusun diberi kesabaran dan kemampuan untuk dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

- 2). Orang tua dan keluarga yang selalu memberikan motivasi dan dukungan baik moril maupun materil selama menempuh pendidikan di Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
- 3). Bapak Hari Purnomo, Prof., Dr., Ir., M.T., IPU, ASEAN.Eng selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
- 4). Bapak Sholeh Ma'mun, S.T., M.T., Ph.D selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia yang telah memberikan kelancaran pelayanan dalam urusan akademik.
- 5). Ibu Dyah Retno Sawitri, S.T., M.Eng selaku Dosen Pembimbing yang selalu memberikan waktu, arahan dan bimbingannya selama penyusunan dan penyelesaian Tugas Akhir ini.
- 6). Seluruh Dosen Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.
- 7). Seluruh rekan-rekan Mahasiswa Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia angkatan 2019 yang selalu memberikan dukungan serta saling membagikan ilmunya.
- 8). Semua pihak yang selalu memberikan dukungannya kepada penulis dalam membantu penyusunan laporan tugas prarancangan pabrik kimia ini dengan tulus dan ikhlas.

Demikian laporan tugas akhir prarancangan pabrik kimia ini kami susun. Penyusun mengharapkan semoga laporan ini dapat bermanfaat kepada yang membacanya sehingga dapat memberikan inspirasi terhadap pembaca dan diri

penyusun sendiri. Penyusun menyadari bahwa laporan ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penyusun mengharapkan adanya kritik dan saran yang membangun.

Wassalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Yogyakarta, 30 Juli 2023

Penyusun

LEMBAR PERSEMBAHAN

Karya ini saya persembahkan kepada :

Bapak Aprin Harahap dan Ibu Sri Suprihartini yang telah memberikan doa, *support*, motivasi dan kasih sayang yang luar biasa. Terima kasih ayah dan ibu yang telah berjuang dan berkorban serta selalu mendukung dengan sepenuh hati baik. Terima kasih telah percaya kepada saya sehingga saya dapat berada di titik ini. Tidak ada kata-kata yang cukup untuk dapat menggambarkan rasa syukur dan terima kasih saya kepada ayah dan ibu. Terima kasih juga kepada Abang saya Teddy Saputra Harahap atas dukungan yang sangat membantu selama ini. Terima kasih kepada saudara-saudara saya yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu, tanpa dukungan dari kalian semua saya tidak mungkin menjadi seperti saat ini.

Amelia Anjani Harahap sebagai partner yang telah berjuang bersama menyelesaikan tugas akhir prarancangan pabrik ini yang telah sabar menjadi partner saya. Terima kasih atas waktu, ilmu, semangat dan kontribusinya selama ini. Semoga apa yang sudah kita kerjakan sampai saat ini dapat bermanfaat bagi diri kita dan orang lain. Untuk teman-teman saya terima kasih sudah memberikan dukungan dan bantuannya selama perkuliahan ini. Terima kasih sudah sabar menghadapi saya yang penuh dengan kekurangan ini. Untuk Saudara Ilham Faturungi terima kasih atas *support*, motivasi dan bantuannya selama ini. Semoga kita semua dapat diberikan yang terbaik dari Allah.

Teknik Kimia 2019, terima kasih sudah menjadi angkatan yang hebat dan terima kasih telah memberikan ilmu yang bermanfaat bagi saya. Semoga semuanya mendapatkan apa yang diimpikan selama ini dan semoga sukses bagi semuanya.

(Nurul Harahap)

LEMBAR PERSEMBAHAN

Karya ini saya persembahkan kepada:

Bapak Muhammad Jamil Harahap dan Ibu Martha Indriyati yang telah memberikan do'a, dukungan, motivasi, dan kasih sayang yang luar biasa. Terima kasih telah memberikan segalanya hingga saya bisa berada di titik ini. Terima kasih atas kepercayaannya mengizinkan anak perempuannya merantau keluar pulau untuk belajar dan menggapai cita-cita. Lembar persembahan ini tidak akan cukup menggambarkan betapa bersyukur kakak terlahir sebagai anak ayah dan mama. Adik-adik saya Jibrilian dan Baghinda, Opung, Nenek, Nenek Wati, serta keluarga besar, terima kasih atas do'a, dukungan lahir dan batin, serta hiburan selama masa-masa perjuangan ini, terima kasih karena telah menjadi tempat pulang yang selalu dirindukan.

Nurul Harahap sebagai partner dalam perjalan menggapai sarjana sejak awal masa perkuliahan. Terima kasih telah menjadi partner terbaik yang selalu memacu saya untuk terus berproses, terima kasih atas semangat dan kesabarannya menjalani semua ini, semoga perjuangan kita dapat memudahkan langkah kita mencapai cita-cita serta menjadi versi terbaik dari diri kita. Teruntuk teman-teman terdekat, terima kasih karena telah membantu saya dalam belajar dan membuat kehidupan perkuliahan saya menjadi berwarna. Teruntuk saudara Ghazi Al Hakim, terima kasih karena telah mendampingi dan membantu dalam pengerjaan prarancangan pabrik ini. Semoga kesuksesan dan keberkahan menyertai kita semua.

Terima kasih kepada Teknik Kimia UII 2019, almamater yang telah mempertemukan saya dengan banyak orang dan pengalaman sehingga membuat pribadi ini menjadi lebih baik, semoga kita semua dapat meraih kesuksesan dan menjadi pribadi yang bermanfaat bagi sesama. Aamiin.

(Amelia Anjani Harahap)

DAFTAR ISI

| | |
|--|-------|
| LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN HASIL | ii |
| LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING | iii |
| LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI | iv |
| KATA PENGANTAR | v |
| LEMBAR PERSEMBAHAN | viii |
| LEMBAR PERSEMBAHAN | ix |
| DAFTAR ISI | x |
| DAFTAR TABEL | xv |
| DAFTAR GAMBAR | xvii |
| DAFTAR LAMPIRAN | xviii |
| ABSTRAK | xix |
| ABSTRACT | xx |
| BAB I | 1 |
| PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Penentuan Kapasitas Pabrik | 2 |
| 1.2.2 Konsumsi Dalam Negeri | 4 |
| 1.2.3 Ketersediaan Bahan Baku | 6 |
| 1.3 Tinjauan Pustaka | 7 |
| 1.4 Tinjauan Kinetika dan Termodinamika | 16 |
| 1.4.1 Tinjauan Kinetika | 16 |
| 1.4.2 Tinjauan Termodinamika | 19 |
| BAB II | 23 |
| PERANCANGAN PRODUK | 23 |
| 2.1 Spesifikasi Produk | 23 |
| 2.2 Spesifikasi Bahan Baku dan Bahan Pendukung | 24 |
| 2.3 Pengendalian Kualitas | 27 |
| 2.3.1 Pengendalian Kualitas Bahan Baku | 27 |
| 2.3.2 Pengendalian Kualitas Proses Produksi | 27 |
| 2.3.3 Pengendalian Kualitas Produk | 29 |

| | |
|---|----|
| BAB III | 31 |
| PERANCANGAN PROSES | 31 |
| 3.1 Diagram Alir Proses dan Material | 31 |
| 3.1.1 Diagram Alir Kualitatif | 31 |
| 3.1.2 Diagram Alir Kuantitatif | 32 |
| 3.2 Uraian Proses | 33 |
| 3.2.1 Persiapan Bahan Baku | 33 |
| 3.2.3 Proses Pemisahan dan Pemurnian Produk | 35 |
| 3.3 Spesifikasi Alat | 36 |
| 3.3.1 Reaktor | 36 |
| 3.3.2 Mixer | 37 |
| 3.3.3 Alat Pemisahan | 38 |
| 3.3.5 Alat Penyimpanan Bahan | 41 |
| 3.3.6 Alat Transportasi | 44 |
| 3.3.7 Alat Penukar Panas | 49 |
| 3.4 Neraca Massa | 55 |
| 3.4.1 Neraca Massa Total | 55 |
| 3.4.2 Neraca Massa Mixer (M-01) | 56 |
| 3.4.3 Neraca Massa Reaktor 1 (R-01) | 56 |
| 3.4.4 Neraca Massa Reaktor 2 (R-02) | 56 |
| 3.4.5 Neraca Massa Separator 1 (S0-1) | 57 |
| 3.4.6 Neraca Massa Separator 2 (S0-2) | 57 |
| 3.4.7 Neraca Massa Filter (F-01) | 57 |
| 3.4.8 Neraca Massa Menara Distilasi (MD-01) | 58 |
| 3.5 Neraca Panas | 58 |
| 3.5.1 Neraca Panas Reaktor 1 (R-01) | 58 |
| 3.5.2 Neraca Panas Reaktor 2 (R-02) | 58 |
| 3.5.3 Neraca Panas Heater 1 (HE-01) | 59 |
| 3.5.4 Neraca Panas Heater 2 (HE-02) | 59 |
| 3.5.5 Neraca Panas Heater 3 (HE-03) | 59 |
| 3.5.6 Neraca Panas Cooler 1 (CL-01) | 59 |
| 3.5.7 Neraca Panas Cooler 2 (CL-02) | 60 |

| | |
|---|----|
| 3.5.8 Neraca Panas Cooler 3 (CL-03) | 60 |
| 3.5.9 Neraca Panas Cooler 4 (CL-04) | 60 |
| 3.5.10 Neraca Panas Kondensor Parsial 1 (CP-01) | 60 |
| 3.5.11 Neraca Panas Kondensor Parsial 2 (CP-02) | 61 |
| 3.5.12 Neraca Panas Kondensor Parsial 3 (CP-03) | 61 |
| 3.5.13 Neraca Panas Menara Distilasi (MD-01) | 61 |
| 3.5.14 Neraca Panas Reboiler (RE-01) | 62 |
| BAB IV | 63 |
| PERANCANGAN PABRIK | 63 |
| 4.1 Lokasi Pabrik | 63 |
| 4.1.1 Sumber Bahan Baku | 64 |
| 4.1.2 Pemasaran Produk | 64 |
| 4.1.3 Penyediaan Utilitas | 65 |
| 4.1.4 Transportasi | 65 |
| 4.1.5 Kondisi Masyarakat | 65 |
| 4.2 Tata Letak Pabrik (<i>Plant Layout</i>) | 66 |
| 4.2.1 Perkantoran/Administrasi | 66 |
| 4.2.2 Proses | 66 |
| 4.2.3 Fasilitas Umum | 67 |
| 4.2.4 Perluasan Pabrik | 67 |
| 4.2.5 Harga Tanah | 67 |
| 4.2.6 Kualitas, Kuantitas dan Letak Bangunan | 67 |
| 4.2.7 Faktor Keamanan | 68 |
| 4.2.8 Pengolahan Limbah | 68 |
| 4.3 Tata Letak Mesin/Alat Proses (<i>Machines Layout</i>) | 71 |
| 4.3.1 Aliran Bahan Baku dan Produk | 71 |
| 4.3.2 Aliran Udara | 71 |
| 4.3.3 Pencahayaan | 71 |
| 4.3.4 Lalu Lintas Manusia dan Kendaraan | 72 |
| 4.3.5 Jarak Antar Alat Proses | 72 |
| 4.4 Organisasi Perusahaan | 73 |
| 4.4.1 Tugas dan Wewenang | 76 |

| | | |
|----------------------|---|-----|
| 4.4.2 | Penggolongan Jabatan dan Jumlah Karyawan | 81 |
| 4.4.3 | Jadwal Kerja dan Sistem Gaji Karyawan..... | 84 |
| BAB V | | 90 |
| UTILITAS | | 90 |
| 5.1 | Unit Penyediaan dan Pengolahan Air (<i>Water Treatment System</i>)..... | 90 |
| 5.1.1 | Unit Penyediaan Air | 90 |
| 5.1.2 | Unit Pengolahan Air..... | 95 |
| 5.2 | Unit Pembangkit <i>Steam</i> (<i>Steam Generation System</i>) | 100 |
| 5.3 | Unit Pembangkit Listrik (<i>Power Plant System</i>) | 102 |
| 5.4 | Unit Penyedia Udara Tekan (<i>Instrument Air System</i>) | 105 |
| 5.5 | Unit Penyedia Bahan Bakar | 105 |
| 5.6 | Unit Pengolahan Limbah..... | 105 |
| 5.7 | Unit Pengolahan <i>Coolant</i> | 107 |
| BAB VI | | 110 |
| EVALUASI EKONOMI | | 110 |
| 6.1 | Penaksiran Harga Alat..... | 112 |
| 6.2 | Dasar Perhitungan | 117 |
| 6.3 | Perhitungan Biaya | 118 |
| 6.3.1 | <i>Capital Investment</i> | 118 |
| 6.3.2 | <i>Manufacturing Cost</i> | 120 |
| 6.3.3 | <i>General Expense</i> | 122 |
| 6.4 | Analisis Keuntungan | 126 |
| 6.5 | Analisis Kelayakan..... | 127 |
| 6.5.1 | <i>Return on Investment (ROI)</i> | 127 |
| 6.5.2 | <i>Pay Out Time (POT)</i> | 128 |
| 6.5.3 | <i>Break Even Point (BEP)</i> | 128 |
| 6.5.4 | <i>Shut Down Point (SDP)</i> | 130 |
| 6.5.5 | <i>Discounted Cash Flow Rate (DCFR)</i> | 131 |
| 6.6 | Resiko Pabrik | 133 |
| BAB VII | | 134 |
| KESIMPULAN DAN SARAN | | 135 |
| 7.1 | Kesimpulan..... | 135 |

| | |
|------------------------|-----|
| 7.2 Saran..... | 136 |
| DAFTAR PUSTAKA | 137 |
| LAMPIRAN-LAMPIRAN..... | 140 |
| LAMPIRAN A | 141 |
| LAMPIRAN B | 173 |
| LAMPIRAN C | 174 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 1.1 Kapasitas Produksi Pabrik Lubricant..... | 3 |
| Tabel 1.2 Konsumsi Lubricant di Indonesia Tahun 2017-2021..... | 4 |
| Tabel 1.3 Rata-Rata Pertumbuhan Konsumsi Lubricant di Indonesia Tahun 2017-2021..... | 5 |
| Tabel 1.4 Perbandingan Proses Pembuatan Biolubricant | 14 |
| Tabel 1.5 Konstanta Laju Reaksi Transesterifikasi..... | 18 |
| Tabel 1.6 Parameter Kinetik untuk Reaksi Transesterifikasi..... | 19 |
| Tabel 1.7 Nilai Entalpi Proses Transesterifikasi | 19 |
| Tabel 1.8 Nilai Energi Gibbs Proses Transesterifikasi | 20 |
| Tabel 3.1 Neraca Massa Total..... | 55 |
| Tabel 3.2 Neraca Massa Mixer (M-01)..... | 56 |
| Tabel 3.3 Neraca Massa Reaktor 1 (R-01)..... | 56 |
| Tabel 3.4 Neraca Massa Reaktor (R-02)..... | 56 |
| Tabel 3.5 Neraca Massa Separator 1 (S0-1)..... | 57 |
| Tabel 3.6 Neraca Massa Separator 2 (S0-2)..... | 57 |
| Tabel 3.7 Neraca Massa Filter (F-01) | 57 |
| Tabel 3.8 Massa Menara Distilasi (MD-01) | 58 |
| Tabel 3.9 Neraca Panas Reaktor 1 (R-01)..... | 58 |
| Tabel 3.10 Neraca Panas Reaktor 2 (R-02)..... | 58 |
| Tabel 3.11 Neraca Panas Heater 1 (HE-01)..... | 59 |
| Tabel 3.12 Neraca Panas Heater 2 (HE-02)..... | 59 |
| Tabel 3.13 Neraca Panas Heater 3 (HE-03)..... | 59 |
| Tabel 3.14 Neraca Panas Cooler 1 (CL-01)..... | 59 |
| Tabel 3.15 Neraca Panas Cooler 2 (CL-02)..... | 60 |
| Tabel 3.16 Neraca Panas Cooler 3 (CL-03)..... | 60 |
| Tabel 3.17 Neraca Panas Cooler 4 (CL-04)..... | 60 |
| Tabel 3.18 Neraca Panas Kondensor Parsial 1 (CP-01)..... | 60 |
| Tabel 3.19 Neraca Panas Kondensor Parsial 2 (CD-02)..... | 61 |
| Tabel 3.20 Neraca Panas Kondensor Parsial 3 (CP-03)..... | 61 |
| Tabel 3.21 Neraca Panas Menara Distilasi (MD-01)..... | 61 |
| Tabel 3.22 Neraca Panas Reboiler (RE-01)..... | 62 |
| Tabel 4.1 Rincian Luas Area Pabrik | 68 |
| Tabel 4.2 Karyawan Non-Shift | 82 |
| Tabel 4.3 Kebutuhan Operator per Alat proses..... | 83 |
| Tabel 4.4 Jadwal Kerja Shift..... | 86 |
| Tabel 4.5 Jadwal Kerja Karyawan Shift | 86 |
| Tabel 4.6 Gaji Karyawan | 88 |
| Tabel 5.1 Kebutuhan Air untuk Lingkungan | 92 |

| | |
|---|-----|
| Tabel 5.2 Kebutuhan Air Domestik | 92 |
| Tabel 5.3 Kebutuhan Service Water | 93 |
| Tabel 5.4 Kebutuhan Steam Saturated Steam | 94 |
| Tabel 5.5 Kebutuhan Steam Superheated Steam | 94 |
| Tabel 5.6 Kebutuhan Air Pendingin | 94 |
| Tabel 5.7 Total Kebutuhan Air | 95 |
| Tabel 5.8 Kapasitas Boiler Suhu 250 °C..... | 101 |
| Tabel 5.9 Kapasitas Boiler Suhu 500 °C..... | 101 |
| Tabel 5.10 Kebutuhan Listrik Alat Proses | 103 |
| Tabel 5.11 Kebutuhan Listrik Utilitas..... | 103 |
| Tabel 5.12 Kebutuhan Listrik Alat Penunjang..... | 104 |
| Tabel 5.13 Total Kebutuhan Listrik | 104 |
| Tabel 6.1 Harga Alat Proses..... | 115 |
| Tabel 6.2 Harga Alat Utilitas | 116 |
| Tabel 6.3 <i>Direct Cost</i> (DC)..... | 118 |
| Tabel 6.4 Indirect Cost (IC) | 119 |
| Tabel 6.5 Total Direct Manufacturing Cost | 120 |
| Tabel 6.6 Total Fixed Manufacturing Cost | 121 |
| Tabel 6.7 Total Administrative Cost..... | 122 |
| Tabel 6.8 Total Cost Investment | 125 |
| Tabel 6.9 Total Production Cost | 125 |
| Tabel 6.10 Annual Fixed Cost | 129 |
| Tabel 6.11 Annual Variable Expenses | 129 |
| Tabel 6.12 Annual Regulated Expenses..... | 129 |
| Tabel 6.13 Resiko Pabrik | 133 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|-----|
| Gambar 1.1 Modifikasi Kimia Pembentukan Biolubricant | 7 |
| Gambar 1.2 Reaksi Esterifikasi..... | 8 |
| Gambar 1.3 Reaksi Transesterifikasi | 8 |
| Gambar 1.4 Reaksi Hidrogenasi | 10 |
| Gambar 1.5 Epoksida Minyak Nabati sebagai Reagen Sintesis <i>Biolubricant</i> | 11 |
| Gambar 1.6 Sintesis Polyhydroxy Estolide..... | 14 |
| Gambar 4.1 Peta Rencana Lokasi Pabrik Biolubricant | 63 |
| Gambar 4.2 Layout Pabrik Biolubricant | 70 |
| Gambar 4.3 Layout Mesin Pabrik Biolubricant | 73 |
| Gambar 4.4 Struktur Organisasi Perusahaan | 75 |
| Gambar 5.1 <i>Process Engineering Flow Diagram</i> Utilitas..... | 109 |
| Gambar 6.1 Grafik Hubungan Antara Tahun dengan Harga Alat | 113 |
| Gambar 6.2 Grafik <i>Break Even Point</i> (BEP) | 132 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|-----------------------------------|-----|
| LAMPIRAN A REAKTOR | 141 |
| LAMPIRAN B PEFD | 173 |
| LAMPIRAN C KARTU KONSULTASI | 174 |

ABSTRAK

Biolubricant merupakan pelumas yang terbuat dari minyak nabati (minyak zaitun, minyak biji bunga matahari, minyak jagung, minyak kacang kedelai, minyak kelapa sawit, minyak jarak) atau turunannya, termasuk metil oleat. Metil oleat adalah turunan minyak nabati yang merupakan hasil reaksi antara asam lemak minyak nabati dengan senyawa alkohol. *Biolubricant* dapat digunakan untuk meminimalisir gesekan antara komponen alat, mencegah korosi dan aus, menghilangkan kontaminan, hingga proses penyegelan. Hingga saat ini, masih belum ada pabrik *Biolubricant* di Indonesia. Berdasarkan Badan Pusat Statistik, konsumsi pelumas di Indonesia dari tahun ke tahun mengalami penurunan, sehingga akan dibangun pabrik *Biolubricant* dengan metil oleat kapasitas 10.806 ton/tahun di Kabupaten Karawang, Jawa Barat dengan luas total 35.000 m². Pabrik ini akan beroperasi selama 330 hari dalam setahun dan membutuhkan 105 karyawan. Proses produksi *Biolubricant* ini dilakukan dengan menggunakan proses reaksi Transesterifikasi yaitu dengan mereaksikan metil oleat (C₁₉H₃₆O₂) dengan trimetilolpropan (C₆H₁₄O₃) menggunakan bantuan katalis potassium karbonat (K₂CO₃) di dalam reaktor alir tangki berpengaduk (R-01 dan R-02) yang beroperasi pada suhu 120 °C dan tekanan 1 atm dengan konversi total metil oleat 70%. Hasil reaksi dari reaktor akan menghasilkan produk berupa *trimethylolpropane fatty acid triester* (TFATE (*biolubricant*)) (C₆₀H₁₁₀O₆) dan metanol (CH₃OH). Di dalam reaktor, digunakan nitrogen yang digunakan untuk mengangkat metanol. Katalis yang tersisa dipisahkan menggunakan filter (F-01) dan cairan yang bebas dari katalis akan dipisahkan menggunakan menara distilasi (MD-01). Hasil bottom menara distilasi (MD-01) menghasilkan produk TFATE (*biolubricant*) kemurnian 99% dengan *impurities* berupa metil oleat. Hasil distilasi menara distilasi akan dipisahkan dengan metanol dan *direcycle* untuk digunakan kembali. Untuk mencapai kapasitas produksi 10.806 ton/tahun dibutuhkan bahan baku metil oleat sebesar 14.668 ton/tahun. Utilitas yang dibutuhkan yaitu air sebesar 22.972 ton/tahun yang diperoleh dari Sungai Citarum serta kebutuhan listrik sebesar 254 kWh yang diperoleh dari PLN. Pabrik ini memerlukan modal tetap sebesar Rp 250.671.446.688 dan total biaya produksi sebesar Rp 701.228.659.369. Pabrik *Biolubricant* ini memiliki tingkat resiko rendah yang dianalisis melalui beberapa parameter. Hasil analisis ekonomi menunjukkan pabrik ini menghasilkan keuntungan setelah pajak sebesar Rp 62.582.665.745 dengan *Return on Investment* (ROI) setelah pajak sebesar 19,97%, *Pay Out Time* (POT) setelah pajak 3,5 tahun, *Break Even Point* (BEP) sebesar 49,43%, *Shut Down Point* (SDP) sebesar 33,27%, dan *Discounted Cash Flow Return* (DCF_R) sebesar 35,70%. Berdasarkan hasil evaluasi ekonomi ini, dapat disimpulkan bahwa pabrik *Biolubricant* ini layak untuk didirikan.

Kata kunci: *Biolubricant*, metil oleat, transesterifikasi, trimetilolpropan, TFATE

ABSTRACT

Biolubricant is a lubricant made from vegetable oil (olive oil, sunflower seed oil, corn oil, soybean oil, palm oil, castor oil) or its derivatives, including methyl oleate. Methyl oleate is a vegetable oil derivative that is the result of a reaction between vegetable oil fatty acids and alcohol compounds. Biolubricant can be used to minimize friction between tool components, prevent corrosion and wear, remove contaminants, and seal the process. Recently, there is still no Biolubricant factory in Indonesia. According to the Central Statistics Agency, lubricant consumption in Indonesia has decreased from year to year, so a Biolubricant factory with methyl oleate capacity of 10,806 tons/year will be built in Karawang Regency, West Java with a total area of 35,000 m². This factory will operate for 330 days a year and requires 105 employees. The Biolubricant production process is carried out using the transesterification reaction process, namely by reacting methyl oleate (C₁₉H₃₆O₂) with trimethylolpropane (C₆H₁₄O₃) using the help of potassium carbonate (K₂CO₃) catalyst in a stirred tank flow reactor (R-01 and R-02) operating at room temperature. 120 °C and 1 atm pressure with 70% total methyl oleate conversion. The results of the reaction from the reactor will produce products in the form of trimethylolpropane fatty acid triester (TFATE (biolubricant)) (C₆₀H₁₁₀O₆) and methanol (CH₃OH). Inside the reactor, nitrogen is used to remove methanol. The remaining catalyst is separated using a filter (F-01) and the liquid free from the catalyst will be separated using a distillation tower (MD-01). The bottom result of the distillation tower (MD-01) produced a 99% purity TFATE (biolubricant) product with impurities in the form of methyl oleate. The distillation results from the distillation tower will be separated from methanol and recycled for reuse. To achieve a production capacity of 10,806 tonnes/year, 14,668 tonnes/year of methyl oleate is required. The utilities needed are 22,972 tonnes/year of water obtained from the Citarum River and 254 kWh of electricity obtained from PLN. This factory requires a fixed capital of IDR 250.671.446.688 and a total production cost of IDR 701.228.659.369. This Biolubricant factory has a low level of risk which is analyzed through several parameters. The results of the economic analysis show that this factory generates a profit after tax is IDR 62.582.665.745. A Return on Investment (ROI) after tax is 19,97%, a Pay Out Time (POT) after tax of 3,5 years, a Break Even Point (BEP) of 49,43%, Shut Down Point (SDP) is 33,27%, and Discounted Cash Flow Return (DCFR) is 35,70%. Based on the results of this economic evaluation, it can be concluded that this Biolubricant factory is feasible to establish.

Keywords: *Biolubricant, methyl oleate, transesterification, trimethylolpropane, TFATE*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan peradaban disertai industrialisasi dan modernisasi meningkatkan penggunaan energi dalam kehidupan manusia. Selama ini manusia menjadikan energi fosil sebagai sumber energi utama, sehingga ketersediaan sumber daya fosil terus menipis, bahkan diprediksi akan segera habis (Cecilia, *et.al.*, 2020). Pada bidang teknologi industri dan otomotif, sumber daya tak terbarukan dari fosil tidak hanya dimanfaatkan sebagai bahan baku plastik dan bahan bakar saja, tetapi komponen pendukung lainnya juga, salah satunya adalah *lubricant* (pelumas).

Lubricant merupakan salah satu komponen penunjang untuk hampir semua bagian mesin. *Lubricant* berguna untuk meminimalisir gesekan antara komponen alat, mencegah korosi dan aus, menghilangkan kontaminan, hingga proses penyegelan (*sealing*) (Cecilia, *et.al.*, 2020). Saat ini *lubricant* yang beredar di pasaran biasanya menggunakan bahan baku yang berasal dari turunan minyak bumi (Rochmat *et.al.*, 2018). Namun, minyak bumi sebagai bahan baku *lubricant* dinilai tidak ramah lingkungan dan tidak dapat diperbaharui. Oleh karena itu, dibutuhkan penggunaan bahan baku yang ramah lingkungan seperti minyak nabati sebagai bahan dasar untuk memproduksi berbagai macam barang atau bahan.

Pada industri kimia, *Biolubricant* merupakan salah satu komponen yang cukup penting digunakan di bidang industri. *Biolubricant* bersifat *biodegradable*, *nontoxic*, dan *renewable*. Selain digunakan untuk mengurangi gesekan pada

mesin, *Biolubricant* juga berfungsi untuk mendinginkan atau mengontrol panas yang keluar dari mesin untuk memastikan mesin bekerja dengan baik (Rochmat *et.al.*, 2018). *Biolubricant* terbuat dari minyak nabati atau turunannya, salah satunya adalah metil oleat. Metil oleat adalah turunan minyak nabati yang merupakan hasil reaksi antara asam lemak minyak nabati dengan senyawa alkohol.

Pelumas berbasis minyak nabati yang digunakan pada mesin dapat mengurangi hampir semua bentuk polusi udara dibandingkan dengan penggunaan minyak bumi (Rochmat *et.al.*, 2018). Di Indonesia sendiri belum ditemukan pabrik yang memproduksi *Biolubricant*, hal itu tentu patut disayangkan karena industri otomotif Indonesia kini cukup berkembang pesat. Oleh karena itu, walaupun belum adanya pabrik *Biolubricant* di Indonesia, pabrik *Biolubricant* ini cukup menjanjikan untuk didirikan di masa depan.

Dengan dibangunnya pabrik *lubricant* dengan bahan baku minyak nabati, akan lebih menguntungkan dari segi ekonomi karena bahan baku yang digunakan tidak terbatas jumlahnya dan dapat dengan mudah ditemui. Pendirian pabrik ini juga akan menyerap tenaga kerja yang cukup besar sehingga angka pengangguran di daerah pendirian pabrik akan berkurang.

1.2 Penentuan Kapasitas Pabrik

Kapasitas produksi merupakan jumlah maksimum *output* yang dapat diproduksi atau dihasilkan dalam satuan waktu tertentu. Penentuan kapasitas produksi ini merupakan salah satu aspek penting dalam pendirian suatu pabrik

karena berpengaruh terhadap aspek teknis dan ekonomis, yaitu menghasilkan produk yang memiliki keuntungan yang maksimal dengan biaya produksi yang minimal. Penentuan kapasitas pabrik mempertimbangkan data konsumsi dan kapasitas pabrik yang telah berdiri.

1.2.1 Kapasitas Pabrik yang Telah Berdiri

Dikarenakan pabrik *Biolubricant* belum banyak berdiri, digunakan data pabrik *lubricant* yang sudah beroperasi. Tabel 1.1 merupakan data kapasitas produksi pabrik *lubricant* di dalam dan luar negeri.

Tabel 1.1 Kapasitas Produksi Pabrik *Lubricant*

| Perusahaan | Lokasi | Kapasitas Produksi (ton/tahun) |
|--|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Indonesia | | |
| BP PLC (Castrol) | Merak, Banten | 80.000 |
| Royal Dutch Shell Plc | Marunda, Bekasi, Indonesia | 105.944 |
| PT Wiraswasta Gemilang Indonesia (Evalube) | Cikarang Barat, Bekasi, Indonesia | 120.000 |
| Fuchs Lubricants Indonesia | Jakarta, Indonesia | 14.000 |
| PT Pertamina Lubricants | Jakarta, Indonesia | 95.350 |
| Asia | | |
| PT Pertamina Lubricants | Bangkok, Thailand | 21.189 |
| TotalEnergies | Singapura | 310.000 |
| Valvoline Inc. | Ambernath, Mumbai, India | 42.378 |
| Hindustan Petroleum Corp. Limited | Mumbai, India | 335.000 |
| Eropa | | |
| Gazpromneft-Lubricant, Ltd | Moscow, Russia | 190.000 |

| Perusahaan | Lokasi | Kapasitas Produksi (ton/tahun) |
|------------|---------------|--------------------------------|
| BP PLC | London, U.K | 200.000 |
| Repsol | Madrid, Spain | 170.000 |

Pabrik yang memproduksi *lubricant* dengan kapasitas terkecil adalah 14.000 ton/tahun di *Fuchs Lubricants*, Indonesia dan yang memiliki kapasitas terbesar adalah 335.000 ton/tahun di Hindustan Petroleum Corp., India. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa pendirian pabrik *lubricant* yang menguntungkan pada kapasitas 14.000-335.000 ton/tahun.

1.2.2 Konsumsi Dalam Negeri

Pada tahun 2023 sangat sedikit ditemukan pabrik yang memproduksi *lubricant* dengan bahan baku terbarukan, salah satunya *Renewable Lubricants Inc.* yang berpusat di Hartville, Ohio, Amerika. Dikarenakan minimnya data mengenai pabrik *Biolubricant*, digunakan data *lubricant* yang beredar di pasaran saat ini untuk menentukan kapasitas produksi pabrik *Biolubricant*.

Menurut data yang diterbitkan Badan Pusat Statistik Indonesia, diketahui volume konsumsi *lubricant* di Indonesia terlihat pada Tabel 1.2.

Tabel 1.2 Konsumsi *Lubricant* di Indonesia Tahun 2017-2021

| Tahun ke- | Tahun | Jumlah (Ton) |
|------------------|-------|---------------|
| 1 | 2017 | 13.785 |
| 2 | 2018 | 14.052 |
| 3 | 2019 | 13.097 |
| 4 | 2020 | 12.248 |
| 5 | 2021 | 12.477 |
| Rata-rata | | 13.133 |

(Sumber: Badan Pusat Statistik Indonesia, 2023)

Berdasarkan data konsumsi *lubricant* di Indonesia, rata-rata pertumbuhan konsumsi *lubricant* di Indonesia dicantumkan pada Tabel 1.3.

Tabel 1.3 Rata-Rata Pertumbuhan Konsumsi *Lubricant* di Indonesia Tahun 2017-2021

| Tahun | Jumlah (Ton) | % Pertumbuhan |
|------------------------------|---------------------|----------------------|
| 2017 | 13.785 | |
| 2018 | 14.052 | 1,94 |
| 2019 | 13.097 | -6,80 |
| 2020 | 12.248 | -6,48 |
| 2021 | 12.477 | 1,87 |
| Rata-Rata Pertumbuhan | | -2,37 |

Angka persen pertumbuhan yang minus menyatakan bahwa semakin lama penggunaan *lubricant* berbahan dasar minyak bumi semakin menurun. Di sisi lain, *Global Newswire* mempublikasikan studi yang dilakukan *Contrive Datum Insight Pvt Ltd.* (CDI) mengenai prediksi perkembangan pasar *biolubricant* di dunia pada tahun 2023-2030. CDI menyatakan bahwa tingkat pertumbuhan tahunan manjemuk (*Compounded Annual Growth Rate/CAGR*) pasar *biolubricant* akan mencapai 4,9% di tahun 2030. Hal ini disebabkan oleh semakin ketatnya peraturan mengenai emisi kendaraan yang menyebabkan peningkatan permintaan *lubricant* dengan kualitas yang lebih baik seperti viskositas yang konstan, titik nyala yang tinggi, biodegradibilitas, dan level emisi yang lebih rendah.

Pada tahun 2021 sekitar 34,6% pasar *biolubricant* berada di Kawasan Asia Pasifik, potensi perkembangan bisnis *biolubricant* di Kawasan ini dipengaruhi semakin banyaknya perusahaan yang memproduksi mobil. Industri mobil Asia

Pasifik berkembang pesat dikarenakan semakin banyak orang yang menggunakan kendaraan umum dan peningkatan pekerja di industri otomotif. Sejalan dengan meningkatnya bisnis otomotif di Asia Pasifik, semakin banyak mobil yang diproduksi dan semakin banyak *biolubricant* yang digunakan sebagai oli mesin. Hal ini menyebabkan pasar *biolubricant* lebih mudah berkembang di Asia Pasifik selama beberapa tahun kedepan.

Kapasitas pabrik *biolubricant* dengan bahan baku metil oleat yang akan dibangun ditentukan dengan mengambil sekitar 80% dari rata-rata konsumsi *lubricant* di Indonesia pada tahun 2017-2021, yaitu sebesar 10.806 ton/tahun. Dengan ini diputuskan pabrik *biolubricant* dengan bahan baku metil oleat akan berdiri dengan kapasitas 10.806 ton/tahun

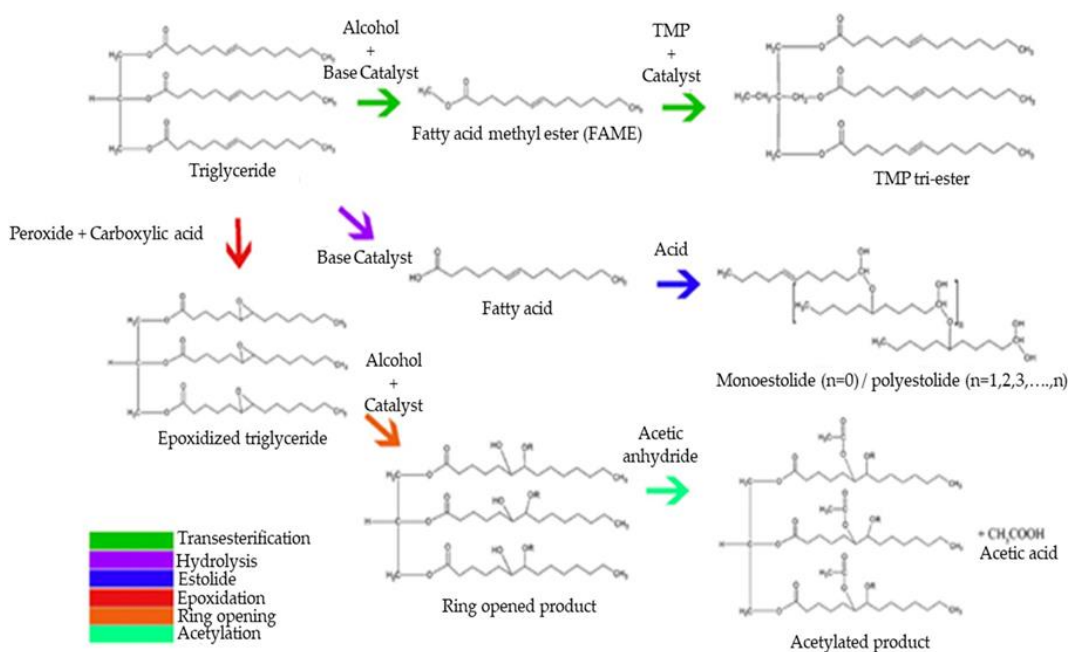
1.2.3 Ketersediaan Bahan Baku

Ketersediaan bahan baku merupakan salah satu aspek yang penting dalam proses pendirian suatu pabrik. Dalam pembuatan *Biolubricant* ini diperlukan bahan baku berupa metil oleat. Namun, pabrik metil oleat belum didirikan di Indonesia, oleh karena itu perlu adanya impor bahan baku dari luar negeri.

Berdasarkan data yang sudah dikumpulkan, diperoleh perkiraan konsumsi *lubricant* di Indonesia pada tahun 2027 sebesar 10.806 ton/tahun dan kapasitas produksi pabrik *lubricant* yang menguntungkan adalah pada kapasitas 14.000-335.000 ton/tahun. Maka untuk perancangan pabrik *Biolubricant* dari metil oleat dipilih kapasitas produksi 10.806 ton/tahun karena kapasitas ini menyesuaikan dengan perkiraan kebutuhan *lubricant* pada tahun 2027.

1.3 Tinjauan Pustaka

Biolubricant dikembangkan dari bahan baku berupa minyak nabati yang berasal dari tumbuhan. *Biolubricant* memiliki sifat fisikokimia yang baik pada indeks viskositas, *flash point*, ketahanan gesekan, dan biodegrabilitasnya. *Biolubricant* dapat terbuat dari minyak alami dan minyak sintetis. Terdapat beberapa cara untuk membuat *Biolubricant* dari minyak sintetis, seperti esterifikasi/transesterifikasi, hidrogenasi, epoksidasi dan *branching*, estolida asam lemak, dan penambahan zat aditif (Cecilia *et.al.*, 2020).



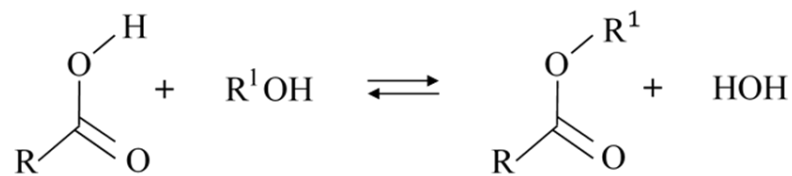
Gambar 1.1 Modifikasi Kimia Pembentukan *Biolubricant*

(Sumber: Cecilia, et al, 2020)

1.3.1 Esterifikasi/Transesterifikasi

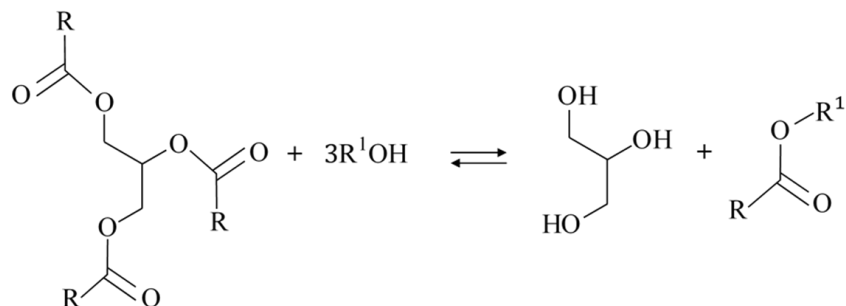
Esterifikasi adalah reaksi dimana asam lemak bebas dari minyak alami dan alkohol rantai panjang membentuk ester, sedangkan transesterifikasi terjadi ketika

bagian gliserol dari *triacylglycerol* diganti dengan alkohol rantai panjang atau rantai cabang. Keuntungan dari reaksi ini adalah dapat meningkatkan stabilitas termo-oksidatif dan meningkatkan suhu yang rendah, tetapi membutuhkan umpan asam oleat dan suhu reaksi yang tinggi. Reaksi esterifikasi dan transesterifikasi digambarkan pada Gambar 1.1 dan Gambar 1.2.



Gambar 1.2 Reaksi Esterifikasi

(Sumber: Cecilia, et al, 2020)



Gambar 1.3 Reaksi Transesterifikasi

(Sumber: Cecilia, et al, 2020)

Reaksi esterifikasi dan transesterifikasi memiliki beberapa kelemahan terkait dengan pemisahan produk dan sifat korosifnya yang tinggi. Dari kelemahan tersebut, dikembangkan katalis padat sebagai alternatif berkelanjutan untuk reaksi esterifikasi dan transesterifikasi. Reaksi ini terjadi dengan menggunakan katalis dasar seperti CaO sehingga mencapai konversi penuh

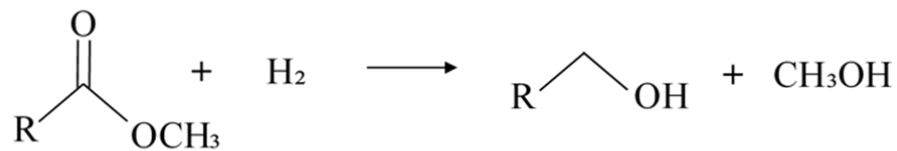
selama transesterifikasi, meskipun diperlukan suhu tinggi untuk mengaktifkan katalis dan tahap regenerasinya. Alternatif lain yang dapat dipilih adalah menggunakan katalis asam padat seperti resin penukar kation dan zeolit atau oksida (Al_2O_3 , ZrO_2 , TiO_2 , WO_3 , Nb_2O_5 , Ta_2O_5), yang juga dapat di sulfasi untuk meningkatkan aktivitas katalitiknya (Cecilia *et.al.*, 2020). Katalis alkalin seperti potassium hidroksida, sodium metoksida, dan kalsium metoksida juga digunakan dalam proses transesterifikasi untuk menghambat ataupun menghilangkan reaksi saponifikasi pada reaksi dengan suhu yang lebih rendah (Foroutan *et.al.*, 2021)

Salah satu *Biolubricant* yang potensial untuk diproduksi dengan reaktan metil oleat (MO) dan *trimethylolpropane* (TMP) melalui reaksi transesterifikasi adalah *trimethylolpropane fatty acid triester* (TFATE (*biolubricant*)). Proses dilakukan pada reaktor tangki alir berpengaduk dengan rasio mol MO:TMP sebesar 4:1 dan katalis alkaline K_2CO_3 1,5%wt. Untuk menghilangkan alkoholnya digunakan gas N_2 melalui proses *leaching*. Reaksi berlangsung dalam kondisi kecepatan pengadukan 400 rpm, kecepatan gas N_2 1000 mL/menit dan suhu reaksi 120°C , sehingga diperoleh selektivitas produk 95,6%. *Biolubricant* ini juga dinilai memiliki stabilitas termal, sifat rheologi, dan ketahanan gesek yang baik (Xie *et al.*, 2022).

Sebelumnya terdapat studi mengenai sintesis TFATE (*biolubricant*) menggunakan bahan baku minyak jelantah (*waste cooking oil*) dan katalis KOH, diperoleh yield TFATE (*biolubricant*) mencapai 85,7% dengan suhu reaksi 128°C dan tekanan 200 Pa. Kondisi reaktor dibuat vakum guna menghilangkan produk samping methanol dari sistem dan menggeser reaksi ke arah kanan, namun

dibutuhkan energi yang besar untuk mempertahankan kondisi vakum hingga proses kondensasi dan *recycle* metanol. Untuk menggantikan kondisi vakum sistem, dilakukan *gas stripping* untuk menghilangkan komponen dengan titik didih rendah dari campuran cairan (Ghiasi *et.al.*, 2015). Metode gas stripping dinilai dapat menggantikan kondisi operasi vakum untuk menghilangkan methanol dengan kebutuhan energi dan biaya yang lebih kecil.

1.3.2 Hidrogenasi



Gambar 1.4 Reaksi Hidrogenasi

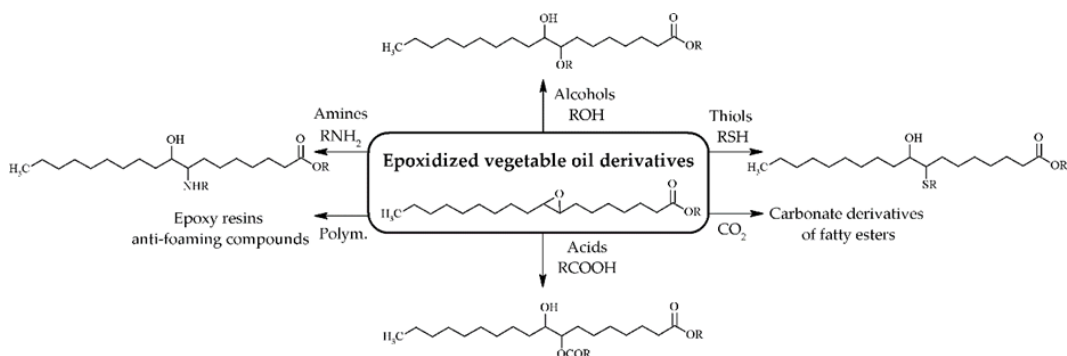
(Sumber: Cecilia, et al, 2020)

Hidrogenasi minyak nabati adalah proses kimia dimana hidrogen ditambahkan ke ikatan rangkap karbon-karbon dari trigliserida suatu molekul minyak. Hidrogenasi dilakukan pada suhu 150–225°C dan tekanan 69-413 kPa dengan katalis Ni. Namun, ada beberapa kekhawatiran tentang toksisitas residu nikel yang tertinggal di dalam minyak. Katalis logam mulia umumnya tidak digunakan karena harganya yang mahal. Namun, kinerjanya yang tinggi dalam jumlah kecil dan kemungkinan untuk digunakan kembali dapat menimbulkan kerugian biaya (Shomchoam & Yoosuk, 2014). Keuntungan dari reaksi hidrogenasi adalah penurunan tingkat ketidakjenuhan dan peningkatan stabilitas

oksidasi, tetapi kerugiannya yaitu terjadi reaksi isomerisasi (pembentukan asam cis dan trans) dan suhu reaksi yang tinggi (Cecilia *et.al.*, 2020).

Untuk menghasilkan minyak dasar pelumas, Pd/Al₂O₃ merupakan katalis yang lebih baik daripada Ni. Katalis Pd menunjukkan kinerja yang baik karena konversi yang tercapai sebesar 95% setelah 13 menit. Hidrogenasi parsial dilakukan dalam reaktor Parr. Campuran bahan baku dan katalis dipanaskan hingga suhu dan tekanan H₂ yang diinginkan. Kondisi reaksi optimal yaitu suhu 120°C, tekanan 2 bar selama 30 menit dan 0,02 wt% dari 5% Pd/Al₂O₃. Pada kondisi tersebut stabilitas oksidasi meningkat dari 13,8 jam menjadi 22,8 jam tanpa pembentukan lilin. Sejumlah kecil campuran reaksi ditarik pada berbagai waktu untuk menentukan sifat-sifat produk yang terhidrogenasi (Shomchoam & Yoosuk, 2014).

1.3.3 Epoksidasi



Gambar 1.5 Epoksida Minyak Nabati sebagai Reagen Sintesis Biolubricant

(Sumber: Cecilia, et al, 2020)

Stabilitas termo-oksidatif dan sifat fisikokimia lainnya dapat ditingkatkan dengan memodifikasi gugus alkena dan memasukkan rantai samping alkil. Dalam

pengertian ini, epoksidasi merupakan salah satu cara untuk memodifikasi ikatan C=C untuk mendapatkan *Biolubricant* dengan suhu lebih rendah, stabilitas oksidatif yang tinggi, keasaman yang baik, dan adsorpsi yang tinggi. Namun produk yang dihasilkan melalui proses epoksidasi masih memiliki suhu yang buruk, sehingga senyawa yang diepoksidasi ini perlu dimodifikasi untuk memperbaiki sifat fisikokimianya. Kelebihan dari reaksi epoksidasi yaitu peningkatan pelumasan, peningkatan stabilitas termo-oksidatif, dan menghasilkan suhu reaksi yang rendah. Tetapi kekurangan dari reaksi ini adalah meningkatnya *pour point* dan menurunnya indeks viskositas (Cecilia *et.al.*, 2020)

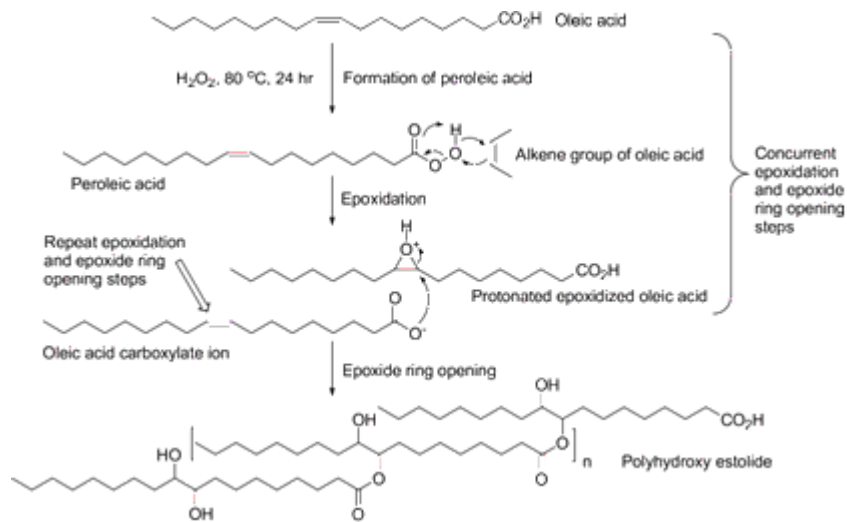
Salah satu bahan baku yang dapat digunakan dalam reaksi epoksidasi adalah WCOME (*Waste Cooking Oil Methyl Ester*). Bahan dipanaskan hingga suhu reaksi (60°C), kemudian ditambahkan asam asetat glasial dan katalis asam sulfat. Ketika suhunya 5°C di bawah suhu reaksi, hidrogen peroksida diteteskan ke dalam campuran reaksi selama 30 menit pertama untuk mencegah ledakan. Kecepatan pengadukan 1000-1500 rpm dipertahankan untuk memastikan pencampuran yang seragam dari campuran reaksi. Setelah epoksidasi selesai, sampel berulang kali dicuci dengan air hangat (40°C) untuk menghilangkan dan menetralkan katalis dan reaktan lainnya. Terakhir, pelarut dan air di distilasi menggunakan *rotary evaporator*. Proses dilakukan dengan 1,5 wt% katalis dengan waktu reaksi 6 jam (Paul *et.al.*, 2021).

1.3.4 Estolida Asam Lemak

Estolida merupakan ester bercabang yang terbentuk ketika gugus asam karboksilat dari satu asam lemak dihubungkan dengan ketidakjenuhan asam

lemak lain (melalui karbokation) untuk membentuk ester oligomer menggunakan katalis asam (H_2SO_4) dan oksidan (HClO_4). Karbokation ini dapat mengalami serangan nukleofilik oleh asam lemak lain untuk membentuk ester, yaitu estolida. Dikatakan bahwa panjang rantai hidrokarbon dan nomor estolida penting untuk sifat fisikokimia dari *Biolubricant*. Secara umum, estolida yang diperoleh dapat meningkatkan pelumasan, stabilitas termo-oksidatif, serta indeks viskositas dan penurunan *pour point* dari *Biolubricant*. Namun untuk memproduksi estolida asam lemak dibutuhkan biaya produksi yang tinggi (Cecilia *et.al.*, 2020).

Estolida asam lemak dapat diperoleh dengan mereaksikan asam oleat (OA) 75% dengan hidrogen peroksida (HP) 50% dengan rasio OA:HP sebesar 1:5, bahan baku dicampurkan di dalam labu alas bulat yang dilengkapi dengan pengaduk dan kondensor. Pengadukan dilakukan dengan kecepatan 500 rpm dan dipanaskan pada suhu 80°C selama 24 jam. Campuran tersebut kemudian dituang ke dalam corong pisah, kemudian ditambahkan etil asetat dan aquades. Pada corong pisah terbentuk dua lapisan cairan yaitu lapisan organik dan lapisan air, setelah itu lapisan organik dicuci dua kali menggunakan aquades. Setelah dicuci, lapisan organik dikeringkan dengan magnesium sulfat anhidrat. Etil asetat yang terkandung di dalamnya dihilangkan dengan vakum untuk menghasilkan cairan kental tak berwarna yang diberi label sebagai *polyhydroxy estolide* (Hoong *et. al.*, 2019).



Gambar 1.6 Sintesis *Polyhydroxy Estolide*

(Sumber: Hoong et. al., 2019)

Untuk memudahkan analisa, kondisi dari semua proses dicantumkan pada

Tabel 1.4.

Tabel 1.4 Perbandingan Proses Pembuatan *Biolubricant*

| Proses | Esterifikasi/ Transesterifikasi | Hidrogenasi | Epoksidasi | Estolida Asam Lemak |
|------------------|---|------------------------------------|---|--|
| Bahan Baku | Metil Oleat (MO) Trimetilolpropan (TMP) | <i>Crude Palm Oil</i> (CPO) | <i>Waste Cooking Oil Methyl Ester</i> (WCOME) | Asam Oleat (OA) Hidrogen Peroksida (HP) |
| Produk | <i>Trimethylolpropane fatty acid triester</i> (TFATE/ <i>biolubricant</i>) | <i>Hydrogenated Crude Palm Oil</i> | <i>Epoxide Waste Cooking Oil Methyl Esters</i> (EWCOME) | <i>Polyhydroxy estolide</i> |
| Rasio Bahan Baku | MO:TMP 4:1 | - | - | OA:HP 1:5 |

| Proses | Esterifikasi/ Transesterifikasi | Hidrogenasi | Epoksidasi | Estolida Asam Lemak |
|-----------------|---|---|--|----------------------------|
| Katalis | K ₂ CO ₃ (1,5% wt) | Pd/Al ₂ O ₃ (0,02 wt%) | H ₂ SO ₄ (1,5 wt%) | - |
| Suhu | 120°C | 120°C | 60°C | 80°C |
| Tekanan | 1 bar | 2 bar | 1 atm | - |
| Waktu Reaksi | 4 jam | 30 menit | 6 jam | 24 jam |
| Reaktor | RATB | Parr | Batch | RATB |
| Konversi Reaksi | 70% | 95% | 60,67% | 97% |
| Selektivitas | 95,6% | - | - | - |
| Kelebihan | Stabilitas termal baik, sifat rheologi baik, dan ketahanan gesek baik | Tingkat ketidakjenuhan rendah, stabilitas oksidasi baik | Stabilitas termo-oksidatif baik, suhu reaksi rendah | Konversi reaksi tinggi |
| Kekurangan | Konversi reaksi rendah | Harga katalis mahal, terjadi reaksi isomerisasi | Terdapat tahap penetasan H ₂ O ₂ kurang aman | Biaya produksi tinggi |

Dari keempat proses yang sudah dideskripsikan, belum ada literatur yang menjelaskan proses-proses tersebut dalam skala pabrik. Oleh karena itu, keputusan pemilihan proses didasarkan pada eksperimen skala lab dan pilihan mengerucut pada reaksi esterifikasi/transesterifikasi dan reaksi epoksidasi.

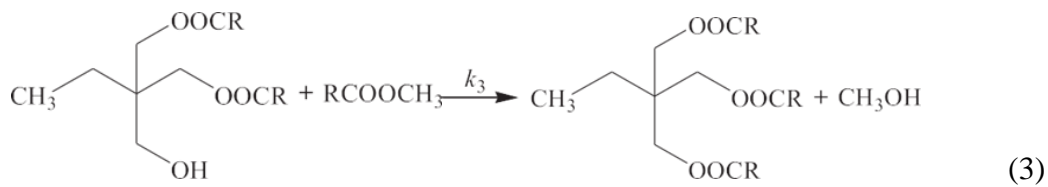
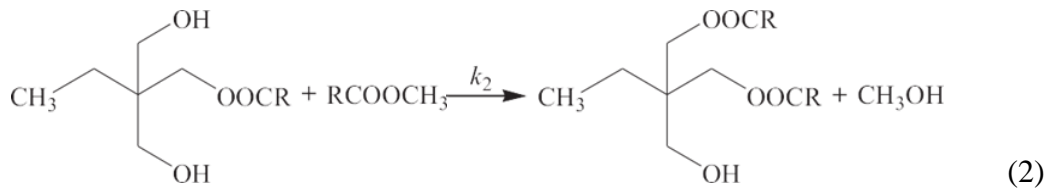
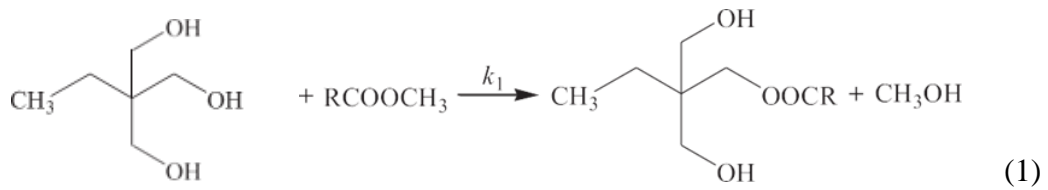
Menurut literatur, kedua proses ini memiliki data yang lebih lengkap daripada proses lainnya dan memiliki alur proses yang mirip. Perbedaannya ada pada tahapan meneteskan hidrogen peroksida pada reaksi epoksidasi yang dinilai tidak cocok untuk diterapkan dalam skala pabrik, tahapan ini juga memiliki resiko ledakan sehingga sebaiknya dihindari. Sedangkan untuk reaksi esterifikasi/transesterifikasi membutuhkan waktu reaksi yang lebih cepat serta potensi ledakan yang lebih rendah. Dengan adanya pertimbangan tersebut, pendirian pabrik *Biolubricant* ini akan menggunakan proses reaksi esterifikasi/transesterifikasi.

1.4 Tinjauan Kinetika dan Termodinamika

1.4.1 Tinjauan Kinetika

Proses sintesis *Biolubricant* melibatkan tiga langkah berturut-turut dimana MO (metil oleat) bereaksi dengan *trimethylolpropane* (TMP) untuk membentuk *trimethylolpropane fatty acid monoester* (TFAME), yang selanjutnya bereaksi dengan MO untuk menghasilkan *trimethylolpropane fatty acid diester* (TFADE) yang akhirnya bereaksi dengan MO untuk menghasilkan *trimethylolpropane fatty acid triester* (TFATE (*biolubricant*)) (Chang *et al.*, 2012). TFATE (*biolubricant*) inilah yang nantinya digunakan sebagai *Biolubricant*.

Reaksi transesterifikasi tiga seri dapat dinyatakan dengan menggunakan persamaan (1), (2), dan (3).



Dimana k_1 , k_2 , dan k_3 adalah konstanta laju untuk reaksi (1), (2), dan (3). Karena metanol yang terbentuk dengan cepat dihilangkan dari sistem dengan menghilangkan gas nitrogen, reaksi (1)-(3) dianggap tidak dapat diubah. Pengaruh penghilangan metanol pada total volume reaksi dapat diabaikan. Dengan demikian, volume cairan reaksi diasumsikan konstan selama seluruh reaksi. Selain itu, untuk reaksi transesterifikasi (1)-(3), laju reaksi dianggap berorde satu sehubungan dengan konsentrasi masing-masing reaktan.

Laju reaksi transesterifikasi ditingkatkan pada suhu yang lebih tinggi, berkontribusi pada konversi MO dan selektivitas TFATE (*biolubricant*) yang lebih tinggi dalam waktu reaksi yang sama. Konversi MO yang diperoleh pada suhu 120°C adalah sekitar 70% setelah 4 jam reaksi dengan rasio molar reaktan

MO ke TMP 4:1. Sementara itu, selektivitas TFATE (*biolubricant*) akhir di bawah 120°C mencapai 95,6%.

Menurut hukum kekuatan, kinetika reaksi dapat dinyatakan dengan bentuk diferensial berikut:

$$\frac{dC_{MO}}{dt} = -k_1 C_{MO} C_{TMP} \quad (4)$$

Dimana CMO dan CTMP masing-masing merupakan konsentrasi molar dari MO dan TMP setelah waktu t. Nilai k_1 merupakan konstanta laju reaksi (1). Nilai konstanta laju reaksi diperoleh dari jurnal yang ditulis oleh Xie, *et al.* Dari jurnal tersebut, didapatkan konstanta laju reaksi pada suhu 80°C, 90°C, 100°C, 110°C, dan 120°C yang dapat dilihat pada Tabel 1.6.

Tabel 1.5 Konstanta Laju Reaksi Transesterifikasi

| Reaksi | k (L/mol.min) | | | | |
|--------|-----------------|---------|---------|---------|---------|
| | 80 °C | 90 °C | 100 °C | 110 °C | 120 °C |
| 1 | 0,00938 | 0,02596 | 0,04345 | 0,13524 | 0,16569 |
| 2 | 0,01281 | 0,02121 | 0,05865 | 0,11016 | 0,12684 |
| 3 | 0,00891 | 0,01240 | 0,02005 | 0,03446 | 0,04455 |

Dengan menerapkan data percobaan konsentrasi MO, TMP, TFAME, TFADE dan TFATE (*biolubricant*) sehubungan dengan waktu reaksi, konstanta laju reaksi transesterifikasi (1)–(3) diperoleh, sebagaimana tercantum dalam Tabel 1.6. Dari Tabel 1.6 diambil nilai k yang paling rendah dengan pertimbangan untuk memaksimalkan reaksi pembentukan TFATE (*biolubricant*) dari TFADE. Energi aktivasi yang terbilang besar menunjukkan bahwa reaksi transesterifikasi lebih dipengaruhi kinetika reaksi daripada transfer massa (Xie *et al.*, 2022).

Tabel 1.6 Parameter Kinetik untuk Reaksi Transesterifikasi

| Reaksi | Ea (kJ/mol) | A (L/mol.min) |
|--------|-------------|-----------------------|
| 1 | 85,60 | $4,74 \times 10^{10}$ |
| 2 | 72,24 | $6,26 \times 10^8$ |
| 3 | 48,95 | $1,47 \times 10^5$ |

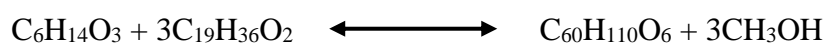
Membandingkan ketiga reaksi tersebut, reaksi (1) memiliki energi aktivasi paling tinggi, yang berarti bahwa reaksi transesterifikasi MO dengan TMP menjadi TFAME paling sesuai untuk suhu tersebut. Namun, konstanta laju terendah dari reaksi (3) menunjukkan bahwa reaksi transesterifikasi TFADE dengan MO menjadi TFATE (*biolubricant*) kemungkinan besar merupakan langkah pengendalian laju, yang mungkin disebabkan oleh adanya hambatan sterik yang besar antara molekul TFADE dan MO.

1.4.2 Tinjauan Termodinamika

A. Entalpi Reaksi Standar (ΔH_r)

Tinjauan termodinamika menjelaskan sifat reaksi yang terlibat, yaitu sifat panas reaksi (eksotermis/endotermis). Apabila harga ΔH_f° bernilai negatif maka reaksi bersifat eksotermis dan apabila ΔH_f° bernilai positif maka reaksi bersifat endotermis.

Reaksi transesterifikasi adalah sebagai berikut:



Tabel 1.7 Nilai Entalpi Proses Transesterifikasi

| Komponen | $\Delta H_f^\circ_{298 K}$ (kJ/mol) |
|---|-------------------------------------|
| Trimethylolpropane (C ₆ H ₁₄ O ₃) | -640,19 |
| Metil oleat (C ₁₉ H ₃₆ O ₂) | -626 |
| Methanol (CH ₃ OH) | -201,17 |

| Komponen | $\Delta H_f^{298\text{ K}}$ (kJ/mol) |
|---|--------------------------------------|
| TFATE (<i>biolubricant</i>) ($\text{C}_{60}\text{H}_{110}\text{O}_6$) | -1902,16 |

(Yaws, 1999)

Untuk mencari nilai entalpi reaksi (ΔH_f°) pada reaksi transesterifikasi adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \Delta H_{r\ 298\text{ K}} &= \Sigma \Delta H_{f\ \text{produk}} - \Sigma \Delta H_{f\ \text{reaktan}} \\
 &= (\Delta H_{\text{C}_{60}\text{H}_{110}\text{O}_6} + 3 \times \Delta H_{\text{CH}_3\text{OH}}) - (\Delta H_{\text{C}_6\text{H}_{14}\text{O}_3} + 3 \times \Delta H_{\text{C}_{19}\text{H}_{36}\text{O}_2}) \\
 &= (-1902,163 + 3 \times (-201,17)) - (-640,19 + 3 \times (-626)) \text{ kJ/mol} \\
 &= 12,517 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Didapatkan hasil entalpi reaksi (ΔH_r) pada reaksi transesterifikasi sebesar 12,517 kJ/mol. Karena hasilnya positif, maka reaksi tersebut bersifat endotermis.

B. Entalpi Reaksi Gibbs (ΔG_r)

Menurut Josiah Willard Gibbs (1873), energi Gibbs pembentukan standar pada suatu senyawa adalah perubahan energi bebas yang disertai pembentukan 1 mol zat tersebut dari unsur penyusunannya.

Tabel 1.8 Nilai Energi Gibbs Proses Transesterifikasi

| Komponen | $\Delta G_{298\text{ K}}$ (kJ/mol) |
|---|------------------------------------|
| Trimethylolpropane ($\text{C}_6\text{H}_{14}\text{O}_3$) | -411,31 |
| Metil oleat ($\text{C}_{19}\text{H}_{36}\text{O}_2$) | -117 |
| Methanol (CH_3OH) | -162,51 |
| TFATE (<i>biolubricant</i>) ($\text{C}_{60}\text{H}_{110}\text{O}_6$) | -233,29 |

(Yaws, 1999)

Untuk mencari nilai entalpi reaksi Gibbs ($\Delta G_{298\text{ K}}$) pada proses transesterifikasi adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\Delta G_{r\ 298\ K} &= \sum \Delta G_{\text{produk}} - \sum \Delta G_{\text{reaktan}} \\
&= (C_{60}H_{110}O_6 + CH_3OH) - (C_{19}H_{36}O_2 + C_6H_{14}O_3) \\
&= (-233,29 + (-162,51)) - (-117 + (-411,31)) \\
&= 132,51\ \text{kJ/mol}
\end{aligned}$$

Untuk mencari nilai entalpi reaksi (ΔG_r) pada temperatur reaksi 120 °C dan tekanan 1 atmosfer digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta G_r = \left(-\frac{\Delta H_{r\ 298\ K}}{R} \left[\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right] \right) RT - \frac{\Delta G_{r\ 298\ K}}{RT} \quad (\text{R. Smith})$$

Dimana:

$$R = 8,314\ \text{J/mol.K}$$

$$T_0 = 25\ \text{°C (298 K)}$$

$$T = 120\ \text{°C (393 K)}$$

$$\tau = \frac{T}{T_0} = \frac{393\ \text{K}}{298\ \text{K}} = 1,319$$

$$\Delta G_r = 3,950\ \text{kJ/mol}$$

Didapatkan nilai entalpi reaksi gibbs (ΔG_r) sebesar 3,950 kJ/mol. Karena hasilnya bernilai positif, menunjukkan bahwa reaksi pada proses ini berlangsung tidak spontan sehingga membutuhkan energi untuk bereaksi. Maka dari itu, reaksi transesterifikasi ini membutuhkan katalis untuk membantu mendorong reaksi agar lebih cepat bahkan lebih spontan.

Dengan didapatkannya energi gibbs reaksi, dapat dihitung konstanta kesetimbangan dengan menggunakan cara berikut:

Pada T = 298 K:

$$-\ln K_{1\ 298\ K} = \frac{\Delta G^\circ}{RT}$$

$$= \frac{-3,950 \text{ kJ/mol}}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol.K}} \times 393 \text{ K}}$$

$$= -0,002$$

$$K1_{298 \text{ K}} = 0,998$$

Pada T = 298 K:

$$\ln \frac{K1}{K2} = \frac{-\Delta Hr}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

$$\ln \frac{K2}{0,998} = \frac{12,571 \text{ kJ/mol}}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol.K}}} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

$$K2_{293 \text{ K}} = 0,9996$$

Hasil K_2 yang didapatkan yaitu 0,9996, nilai $K_2 < 1$ menunjukkan bahwa reaksi pembentukan TFATE (*biolubricant*) dari metil oleat dan trimetilolpropan merupakan reaksi bolak-balik (*reversible*).

BAB II

PERANCANGAN PRODUK

2.1 Spesifikasi Produk

2.1.1 *Trimethylolpropane fatty acid triester / TFATE (biolubricant)*

Spesifikasi *Trimethylolpropane fatty acid triester / TFATE*

(*BIOLUBRICANT*) adalah sebagai berikut:

| | |
|------------------------|----------------------------|
| Rumus Kimia | : $C_{60}H_{110}O_6$ |
| Berat Molekul | : 927,5 g/mol |
| Fase | : Cair |
| Titik Didih | : 851 °C |
| Titik Nyala | : 208 °C |
| Densitas | : 0,918 g/cm ³ |
| Viskositas pada 40 °C | : 48,12 mm ² /s |
| Viskositas pada 100 °C | : 9,35 mm ² /s |
| Kemurnian | : 99% |
| Impurities | : Metil oleat |

2.1.2 *Methanol*

Spesifikasi *methanol* adalah sebagai berikut:

| | |
|---------------|---------------|
| Rumus Kimia | : CH_3OH |
| Berat Molekul | : 32,04 g/mol |
| Fase | : Cair |
| Titik Lebur | : -98 °C |

| | |
|-----------------------|-----------------------------------|
| Titik Didih | : 64,5 °C |
| Titik Nyala | : 10 °C |
| Densitas pada 20 °C | : 0,792 g/cm ³ |
| Viskositas pada 20 °C | : 0,597 mPa.s |
| Kelarutan dalam Air | : Larut |
| Kemurnian | : 95,5% |
| Impurities | : Metil oleat dan trimetlolpropan |

(Sumber: PT.Smart-Lab Indonesia)

2.2 Spesifikasi Bahan Baku dan Bahan Pendukung

2.2.1 *Trimethylolpropane* (TMP)

Spesifikasi *trimethylolpropane* adalah sebagai berikut:

| | |
|----------------------------|---|
| Rumus Kimia | : C ₆ H ₁₄ O ₃ |
| Berat Molekul | : 134,2 g/mol |
| Titik Didih | : 288,89 °C |
| Titik Nyala | : 172 °C |
| Densitas | : 1,084 g/cm ³ |
| Viskositas pada 20 °C | : 64 mPa.s |
| Kelarutan dalam Air (20°C) | : Soluble in water |
| Kemurnian | : 99% |
| Perusahaan | : Wuxi Vland Biotech Co., Ltd |
| Negara | : Jiangsu, China |

Impurities : Asam Format

(Sumber: Loba Chemie)

2.2.2 *Methyl Oleate* (Metil Oleat)

Spesifikasi metil oleat adalah sebagai berikut:

Rumus Kimia : $C_{19}H_{36}O_2$
Berat Molekul : 296,5 g/mol
Fase : Cair
Titik Didih : 343,85 °C
Titik Nyala : 13°C
Densitas pada 20°C : 0,8345 g/cm³
Kelarutan dalam Air : Fully immiscible
Kemurnian : 99,9%
Perusahaan : Ningbo Dongbo New Energy Co., Ltd.
Negara : Zhejiang, China

(Sumber: Cayman Chemical dan Alibaba)

2.2.3 *Potassium carbonate*

Spesifikasi *potassium carbonate* adalah sebagai berikut:

Rumus Kimia : K_2CO_3
Berat Molekul : 138,21 g/mol
Fase : Padat
Titik Lebur : 891 °C

| | |
|----------------------------|---------------------------------|
| Densitas pada 20 °C | : 2,43 g/cm ³ |
| Kelarutan dalam Air (20°C) | : 1.120 g/L |
| Kemurnian | : 99% |
| Perusahaan | : CV. Nijuu Indonesia Cemerlang |
| Negara | : Tangerang, Indonesia |

(Sumber: PT.Smart-Lab Indonesia)

2.2.4 Nitrogen

Spesifikasi nitrogen adalah sebagai berikut:

| | |
|---------------|----------------------------|
| Rumus Kimia | : N ₂ |
| Berat Molekul | : 28,02 g/mol |
| Fase | : Gas |
| Titik Lebur | : -210.01 °C |
| Titik Didih | : -196 °C |
| Densitas gas | : 0.072 lb/ft ³ |
| Kemurnian | : 100% |
| Perusahaan | : PT Tira Austenite Tbk |
| Negara | : Jakarta, Indonesia |

(Sumber: Airgas)

2.3 Pengendalian Kualitas

Untuk menghasilkan produk *Biolubricant* yang mempunyai spesifikasi dan kualitas sesuai dengan standar yang diinginkan, maka diperlukan suatu pengendalian kualitas (*quality control*) yang terdiri dari pengendalian kualitas bahan baku, pengendalian kualitas proses produksi, dan pengendalian kualitas produk.

2.3.1 Pengendalian Kualitas Bahan Baku

Pengendalian kualitas bahan baku dilakukan guna memastikan bahwa bahan baku yang akan digunakan telah sesuai dengan spesifikasi bahan baku yang telah ditentukan untuk proses produksi. Pengendalian bahan baku dilakukan pada awal proses, yaitu sebelum bahan baku masuk ke proses produksi dengan cara melakukan beberapa pengujian sesuai dengan standar yang ada terhadap bahan baku yang akan digunakan, dalam hal ini yaitu metil oleat, *trimethylolpropane*, dan *potassium carbonate*. Jenis pengujian yang dilakukan sesuai dengan ASTM (*American Society for Testing and Materials*), yaitu ASTM D5355-95 (2012) dengan parameter berat jenis lemak dan minyak serta ASTM D1200 dengan parameter viskositas.

2.3.2 Pengendalian Kualitas Proses Produksi

Untuk memastikan proses produksi berjalan dengan baik diperlukan sistem pengendalian kualitas proses produksi. Pengendalian kualitas proses produksi diterapkan pada reaktor, penukar panas (*heat exchanger*), kolom pemisahan (distilasi, absorpsi, ekstraksi), tangki penampung cairan, aliran

fluida, dan lain-lain. Tujuan utama pengendalian proses produksi terbagi menjadi tiga kelompok, yaitu untuk keamanan (*safety*), kehandalan operasi (*operability*), keuntungan ekonomi (*profitability*).

a). Keamanan (*Safety*)

Aspek keamanan terbagi menjadi keselamatan manusia, perlindungan peralatan, dan perlindungan lingkungan. Guna menjamin keselamatan tenaga kerja, beberapa sistem proses dengan kondisi operasi berbahaya perlu dilengkapi dengan sistem *alarm* dan *safety valve* untuk memperkecil kemungkinan kecelakaan ketika kondisi ekstrim proses terlampaui.

Aspek keamanan berikutnya adalah perlindungan peralatan, dimana peralatan yang beroperasi di pabrik juga perlu pengendalian, dalam hal ini memiliki batas aman operasi. Dalam kondisi darurat sistem dapat berhenti secara otomatis (*automatic shutdown*) dan terkunci secara otomatis (*automatic emergency interlock*). Sistem ini berguna mengantisipasi agar kegagalan satu peralatan tidak menjalar ke peralatan lain serta melindungi tenaga kerja ketika terjadi kecelakaan.

Aspek yang terakhir adalah perlindungan lingkungan, yaitu sistem yang bertugas mempertahankan batas aman pencemaran. Sebagian besar proses di industri menghasilkan bahan berbahaya bagi lingkungan, kejadian lain seperti kebocoran gas, cairan, atau padatan berbahaya juga perlu dihindari.

b). Kehandalan Operasi (*Operability*)

Kehandalan operasi meliputi ketahanan terhadap gangguan produktivitas dan kualitas produk. Pengendalian proses harus mampu memperkecil

keragaman kualitas dan produktivitas, yaitu dengan menekan pengaruh gangguan agar kondisi operasi stabil (*steady operation*) dan dalam batas operasional (*operational constraint*).

c). Keuntungan Ekonomi (*Profitability*)

Proses yang tidak aman dengan kondisi operasi yang tidak optimal akan memperkecil keuntungan. Pengendalian proses dilakukan untuk menghasilkan kondisi operasi yang optimum, dalam hal ini kualitas dan kuantitas produk utama yang dihasilkan maksimum dengan biaya produksi yang minimum. Spesifikasi produk yang dihasilkan perlu mengikuti permintaan pasar. Spesifikasi produk yang dihasilkan harus sedekat mungkin dengan batas spesifikasi agar keuntungan yang diperoleh maksimum. Spesifikasi yang perlu diperhatikan diantaranya batas kadar pengotor, viskositas maksimum, ketebalan minimum, konsentrasi minimum, dsb. Pengendalian proses yang baik akan menghasilkan produk dengan rata-rata kualitas yang lebih dekat dengan batas spesifikasi.

2.3.3 Pengendalian Kualitas Produk

- Pengendalian kualitas produk bertujuan untuk memastikan produk *Biolubricant* yang dihasilkan memiliki kualitas yang baik dan sesuai dengan standar yang ditentukan. Pengendalian kualitas pada produk dapat dilakukan dengan melakukan beberapa pengujian pada produk agar produk *Biolubricant* memiliki karakteristik yang sesuai, seperti dapat terurai, tidak beracun dan terbarukan. Salah satu pengujian produk yang dilakukan adalah ASTM D892 dengan parameter metode uji standar untuk sifat busa minyak pelumas.

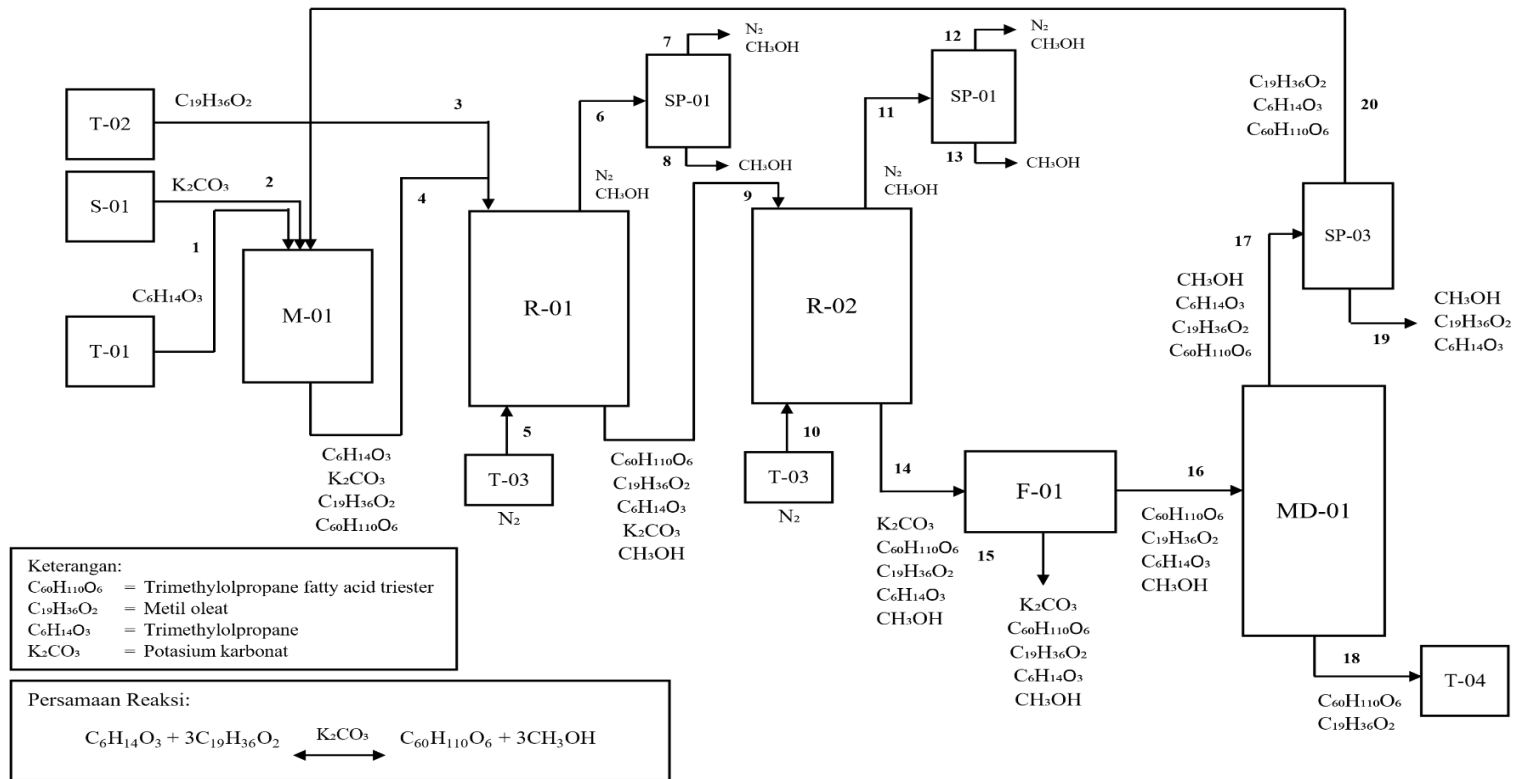
Selain itu, perlu dilakukan kelayakan ekonomi pada produk agar produk yang dihasilkan tidak hanya berkualitas tetapi juga dapat menguntungkan dari segi ekonomi.

BAB III

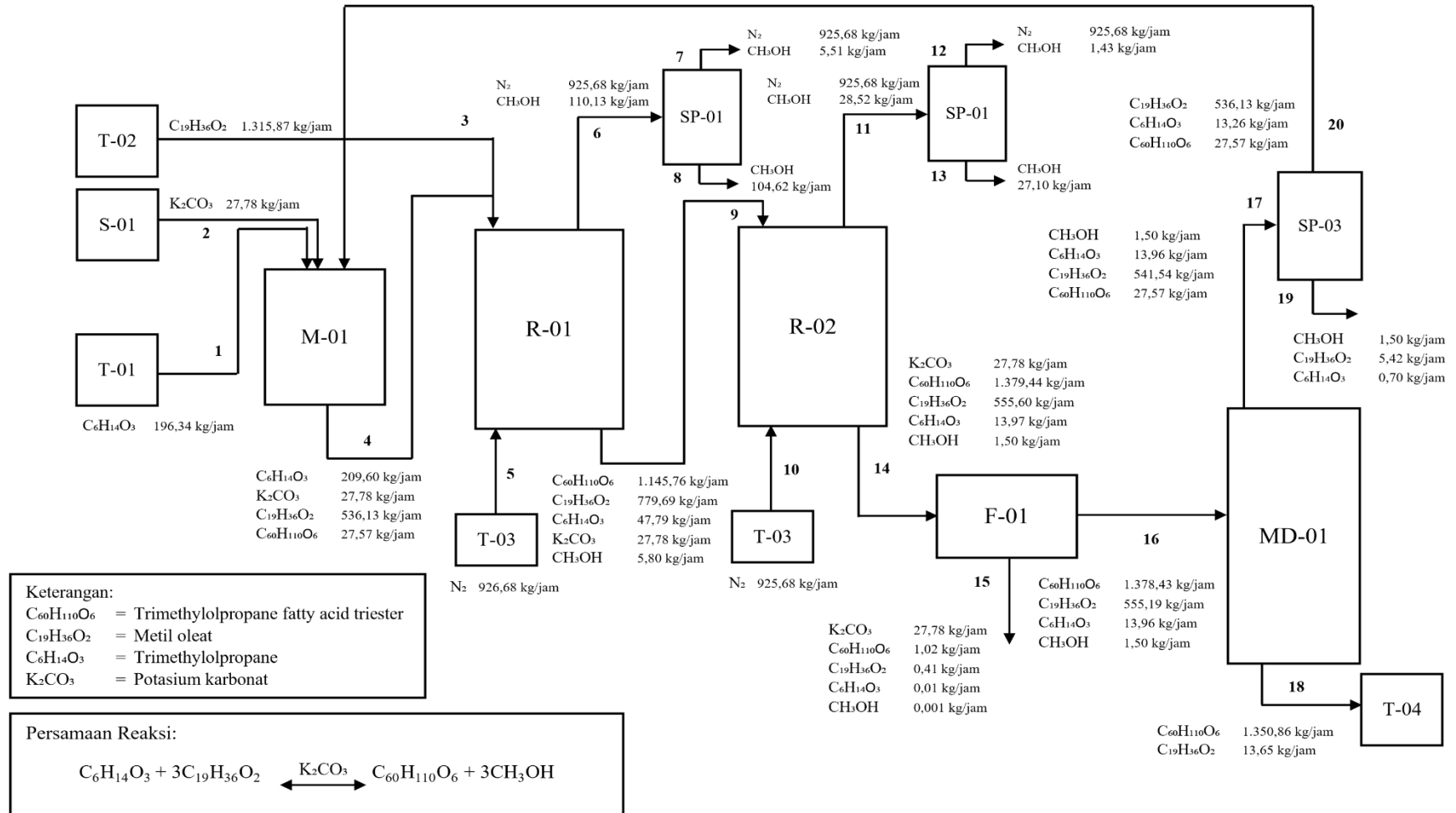
PERANCANGAN PROSES

3.1 Diagram Alir Proses dan Material

3.1.1 Diagram Alir Kualitatif



3.1.2 Diagram Alir Kuantitatif



3.2 Uraian Proses

Proses yang dipilih untuk memproduksi *Biolubricant* adalah reaksi transesterifikasi, yaitu dengan mereaksikan metil oleat dan trimetilolpropan dengan katalis potasium karbonat. Secara umum proses yang terjadi di pabrik ini terbagi menjadi tiga tahapan, yaitu persiapan bahan baku, proses reaksi, serta proses pemisahan dan pemurnian produk.

3.2.1 Persiapan Bahan Baku

Trimetilolpropan ($C_6H_{14}O_3$) yang disimpan di tangki (T-01) pada suhu $30^\circ C$ dan tekanan 1 atm dialirkan menuju mixer (M-01) sebanyak 196,34 kg/jam sebagai arus 1, diikuti katalis potasium karbonat (K_2CO_3) yang disimpan di silo (S-01) pada suhu $30^\circ C$ dan tekanan 1 atm sebanyak 27,78 kg/jam sebagai arus 2. Selanjutnya campuran trimetilolpropan dan potasium karbonat dari mixer (M-01) dipanaskan di heater (HE-01) sehingga suhunya naik menjadi $120^\circ C$ dan masuk ke reaktor (R-01) dalam kondisi suhu $120^\circ C$ dan tekanan 1 atm sebagai arus 4.

Metil oleat ($C_{19}H_{36}O_2$) yang disimpan di tangki (T-02) pada suhu $30^\circ C$ dan tekanan 1 atm dialirkan menuju heater (HE-02) sehingga mengalami kenaikan suhu mencapai $120^\circ C$. Metil oleat dalam keadaan suhu $120^\circ C$ dan tekanan 1 atm kemudian masuk ke reaktor (R-01) sebanyak 1.315,87 kg/jam sebagai arus 3.

3.2.2 Proses Reaksi

Metil oleat dan trimetilolpropan bereaksi di reaktor (R-01) pada kondisi suhu $120^\circ C$ dan tekanan 1 atm dengan waktu tinggal selama 5 jam. Di pertengahan reaksi, gas nitrogen (N_2) sebagai arus 5 digelembungkan sebanyak $12,96\text{ m}^3$ dengan waktu tinggal selama 1 menit guna mengikat metanol (CH_3OH)

yang terbentuk sebagai hasil samping reaksi. Gas nitrogen dan gas metanol bergerak dari reaktor menuju kondensor parsial (CP-01) kemudian menuju separator (SP-01) sebagai arus 6 dengan laju alir 1.035,81 kg/jam pada suhu 120°C dan tekanan 1 atm. Campuran di reaktor (R-01) dialirkan menuju reaktor (R-02) sebagai arus 9 pada kondisi suhu 120°C dan tekanan 1 atm dengan laju alir 2.006,82 kg/jam. Reaksi yang terjadi di reaktor (R-01) kembali terjadi di reaktor (R-02) dengan waktu tinggal dan kondisi operasi yang sama, dimana gas nitrogen masuk sebagai arus 10, campuran gas metanol dan nitrogen keluar sebanyak 954,20 kg/jam sebagai arus 11, dan hasil reaksi dari reaktor (R-02) sebagai arus 14 pada keadaan suhu 120°C dan tekanan 1 atm. Arus 14 dengan laju alir 1.978,30 kg/jam kemudian dialirkan menuju filter (F-01).

Metil oleat dan trimetilolpropan yang bereaksi di reaktor dimasukkan dengan rasio mol 4:1. Secara teoritis dibutuhkan 3 mol metil oleat dan 1 mol trimetilolpropan untuk membentuk *Biolubricant* (TFATE (*biolubricant*)) dan proses transesterifikasi ini terjadi secara berturut-turut dimulai dari pembentukan *trimetilolpropane fatty acid monoester* (TFAME), *trimetilolpropane fatty acid diester* (TFADE), lalu *trimetilolpropane fatty acid triester* (TFATE (*biolubricant*)). Ketika reaksi dilakukan dengan perbandingan mol yang digunakan tepat 3:1 atau lebih kecil, maka kemungkinan reaksi berhenti hanya sampai pada pembentukan TFAME dan TFADE akan lebih besar. Di sisi lain, jika rasio metil oleat terlalu besar maka akan menurunkan selektivitas TFATE (*biolubricant*) (Xie *et al.*, 2022).

3.2.3 Proses Pemisahan dan Pemurnian Produk

a). Pemisahan Metanol (CH_3OH)

Gas metanol dan gas nitrogen pada arus 6 dan arus 11 dengan kondisi suhu 120°C dan tekanan 1 atm diembunkan menggunakan kondensor sehingga kondisi aliran berubah menjadi suhu 35°C dan tekanan 1 atm. Campuran metanol dan nitrogen kemudian dipisahkan di separator dan dialirkan ke tangki penyimpanan metanol .

b). Pemurnian Produk *Biolubricant* ($\text{C}_{60}\text{H}_{110}\text{O}_6$)

Katalis potasium karbonat dari campuran dipisahkan menggunakan filter dan dialirkan menuju unit pengolahan limbah sebagai arus 15 dan campuran produk dialirkan sebagai arus 16 dengan kondisi operasi tekanan 1 atm dan suhu 120°C . Berikutnya arus 16 dipanaskan hingga suhunya mencapai 234°C dan dengan tekanan 1 atm, kemudian dialirkan menuju menara distilasi untuk dimurnikan, sehingga diperoleh produk *Biolubricant* dengan kemurnian 99% dengan laju alir 1.364,50 kg/jam.

3.3 Spesifikasi Alat

3.3.1 Reaktor

| Kode | | R-01 | R-02 |
|--------------------------------|-------------------------|---|---|
| Fungsi | | Mereaksikan metil oleat dan trimetilolpropan menjadi TFATE (<i>biolubricant</i>) dan methanol, serta memisahkan metanol dari campuran dengan menggelembungkan gas nitrogen. Laju alir total 3.042,08 kg/jam | Mereaksikan metil oleat dan trimetilolpropan menjadi TFATE (<i>biolubricant</i>) dan methanol, serta memisahkan metanol dari campuran dengan menggelembungkan gas nitrogen. Laju alir total 2.931,95 kg/jam |
| Jenis/Tipe | | Reaktor alir tangki berpengaduk dengan sparger | Reaktor alir tangki berpengaduk dengan sparger |
| Mode operasi | | Kontinyu | Kontinyu |
| Jumlah | | 1 buah | 1 buah |
| Kondisi operasi | | | |
| Suhu, °C | | 120 | 120 |
| Tekanan, atm | | 1 | 1 |
| Waktu tinggal, jam | | 8,9 | 8,9 |
| Kondisi proses | | Isotermal | Isotermal |
| Fase | | Cair dan padat | Cair dan padat |
| Konstruksi dan material | | | |
| Bahan konstruksi | | <i>Carbon Steel tipe SA-283 grade C</i> | <i>Carbon Steel tipe SA-283 grade C</i> |
| Volume, m³ | | 41.242 | 41.242 |
| Tinggi cairan, m | | 4,954 | 4,954 |
| Tinggi total, m | | 7,332 | 7,332 |
| Shell | Diameter (ID), m | 3,035 | 3,035 |
| | Tinggi, m | 6,071 | 6,071 |
| | Tebal, in | 1/4 | 1/4 |
| Head | Bentuk | <i>Torispherical Flanged and Dished Head</i> | <i>Torispherical Flanged and Dished Head</i> |
| | Tinggi, m | 0,631 | 0,631 |
| | Tebal, in | 5/16 | 5/16 |
| Pengaduk | Jenis | <i>6 blade impellers</i> | <i>6 blade impellers</i> |
| | Jumlah | 2 buah | 2 buah |

| Kode | | R-01 | R-02 |
|---------------|--|----------|----------|
| | Diameter, m | 1,651 | 1,651 |
| | Kecepatan, rpm | 33,875 | 34,058 |
| | Daya, hp | 10 | 10 |
| Baffle | Jumlah | 4 buah | 4 buah |
| | Panjang, m | 3,853 | 3,853 |
| | Lebar, m | 0,495 | 0,495 |
| Jaket Pemanas | UD, W/m ² K | 1.475,37 | 1.475,37 |
| | Luas area transfer panas, m ² | 6,379 | 1,333 |
| | Tebal jaket, in | 1/4 | 1/4 |
| Harga, USD | | 303.380 | 303.380 |

3.3.2 Mixer

| Kode | | M-01 |
|--------------------------------|---|-------------------------|
| Fungsi | Mencampurkan trimetilolpropan dan potasium karbonat sebelum masuk ke reaktor. Laju alir total 800,53 kg/jam | |
| Jenis/Tipe | Tangki silinder tegak dengan <i>ellipsoidal head</i> | |
| Jumlah | 1 buah | |
| Kondisi operasi | | |
| Suhu, °C | 30 | |
| Tekanan, atm | 1 | |
| Waktu tinggal, jam | 1 | |
| Fase | Cair dan padat | |
| Konstruksi dan material | | |
| Bahan konstruksi | <i>Carbon Steel tipe SA-283 grade C</i> | |
| Volume, m ³ | 0,787 | |
| Tinggi cairan, m | 1,449 | |
| Tinggi total, m | 1,738 | |
| Shell | Diameter (ID), m | 0,869 |
| | Tinggi, m | 1,304 |
| | Tebal, in | 3/16 |
| Head | Bentuk | <i>Ellipsoidal head</i> |
| | Tinggi, m | 0,217 |
| | Tebal, in | 3/16 |

| Kode | | M-01 |
|------------|----------------|--------------------------------------|
| Pengaduk | Jenis | <i>Flat 6 blade turbine impeller</i> |
| | Jumlah | 1 |
| | Diameter, m | 0,290 |
| | Kecepatan, rpm | 60 |
| | Daya, hp | 0,05 |
| Baffle | Jumlah | 4 buah |
| | Panjang, m | 0,869 |
| | Tebal, m | 0,145 |
| Harga, USD | | 14.718 |

3.3.3 Alat Pemisahan

a). Separator

| Kode | | SP-01 | SP-02 |
|--------------------------------|------------------|---|---|
| Fungsi | | Memisahkan gas nitrogen dan metanol dari CD-01. Laju alir total 1.035,81 kg/jam | Memisahkan gas nitrogen dan metanol dari CD-02. Laju alir total 954,20 kg/jam |
| Jenis | | <i>Vertical separator</i> | <i>Vertical separator</i> |
| Jumlah | | 1 buah | 1 buah |
| Kondisi Operasi | | | |
| Suhu, °C | | 35 | 35 |
| Tekanan, atm | | 1 | 1 |
| Konstruksi dan material | | | |
| Bahan konstruksi | | <i>Carbon steel SA 516 7Q</i> | <i>Carbon steel SA 516 7Q</i> |
| Tinggi total, m | | 2.508 | 1.955 |
| Shell | Diameter (ID), m | 0,521 | 0,521 |
| | Tebal, in | 0,170 | 0,170 |
| Head | Bentuk | <i>Torispherical dished head</i> | <i>Torispherical dished head</i> |
| | Tebal, in | 0,205 | 0,205 |
| Harga, USD | | 8.769 | 8.769 |

b). Filter

| Kode | | F-01 |
|--------|--|---|
| Fungsi | | Memisahkan padatan potasium karbonat dari keluaran CL-01. Laju alir total 1.977,75 kg/jam |

| Kode | | F-01 |
|-----------------------------------|-------------------------|------|
| Jenis/Tipe | <i>Cartridge filter</i> | |
| Jumlah | 1 buah | |
| Kondisi operasi | | |
| Suhu, °C | 120 | |
| Tekanan, atm | 2 | |
| Fase | Cair dan padat | |
| Konstruksi dan material | | |
| Kapasitas, m ³ /jam | 5 | |
| Diameter housing, m | 0,29 | |
| Tinggi housing, m | 1,02 | |
| Luas area housing, m ² | 0,06 | |
| Nozzle | Inlet, in | 2 |
| | Outlet, in | 2 |
| | Drain, in | 3 |
| Harga, USD | 342 | |

c). Menara Distilasi

| Kode | | MD-01 | | |
|--------------------------------|--|----------------------------------|---------------|--|
| Fungsi | Memisahkan produk TFATE (<i>biolubricant</i>) dari sisa reaktan dan hasil samping reaksi sehingga diperoleh produk TFATE (<i>biolubricant</i>) 99% dengan pengotor metil oleat 1%. Laju alir umpan sebesar 1.948,527 kg/jam. | | | |
| Jenis/Tipe | <i>Multicomponent Distillation / Tray-type Distillation Column</i> | | | |
| Mode operasi | Kontinyu | | | |
| Jumlah | 1 buah | | | |
| Kondisi operasi | | | | |
| | Feed | Top | Bottom | |
| Suhu, °C | 234 | 384 | 469 | |
| Tekanan, atm | 1 | 0,1 | 0,15 | |
| Konstruksi dan material | | | | |
| Bahan konstruksi | <i>Stainless steel SA 167 Grade 11 Type 316</i> | | | |
| Tinggi total (m) | 10,767 | | | |
| Tinggi penyangga (m) | 1 | | | |
| Shell | Diameter (ID), m | 5,993 | | |
| | Tinggi, m | 6,890 | | |
| | Tebal, in | 1 | | |
| Head | Bentuk | <i>Torispherical dished head</i> | | |
| | Tinggi, m | 1,439 | | |

| Kode | | MD-01 |
|-------------------|--------------------------------|------------------------|
| | Tebal, in | 1 |
| Tray | Jenis | Sieve tray |
| | Feed plate | Masuk pada plate ke-5 |
| | Jumlah plate aktual | 8 |
| | Plate spacing, m | 0,6 |
| | Diameter hole, m | 0,005 |
| | Susunan hole | <i>Triangular</i> |
| | Jumlah hole | 109,202 |
| Harga, USD | | 271.365 |
| Steam Ejector | Laju alir steam, kg/jam | 28.663 |
| | Bahan konstruksi | <i>Stainless steel</i> |
| | Tekanan operasi, atm | 1 |
| | Tekanan discharge, atm | 0,15 |
| Harga, USD | | 10.000 |

3.3.4 Akumulator

| Kode | | ACC-01 |
|--------------------------------|-------------------------|--|
| Fungsi | | Mengakumulasi keluaran atas (distilat) MD-01 |
| Jenis | | <i>Drum Accumulator</i> |
| Jumlah | | 1 buah |
| Kondisi Operasi | | |
| Suhu, °C | | 384 |
| Tekanan, atm | | 0,1 |
| Konstruksi dan material | | |
| Bahan konstruksi | | <i>Stainless Steel</i> |
| Panjang total, m | | 2,942 |
| Shell | Diameter (ID), m | 1,210 |
| | Tebal, in | 0,188 |
| Head | Bentuk | <i>Torispherical dished head</i> |
| | Tebal, in | 0,188 |
| Harga, USD | | 15.829 |

3.3.5 Alat Penyimpanan Bahan

a). Silo

| Kode | | S-01 |
|--------------------------------|-------------------------|---|
| Fungsi | | Menyimpan katalis potasium karbonat |
| Jenis/Tipe | | <i>Bin storage</i> |
| Jumlah | | 1 buah |
| Lama Penyimpanan | | 30 hari |
| Kondisi operasi | | |
| Suhu, °C | | 30 |
| Tekanan, atm | | 1 |
| Fase | | Padat |
| Konstruksi dan material | | |
| Bahan konstruksi | | <i>Stainlees steel SA 240 Grade 304</i> |
| Volume, m³ | | 9,877 |
| Tinggi padatan, m | | 1,167 |
| Tinggi total, m | | 4,801 |
| Shell | Diameter (ID), m | 3,048 |
| | Tinggi, m | 3,658 |
| | Tebal, in | 3/16 |
| Konis | Tinggi, m | 1,143 |
| | Tebal, in | 3/16 |
| Harga, USD | | 10.705 |

b). Tangki Penyimpanan

| Kode | T-01 | T-02 | T-03 | T-04 | T-05 | T-06 |
|---------------------------------------|--|--|--|--|--|---|
| Fungsi | Menyimpan bahan baku trimetilolpropan (C ₆ H ₁₄ O ₃) | Menyimpan bahan baku metil oleat (C ₁₉ H ₃₆ O ₂) | Menyimpan gas nitrogen (N ₂) | Menyimpan gas nitrogen (N ₂) | Menyimpan produk samping metanol (CH ₃ OH) | Menyimpan produk TFATE (<i>biolubricant</i>) (C ₆₀ H ₁₁₀ O ₆) |
| Lama Penyimpanan | 30 hari | 30 hari | 14 hari | 14 hari | 14 hari | 14 hari |
| Fasa | Cair | Cair | Gas | Gas | Cair | Cair |
| Jenis | Silinder tegak dengan alas datar dan tutup <i>conical roof</i> | Silinder tegak dengan alas datar dan tutup <i>conical roof</i> | Silinder horizontal dengan head kiri dan kanan berbentuk <i>ellipsoidal dished</i> | Silinder horizontal dengan head kiri dan kanan berbentuk <i>ellipsoidal dished</i> | Silinder tegak dengan alas datar dan tutup <i>conical roof</i> | Silinder tegak dengan alas datar dan tutup <i>conical roof</i> |
| Jumlah | 1 buah | 1 buah | 1 buah | 1 buah | 1 buah | 1 buah |
| Kondisi Operasi | | | | | | |
| Suhu, °C | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| Tekanan, atm | 1 | 1 | 145 | 145 | 1 | 1 |
| Konstruksi dan material | | | | | | |
| Bahan konstruksi | <i>Carbon steel SA 283 Grade C</i> | <i>Carbon steel SA 283 Grade C</i> | <i>Carbon steel SA 283 Grade C</i> | <i>Carbon steel SA 283 Grade C</i> | <i>Stainless Steel SA 167 Grade 11 Type 316</i> | <i>Carbon steel SA 283 Grade C</i> |
| Volume, m³ | 156 | 1.917 | 952 | 952 | 144 | 599 |
| Tinggi cairan, m | 4,195 | 5,836 | - | - | 2,460 | 3,960 |
| Tinggi/panjang total tangki, m | 5,634 | 11,476 | - | - | 3,848 | 6,727 |

| Kode | | T-01 | T-02 | T-03 | T-04 | T-05 | T-06 |
|-------------------|--------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Shell | Diameter ID, m | 6,096 | 21,336 | 6,103 | 6,103 | 7,620 | 12,192 |
| | Tinggi/panjang, m | 5.486 | 5,49 | 30,515 | 30,515 | 2,743 | 5,486 |
| | Jumlah course | 3 | 3 | - | - | 8 | 3 |
| | Tebal, in : | | | 17 | 17 | | |
| | Course 1 | 1/4 | 7/16 | - | - | 1/4 | 5/16 |
| | Course 2 | 3/16 | 5/16 | - | - | 1/4 | 1/4 |
| | Course 3 | 3/16 | 1/4 | - | - | 3/16 | 3/16 |
| | Course 4 | - | - | - | - | 3/16 | - |
| | Course 5 | - | - | - | - | 3/16 | - |
| | Course 6 | - | - | - | - | 3/16 | - |
| | Course 7 | - | - | - | - | 3/16 | - |
| Course 8 | - | - | - | - | 3/16 | - | |
| Head | Tinggi/panjang, m | 0,599 | 4,473 | - | - | 0,895 | 1,975 |
| | Tebal, in | 1/4 | 3/4 | 16 | 16 | 3/16 | 7/16 |
| Harga, USD | | 67.600 | 241.600 | 344.600 | 344.600 | 67.900 | 134.300 |

3.3.6 Alat Transportasi

a). Screw Conveyor

| Kode | SC-01 |
|--------------------------------|--|
| Fungsi | Mengangkut potasium karbonat menuju M-01 |
| Fasa | Padat |
| Jenis | Silinder tegak dengan alas datar dan tutup <i>conical roof</i> |
| Bentuk | <i>Horizontal Screw Conveyor</i> |
| Jumlah | 1 buah |
| Kondisi Operasi | |
| Suhu, °C | 30 |
| Tekanan, atm | 1 |
| Konstruksi dan material | |
| Bahan konstruksi | <i>Carbon steel</i> |
| Kapasitas, kg/jam | 27,78 |
| Diameter, m | 0,152 |
| Panjang, m | 3,048 |
| Kecepatan, RPM | 40 |
| Daya, hp | 0,005 |
| Harga, USD | 2.392 |

b). Blower

| Kode | BL-01 | BL-02 | BL-03 | BL-04 |
|--------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Fungsi | Menghembuskan gas dari T-03 ke R-01 | Menghembuskan gas dari T-04 ke R-02 | Menghembuskan gas dari R-01 ke CP-01 | Menghembuskan gas dari R-02 ke CP-02 |
| Fasa | Gas | Gas | Gas | Gas |
| Jenis | Pompa sentrifugal | Pompa sentrifugal | Pompa sentrifugal | Pompa sentrifugal |
| Jumlah | 2 buah | 2 buah | 1 buah | 1 buah |
| Kondisi Operasi | | | | |
| Suhu, °C | 22 | 22 | 120 | 120 |
| Tekanan, atm | 2 | 2 | 1 | 1 |
| Efisiensi motor, % | 87 | 87 | 87 | 87 |
| Konstruksi dan material | | | | |
| Bahan konstruksi | <i>Carbon steel</i> | <i>Carbon steel</i> | <i>Carbon steel</i> | <i>Carbon steel</i> |
| Kapasitas gas, kg/jam | 926 | 926 | 1.036 | 954 |
| Daya, hp | 15 | 15 | 15 | 15 |

| Kode | BL-01 | BL-02 | BL-03 | BL-04 |
|------------|-------|-------|-------|-------|
| Harga, USD | 4.600 | 4.600 | 9.800 | 9.400 |

c). Sparger

| Kode | SG-01 |
|--------------------------------|---|
| Fungsi | Menghembuskan nitrogen di dalam R-01 dan R-02 |
| Fasa | Gas |
| Jumlah | 2 buah |
| Kondisi Operasi | |
| Suhu, °C | 30 |
| Tekanan, atm | 1 |
| Konstruksi dan material | |
| Bahan konstruksi | <i>Carbon steel</i> |
| Diameter sparger, m | 1,103 |
| Diameter orifice, m | 0,003 |
| Jumlah orifice | 308 |
| Kapasitas gas, kg/jam | 925,68 |
| Harga, USD | 10.432 |

d). Expansion Valve

| Kode | EV-01 dan EV-02 | |
|--------------------------------|--|-----|
| Fungsi | Menurunkan tekanan nitrogen sebelum masuk ke R-01 dan R-02 | |
| Fasa | Gas | |
| Jenis | <i>Throttle valve</i> | |
| Jumlah | 2 buah | |
| Kondisi Operasi | | |
| Suhu, °C | Masuk | 30 |
| | Keluar | 22 |
| Tekanan, atm | Masuk | 145 |
| | Keluar | 2 |
| Konstruksi dan material | | |
| Bahan konstruksi | <i>Stainless steel</i> | |
| Harga, USD | 10.432 | |

e). Pompa

| Kode | | P-01 | P-02 | P-03 | P-04 | P-05 |
|--------------------------------|------------------|---|---|---|---|---|
| Fungsi | | Mengalirkan bahan baku trimetilolpropan (C6H14O3) ke M-01 | Mengalirkan bahan baku metil oleat (C19H36O2) ke R-01 | Mengalirkan metil oleat, trimetilolpropan, TFATE (<i>biolubricant</i>), dan K2CO3 ke R-01 | Mengalirkan metil oleat, trimetilolpropan, TFATE (<i>biolubricant</i>), metanol dan K2CO3 ke R-02 | Mengalirkan metil oleat, trimetilolpropan, TFATE (<i>biolubricant</i>), metanol dan K2CO3 ke F-01 |
| Fasa | | Cair | Cair | Cair | Cair | Cair |
| Jenis | | Pompa sentrifugal | Pompa sentrifugal | Pompa sentrifugal | Pompa sentrifugal | Pompa sentrifugal |
| Jumlah | | 1 buah | 2 buah | 2 buah | 1 buah | 1 buah |
| Kondisi Operasi | | | | | | |
| Suhu, °C | | 30 | 30 | 30 | 120 | 120 |
| Tekanan, atm | Suction | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | Discharge | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Kapasitas, m3/jam | Normal | 0,181 | 1,577 | 0,865 | 2,216 | 2,171 |
| | Desain | 0,199 | 1,735 | 0,951 | 2,438 | 2,388 |
| Daya, hp | Pompa | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,05 | 0,05 |
| | Motor | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| Efisiensi, % | Pompa | 20 | 40 | 20 | 40 | 40 |
| | Motor | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 |
| Konstruksi dan material | | | | | | |
| Bahan konstruksi | | <i>Commercial steel</i> | <i>Commercial steel</i> | <i>Commercial steel</i> | <i>Commercial steel</i> | <i>Commercial steel</i> |
| Luas aliran, in2 | | 0,104 | 0,534 | 0,304 | 0,534 | 0,534 |

| Kode | | P-01 | P-02 | P-03 | P-04 | P-05 |
|------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Pipa | Nominal pipe size, in | 1/4 | 3/4 | 1/2 | 3/4 | 3/4 |
| | Schedule number | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| | Tebal dinding, in | 0,088 | 0,113 | 0,109 | 0,113 | 0,113 |
| | ID, in | 0,364 | 0,824 | 0,622 | 0,824 | 0,824 |
| | OD, in | 0,540 | 1,050 | 0,840 | 1,050 | 1,050 |
| Harga, USD | | 2.200 | 6.600 | 5.800 | 6.600 | 6.600 |

| Kode | P-06 | P-07 | P-08 | P-09 | P-10 | P-11 |
|------------------------|--|--|--|--|--|--|
| Fungsi | Mengalirkan metil oleat, trimetilolpropan, metanol, dan TFATE (<i>biolubricant</i>) ke MD-01 | Mengalirkan metil oleat, trimetilolpropan, metanol, dan TFATE (<i>biolubricant</i>) dari ACC-01 ke MD-01 | Mengalirkan metil oleat, trimetilolpropan, metanol dan TFATE (<i>biolubricant</i>) dari ACC-01 ke M-01 | Mengalirkan produk TFATE (<i>biolubricant</i>) menuju T-06 | Mengalirkan metanol dari SP-01 ke T-05 | Mengalirkan metanol dari SP-02 ke T-05 |
| Fasa | Cair | Cair | Cair | Cair | Cair | Cair |
| Jenis | Pompa sentrifugal | Pompa sentrifugal | Pompa sentrifugal | Pompa sentrifugal | Pompa sentrifugal | Pompa sentrifugal |
| Jumlah | 2 buah | 1 buah | 2 buah | 4 buah | 1 buah | 1 buah |
| Kondisi Operasi | | | | | | |

| Kode | | P-06 | P-07 | P-08 | P-09 | P-10 | P-11 |
|--------------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Suhu, °C | | 234 | 384 | 100 | 469 | 35 | 35 |
| Tekanan, atm | Suction | 1 | 0,1 | 1 | 0,15 | 1 | 1 |
| | Discharge | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Kapasitas, m3/jam | Normal | 2,191 | 0,077 | 0,684 | 1,501 | 0,132 | 0,034 |
| | Desain | 2,41 | 0,085 | 0,752 | 1,651 | 0,145 | 0,038 |
| Daya, hp | Pompa | 0,05 | 0,005 | 0,05 | 0,05 | 0,001 | 0,0001 |
| | Motor | 0,05 | 0,005 | 0,05 | 0,05 | 0,001 | 0,0001 |
| Efisiensi, % | Pompa | 40 | 20 | 20 | 38 | 20 | 20 |
| | Motor | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 |
| Konstruksi dan material | | | | | | | |
| Bahan konstruksi | | <i>Stainless steel</i> | <i>Stainless steel</i> | <i>Commercial steel</i> | <i>Stainless steel</i> | <i>Commercial steel</i> | <i>Commercial steel</i> |
| Luas aliran, in ² | | 0,534 | 0,058 | 0,192 | 0,534 | 0,104 | 0,058 |
| Pipa | Nominal pipe size, in | 3/4 | 1/8 | 3/8 | 3/4 | 1/4 | 1/8 |
| | Schedule number | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| | Tebal dinding, in | 0,113 | 0,068 | 0,091 | 0,113 | 0,088 | 0,068 |
| | ID, in | 0,824 | 0,269 | 0,493 | 0,824 | 0,364 | 0,269 |
| | OD, in | 1,050 | 0,405 | 0,675 | 1,050 | 0,540 | 0,405 |
| Harga, USD | | 12.000 | 3.400 | 5.200 | 13.200 | 2.500 | 2.500 |

3.3.7 Alat Penukar Panas

a). Heater

| Kode | HE-01 | HE-02 | HE-03 | HE-04 | HE-05 | |
|---|---|--|---|---|---|--------|
| Fungsi | Menaikkan suhu larutan metil oleat, TMP, K ₂ CO ₃ , dan TFATE (<i>biolubricant</i>) sebelum masuk ke R-01 | Menaikkan suhu metil oleat sebelum masuk ke R-01 | Menaikkan suhu nitrogen sebelum masuk ke R-01 | Menaikkan suhu nitrogen sebelum masuk ke R-02 | Menaikkan suhu larutan metil oleat, TMP, metanol dan TFATE (<i>biolubricant</i>) sebelum masuk ke MD-01 | |
| Jenis | <i>Shell and tube</i> | <i>Shell and tube</i> | <i>Double pipe</i> | <i>Double pipe</i> | <i>Shell and tube</i> | |
| Luas transfer panas, m² | 22,401 | 57,772 | 2,586 | 2,586 | 40,676 | |
| Kondisi Operasi | | | | | | |
| Shell / Annulus | Fluida | <i>Steam</i> | <i>Steam</i> | <i>Steam</i> | <i>Steam</i> | |
| | Kapasitas, kg/jam | 1.398 | 1.900 | 693 | 693 | 2.950 |
| | Pressure drop, psi | 0,150 | 0,065 | 0,198 | 0,198 | 0,188 |
| | Suhu Operasi | | | | | |
| | Masuk | 150 | 150 | 150 | 150 | 250 |
| Keluar | 80 | 80 | 80 | 80 | 150 | |
| Tube / Innerpipe | Fluida | Larutan | Metil oleat | Gas Nitrogen | Gas Nitrogen | Produk |
| | Kapasitas, kg/jam | 801 | 1.316 | 926 | 926 | 1.949 |

| Kode | | HE-01 | HE-02 | HE-03 | HE-04 | HE-05 |
|--|---------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------------------------|
| | Pressure drop, psi | 0,779 | 0,003 | 0,011 | 0,011 | 0,071 |
| | Suhu Operasi | | | | | |
| | Masuk | 30 | 30 | 22 | 22 | 120 |
| | Keluar | 120 | 120 | 120 | 120 | 234 |
| Konstruksi dan material | | | | | | |
| Bahan konstruksi | | <i>Carbon steel</i> | <i>Carbon steel</i> | <i>Carbon steel</i> | <i>Carbon steel</i> | <i>Stainless Steel</i> |
| Shell / Annulus | IPS, in | - | - | 1 1/4 | 1 1/4 | |
| | Passes, in | 1 | 1 | - | - | 1 |
| | Baffle space, in | 2,4 | 2,4 | - | - | 3,05 |
| | ID, in | 12 | 12 | 1,380 | 1,380 | 15,250 |
| | OD, in | - | - | 1,660 | 1,660 | |
| Tube / Outerpipes | IPS, in | - | - | 2 | 2 | |
| | Passes, in | 4 | 2 | - | - | 2 |
| | BWG, in | 16 | 16 | - | - | 16 |
| | ID, in | 0,620 | 0,620 | 2,067 | 2,067 | 0,620 |
| | OD, in | 0,750 | 0,750 | 2,380 | 2,380 | 0,750 |
| | Susunan | Triangular pitch | Triangular pitch | - | - | Triangular pitch |
| | Jumlah | 76 | 82 | - | - | 138 |
| | Panjang, m | 4,877 | 4,877 | 19,507 | 19,507 | 4,877 |
| Jumlah hairpin | | - | - | 2 | 2 | - |
| UD, Btu/jam.Ft².F | | 10,797 | 5,691 | 41,871 | 41,871 | 47,972 |
| UC, Btu/jam.Ft².F | | 12,109 | 7,485 | 368,736 | 368,736 | 51,517 |
| Rd required, Btu/jam.Ft².F | | 0,001 | 0,001 | 0,002 | 0,002 | 0,001 |

| Kode | HE-01 | HE-02 | HE-03 | HE-04 | HE-05 |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Rd, Btu/jam.Ft².F | 0,010 | 0,042 | 0,021 | 0,021 | 0,001 |
| Harga, USD | 13.600 | 15.000 | 19.900 | 19.900 | 57.200 |

b). Cooler

| Kode | CL-01 | CL-02 | CL-03 | CL-04 | |
|---|---|---|--|---|----------------------|
| Fungsi | Menurunkan suhu larutan produk TFATE (<i>biolubricant</i>) sebelum masuk ke CL-02 | Menurunkan suhu larutan produk TFATE (<i>biolubricant</i>) sebelum masuk ke CL-03 | Menurunkan suhu larutan produk TFATE (<i>biolubricant</i>) sebelum masuk ke T-04 | Menurunkan suhu larutan metil oleat, TMP, dan TFATE (<i>biolubricant</i>) sebelum masuk ke M-01 | |
| Jenis | <i>Shell and tube</i> | <i>Shell and tube</i> | <i>Shell and tube</i> | <i>Shell and tube</i> | |
| Luas transfer panas, m² | 81,117 | 102,710 | 123,135 | 22,175 | |
| Kondisi Operasi | | | | | |
| Shell | Fluida | Produk | Produk | Produk | Larutan |
| | Kapasitas, kg/jam | 1.365 | 1.365 | 1.365 | 577 |
| | Pressure drop, psi | 0,027 | 0,008 | 0,019 | 0,099 |
| | Suhu Operasi | | | | |
| | Masuk | 469 | 280 | 100 | 100 |
| | Keluar | 280 | 100 | 30,5 | 30,5 |
| Tube | Fluida | <i>Dowtherm A</i> | <i>Dowtherm A</i> | <i>Cooling water</i> | <i>Cooling water</i> |
| | Kapasitas, kg/jam | 3.361 | 4.564 | 3.514 | 1.063 |
| | Pressure drop, psi | 0,351 | 0,054 | 0,160 | 0,044 |

| Kode | | CL-01 | CL-02 | CL-03 | CL-04 |
|--|-------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|
| | Suhu Operasi | | | | |
| | Masuk | 250 | 80 | 30 | 30 |
| | Keluar | 350 | 150 | 50 | 50 |
| Konstruksi dan material | | | | | |
| Bahan konstruksi | | <i>Stainless Steel</i> | <i>Stainless Steel</i> | <i>Carbon steel</i> | <i>Carbon steel</i> |
| Shell | Passes, in | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | Baffle space, in | 4,25 | 4,65 | 5 | 2,4 |
| | ID, in | 21,250 | 23,250 | 25 | 12 |
| Tube | Passes, in | 4 | 4 | 4 | 4 |
| | BWG, in | 16 | 16 | 16 | 16 |
| | ID, in | 0,620 | 0,620 | 0,620 | 0,620 |
| | OD, in | 0,750 | 0,750 | 0,750 | 0,750 |
| | Susunan | Triangular pitch | Triangular pitch | Triangular pitch | Triangular pitch |
| | Jumlah | 278 | 352 | 422 | 76 |
| | Panjang, m | 4,877 | 4,877 | 4,877 | 4,877 |
| UD, Btu/jam.Ft².F | | 8,095 | 12,313 | 11,526 | 19,359 |
| UC, Btu/jam.Ft².F | | 8,650 | 13,184 | 11,847 | 30,194 |
| Rd required, Btu/jam.Ft².F | | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 |
| Rd, Btu/jam.Ft².F | | 0,008 | 0,005 | 0,002 | 0,019 |
| Harga, USD | | 44.900 | 46.400 | 64.000 | 13.300 |

c). Kondensor Parsial dan Reboiler

| Kode | | CP-01 | CP-02 | CP-03 | RE-01 |
|---|---------------------------|---|---|---|---|
| Fungsi | | Mengembunkan uap yang keluar dari R-01 sebelum masuk ke SP-01 | Mengembunkan uap yang keluar dari R-02 sebelum masuk ke SP-02 | Mengembunkan uap distilat yang keluar dari MD-01 sebelum masuk ke SP-03 | Menguapkan kembali produk bottom dari MD-01 |
| Jenis | | <i>Shell and tube</i> | <i>Shell and tube</i> | <i>Shell and tube</i> | <i>Shell and tube</i> |
| Luas transfer panas, m² | | 15,189 | 12,466 | 12,466 | 9,340 |
| Kondisi Operasi | | | | | |
| Shell | Fluida | Gas N2 dan CH3OH | Gas N2 dan CH3OH | Gas distilat | Larutan |
| | Kapasitas, kg/jam | 1.036 | 954 | 585 | 1.364 |
| | Pressure drop, psi | 0,407 | 0,525 | 0,046 | 5,961 |
| | Suhu Operasi | | | | |
| | Masuk | 120 | 120 | 443 | 234 |
| | Keluar | 35 | 35 | 100 | 597 |
| Tube | Fluida | <i>Cooling Water</i> | <i>Cooling Water</i> | <i>Cooling Water</i> | <i>Superheated Steam</i> |
| | Kapasitas, kg/jam | 2.855 | 2.890 | 17.436 | 7.634 |
| | Pressure drop, psi | 0,053 | 0,28 | 7,872 | 0,799 |
| | Suhu Operasi | | | | |
| | Masuk | 30 | 30 | 30 | 650 |
| | Keluar | 50 | 50 | 50 | 600 |
| Konstruksi dan material | | | | | |
| Bahan konstruksi | | <i>Stainless steel</i> | <i>Stainless steel</i> | <i>Stainless steel</i> | <i>Stainless steel</i> |
| Shell | Passes, in | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | Baffle space, in | 2 | 2 | 2 | 2 |
| | ID, in | 10 | 10 | 10 | 8 |
| Tube | Passes, in | 2 | 2 | 2 | 2 |
| | BWG, in | 16 | 16 | 16 | 16 |

| Kode | | CP-01 | CP-02 | CP-03 | RE-01 |
|--|-------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | ID, in | 0,620 | 0,870 | 0,870 | 0,870 |
| | OD, in | 0,750 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| | Susunan | <i>Triangular pitch</i> | <i>Triangular pitch</i> | <i>Triangular pitch</i> | <i>Triangular pitch</i> |
| | Jumlah | 52 | 32 | 32 | 32 |
| | Panjang, m | 4,877 | 4,877 | 4,877 | 3,658 |
| UD, Btu/jam.Ft².F | | 56,841 | 38,940 | 35,898 | 64,116 |
| UC, Btu/jam.Ft².F | | 434,884 | 500,796 | 256,116 | 77,064 |
| Rd required, Btu/jam.Ft².F | | 0,002 | 0,002 | 0,0005 | 0,0005 |
| Rd, Btu/jam.Ft².F | | 0,015 | 0,024 | 0,024 | 0,003 |
| Harga, USD | | 7.900 | 6.100 | 11.900 | 29.300 |

3.4 Neraca Massa

3.4.1 Neraca Massa Total

Tabel 3.1 Neraca Massa Total

| Komponen | Input (kg/jam) | | | | | Output (kg/jam) | | | | | | |
|---|-----------------|--------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|--------------|--------------|-------------|-----------------|
| | Arus 1 | Arus 2 | Arus 3 | Arus 5 | Arus 10 | Arus 7 | Arus 8 | Arus 12 | Arus 13 | Arus 15 | Arus 18 | Arus 19 |
| Metil Oleat (C ₁₉ H ₃₆ O ₂) | | | 1.315,87 | | | | | | | 0,41 | 5,55 | 13,65 |
| Trimetilolpropan (C ₆ H ₁₄ O ₃) | 196,34 | | | | | | | | | 0,01 | 0,70 | |
| Potassium karbonat (K ₂ CO ₃) | | 27,78 | | | | | | | | 27,78 | | |
| Nitrogen (N ₂) | | | | 925,68 | 925,68 | 925,68 | | 925,68 | | | | |
| Metanol (CH ₃ OH) | | | | | | 5,51 | 104,62 | 1,43 | 27,10 | 0,00 | 1,50 | |
| TFATE (<i>BIOLUBRICANT</i>) (C ₆₀ H ₁₁₀ O ₆) | | | | | | | | | | 1,02 | | 1.350,86 |
| Subtotal | 196,34 | 27,78 | 1.315,87 | 925,68 | 925,68 | 931,19 | 104,62 | 927,11 | 27,10 | 29,22 | 7,75 | 1.364,50 |
| Total | 3.391,48 | | | | | 3.391,48 | | | | | | |

3.4.2 Neraca Massa Mixer (M-01)

Tabel 3.2 Neraca Massa Mixer (M-01)

| Komponen | Input (kg/jam) | | | Output (kg/jam) |
|---|----------------|--------------|---------------|-----------------|
| | Arus 1 | Arus 2 | Arus 17 | Arus 4 |
| Metil Oleat (C ₁₉ H ₃₆ O ₂) | | | 536,13 | 536,13 |
| Trimetilolpropan (C ₆ H ₁₄ O ₃) | 196,34 | | 13,26 | 209,60 |
| Potasium karbonat (K ₂ CO ₃) | | 27,78 | | 27,78 |
| TFATE (BIOLUBRICANT) (C ₆₀ H ₁₁₀ O ₆) | | | 27,57 | 27,57 |
| Subtotal | 196,336 | 27,78 | 576,96 | 801,08 |
| Total | 800,94 | | | 800,94 |

3.4.3 Neraca Massa Reaktor 1 (R-01)

Tabel 3.3 Neraca Massa Reaktor 1 (R-01)

| Komponen | Input (kg/jam) | | | Output (kg/jam) | |
|---|-----------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|
| | Arus 3 | Arus 4 | Arus 5 | Arus 6 | Arus 9 |
| Metil Oleat (C ₁₉ H ₃₆ O ₂) | 1.315,87 | 536,13 | | | 779,69 |
| Trimetilolpropan (C ₆ H ₁₄ O ₃) | | 209,60 | | | 47,79 |
| Potasium karbonat (K ₂ CO ₃) | | 27,78 | | | 27,78 |
| Nitrogen (N ₂) | | | 925,68 | 925,68 | |
| Metanol (CH ₃ OH) | | | | 110,13 | 5,80 |
| TFATE (BIOLUBRICANT) (C ₆₀ H ₁₁₀ O ₆) | | 27,57 | | | 1.145,76 |
| Subtotal | 1.315,87 | 801,08 | 925,68 | 1.035,81 | 2.006,82 |
| Total | 3.042,63 | | | 3.042,63 | |

3.4.4 Neraca Massa Reaktor 2 (R-02)

Tabel 3.4 Neraca Massa Reaktor (R-02)

| Komponen | Input (kg/jam) | | Output (kg/jam) | |
|---|----------------|---------|-----------------|---------|
| | Arus 9 | Arus 10 | Arus 11 | Arus 14 |
| Metil Oleat (C ₁₉ H ₃₆ O ₂) | 779,69 | | | 555,60 |
| Trimetilolpropan (C ₆ H ₁₄ O ₃) | 47,79 | | | 13,97 |
| Potasium karbonat (K ₂ CO ₃) | 27,78 | | | 27,78 |
| Nitrogen (N ₂) | | 925,68 | 925,68 | |
| Metanol (CH ₃ OH) | 5,80 | | 28,52 | 1,50 |

| Komponen | Input (kg/jam) | | Output (kg/jam) | |
|---|-----------------|---------------|-----------------|-----------------|
| | Arus 9 | Arus 10 | Arus 11 | Arus 14 |
| TFATE (<i>BIOLUBRICANT</i>) (C ₆₀ H ₁₁₀ O ₆) | 1.145,76 | | | 1.379,44 |
| Subtotal | 2.006,82 | 925,68 | 954,20 | 1.978,30 |
| Total | 2.932,50 | | 2.932,50 | |

3.4.5 Neraca Massa Separator 1 (S0-1)

Tabel 3.5 Neraca Massa Separator 1 (S0-1)

| Komponen | Input (kg/jam) | Output (kg/jam) | |
|------------------------------|-----------------|-----------------|---------------|
| | Arus 6 | Arus 7 | Arus 8 |
| Nitrogen (N ₂) | 925,68 | 925,68 | |
| Metanol (CH ₃ OH) | 110,13 | 5,51 | 104,62 |
| Subtotal | 1.035,81 | 931,19 | 104,62 |
| Total | 1.035,81 | 1.035,81 | |

3.4.6 Neraca Massa Separator 2 (S0-2)

Tabel 3.6 Neraca Massa Separator 2 (S0-2)

| Komponen | Input (kg/jam) | Output (kg/jam) | |
|------------------------------|----------------|-----------------|--------------|
| | Arus 11 | Arus 12 | Arus 13 |
| Nitrogen (N ₂) | 925,68 | 925,68 | |
| Metanol (CH ₃ OH) | 28,52 | 1,43 | 27,10 |
| Subtotal | 954,20 | 927,11 | 27,10 |
| Total | 954,20 | 954,20 | |

3.4.7 Neraca Massa Filter (F-01)

Tabel 3.7 Neraca Massa Filter (F-01)

| Komponen | Input (kg/jam) | Output (kg/jam) | |
|---|----------------|-----------------|----------|
| | Arus 14 | Arus 15 | Arus 16 |
| Metil Oleat (C ₁₉ H ₃₆ O ₂) | 555,60 | 0,41 | 555,19 |
| Trimetilolpropan (C ₆ H ₁₄ O ₃) | 13,97 | 0,01 | 13,96 |
| Potasium karbonat (K ₂ CO ₃) | 27,78 | 27,78 | |
| Metanol (CH ₃ OH) | 1,50 | 0,00 | 1,50 |
| TFATE (<i>BIOLUBRICANT</i>) | 1.379,44 | 1,02 | 1.378,43 |

| Komponen | Input (kg/jam) | Output (kg/jam) | |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|
| | Arus 14 | Arus 15 | Arus 16 |
| (C ₆₀ H ₁₁₀ O ₆) | | | |
| Subtotal | 1.978,30 | 29,22 | 1.949,08 |
| Total | 1.978,30 | 1.978,30 | |

3.4.8 Neraca Massa Menara Distilasi (MD-01)

Tabel 3.8 Massa Menara Distilasi (MD-01)

| Komponen | Input (kg/jam) | Output (kg/jam) | | |
|---|-----------------|-----------------|-------------|-----------------|
| | Arus 16 | Arus 17 | Arus 18 | Arus 19 |
| Metil Oleat (C ₁₉ H ₃₆ O ₂) | 555,19 | 535,99 | 5,55 | 13,65 |
| Trimetilolpropan (C ₆ H ₁₄ O ₃) | 13,96 | 13,26 | 0,70 | |
| Metanol (CH ₃ OH) | 1,50 | | 1,50 | |
| TFATE (<i>BIOLUBRICANT</i>) (C ₆₀ H ₁₁₀ O ₆) | 1.378,43 | 27,57 | | |
| Subtotal | 1.949,08 | 576,83 | 7,75 | 1.364,50 |
| Total | 1.949,08 | 1.949,08 | | |

3.5 Neraca Panas

3.5.1 Neraca Panas Reaktor 1 (R-01)

Tabel 3.9 Neraca Panas Reaktor 1 (R-01)

| Keterangan | Input (Kj/jam) | Output (Kj/jam) |
|--------------|----------------|-----------------|
| Q3 | 1.088 | |
| Q4 | 675 | |
| Q5 | 337 | |
| Q6 | | 447 |
| Q7 | | 1.929 |
| Qloss | | 256.928 |
| Qpemanasan | 257.204 | |
| Total | 259.304 | 259.304 |

3.5.2 Neraca Panas Reaktor 2 (R-02)

Tabel 3.10 Neraca Panas Reaktor 2 (R-02)

| Keterangan | Input (Kj/jam) | Output (Kj/jam) |
|------------|----------------|-----------------|
| Q9 | 1.929 | |
| Q10 | 337 | |

| Keterangan | Input (Kj/jam) | Output (Kj/jam) |
|--------------|----------------|-----------------|
| Q11 | | 365 |
| Q14 | | 1.952 |
| Qloss | | 53.692 |
| Qpemanasan | 53.744 | |
| Total | 56.009 | 56.009 |

3.5.3 Neraca Panas Heater 1 (HE-01)

Tabel 3.11 Neraca Panas Heater 1 (HE-01)

| Keterangan | Input (Kj/jam) | Output (Kj/jam) |
|--------------|----------------|-----------------|
| Qin | 9.421 | |
| Qout | | 179.000 |
| Qpemanasan | 169.578 | |
| Total | 179.000 | 179.000 |

3.5.4 Neraca Panas Heater 2 (HE-02)

Tabel 3.12 Neraca Panas Heater 2 (HE-02)

| Keterangan | Input (Kj/jam) | Output (Kj/jam) |
|--------------|----------------|-----------------|
| Qin | 14.375 | |
| Qout | | 273.124 |
| Qpemanasan | 258.749 | |
| Total | 273.124 | 273.124 |

3.5.5 Neraca Panas Heater 3 (HE-03)

Tabel 3.13 Neraca Panas Heater 3 (HE-03)

| Keterangan | Input (Kj/jam) | Output (Kj/jam) |
|--------------|------------------|------------------|
| Qin | 520.004 | |
| Qout | | 1.144.009 |
| Qpemanasan | 624.005 | |
| Total | 1.144.009 | 1.144.009 |

3.5.6 Neraca Panas Cooler 1 (CL-01)

Tabel 3.14 Neraca Panas Cooler 1 (CL-01)

| Keterangan | Input (Kj/jam) | Output (Kj/jam) |
|------------|----------------|-----------------|
|------------|----------------|-----------------|

| Keterangan | Input (Kj/jam) | Output (Kj/jam) |
|-------------------|-----------------------|------------------------|
| Qin | 1.867.633 | |
| Qout | | 1.072.627 |
| Qpendinginan | | 795.006 |
| Total | 1.867.633 | 1.867.633 |

3.5.7 Neraca Panas Cooler 2 (CL-02)

Tabel 3.15 Neraca Panas Cooler 2 (CL-02)

| Keterangan | Input (Kj/jam) | Output (Kj/jam) |
|-------------------|-----------------------|------------------------|
| Qin | 1.072.627 | |
| Qout | | 315.478 |
| Qpendinginan | | 757.148 |
| Total | 1.072.627 | 1.072.627 |

3.5.8 Neraca Panas Cooler 3 (CL-03)

Tabel 3.16 Neraca Panas Cooler 3 (CL-03)

| Keterangan | Input (Kj/jam) | Output (Kj/jam) |
|-------------------|-----------------------|------------------------|
| Qin | 315.478 | |
| Qout | | 23.135 |
| Qpendinginan | | 292.343 |
| Total | 315.478 | 315.478 |

3.5.9 Neraca Panas Cooler 4 (CL-04)

Tabel 3.17 Neraca Panas Cooler 4 (CL-04)

| Keterangan | Input (Kj/jam) | Output (Kj/jam) |
|-------------------|-----------------------|------------------------|
| Qin | 104.910 | |
| Qout | | 9.792 |
| Qpendinginan | | 95.119 |
| Total | 104.910 | 104.910 |

3.5.10 Neraca Panas Kondensor Parsial 1 (CP-01)

Tabel 3.18 Neraca Panas Kondensor Parsial 1 (CP-01)

| Keterangan | Input (Kj/jam) | Output (Kj/jam) |
|-------------------|-----------------------|------------------------|
| Q1 | 107.271 | |

| Keterangan | Input (Kj/jam) | Output (Kj/jam) |
|--------------|----------------|-----------------|
| Q2 | 6.296 | |
| Q3 | 114.973 | |
| Q4 | 10.561 | |
| Q5 | | 2.627 |
| Q6 | | 9.691 |
| Qpendinginan | | 226.782 |
| Total | 239.100 | 239.100 |

3.5.11 Neraca Panas Kondensor Parsial 2 (CP-02)

Tabel 3.19 Neraca Panas Kondensor Parsial 2 (CD-02)

| Keterangan | Input (Kj/jam) | Output (Kj/jam) |
|--------------|----------------|-----------------|
| Q1 | 95.627 | |
| Q2 | 6.296 | |
| Q3 | 29.776 | |
| Q4 | 2.735 | |
| Q5 | | 680 |
| Q6 | | 9.633 |
| Qpendinginan | | 124.120 |
| Total | 134.434 | 134.434 |

3.5.12 Neraca Panas Kondensor Parsial 3 (CP-03)

Tabel 3.20 Neraca Panas Kondensor Parsial 3 (CP-03)

| Keterangan | Input (Kj/jam) | Output (Kj/jam) |
|--------------|------------------|------------------|
| Q1 | 426.436 | |
| Q2 | 365.249 | |
| Q3 | 124.748 | |
| Q4 | 454.684 | |
| Q5 | | 94.765 |
| Q6 | | 167 |
| Qpendinginan | | 1.276.186 |
| Total | 1.371.118 | 1.371.118 |

3.5.13 Neraca Panas Menara Distilasi (MD-01)

Tabel 3.21 Neraca Panas Menara Distilasi (MD-01)

| Keterangan | Input (kJ/jam) | Output (kJ/jam) | |
|------------|----------------|-----------------|-------|
| | | Atas | Bawah |

| | | | |
|-------------------------|----------------|----------------|---------------|
| Metanol | 945 | 2.089 | |
| Trimetilolpropan | 9.037 | 16.624 | |
| Metil Oleat | 279.526 | 514.575 | 17.304 |
| TFATE (BIOLUBRICANT) | 3.619 | 95 | 2.326 |
| Qkondensor | | 338.322 | |
| Qreboiler | 598.208 | | |
| Subtotal | 891.336 | 871.706 | 19.630 |
| Total | 891.336 | 891.336 | |

3.5.14 Neraca Panas Reboiler (RE-01)

Tabel 3.22 Neraca Panas Reboiler (RE-01)

| Keterangan | Input (kJ/jam) | Output (kJ/jam) |
|--------------|------------------|------------------|
| Q1 | 293.128 | |
| Q2 | 958.000 | |
| Q3 | | 140.636 |
| Q4 | | 677.356 |
| Q5 | | 543.607 |
| Q6 | | 22.731 |
| Qpemanasan | 133.202 | |
| Total | 1.384.330 | 1.384.330 |

BAB IV

PERANCANGAN PABRIK

4.1 Lokasi Pabrik



Gambar 4.1 Peta Rencana Lokasi Pabrik *Biolubricant*

(Sumber: Google Earth)

Lokasi pabrik merupakan salah satu faktor yang sangat berpengaruh dalam pendirian dan keberlangsungan operasional suatu pabrik, oleh karena itu dalam menentukan tempat berdirinya perlu pertimbangan yang matang sehingga dapat menguntungkan perusahaan baik dari segi teknik maupun ekonomi. Beberapa aspek yang dapat dijadikan pertimbangan dalam pemilihan lokasi berdirinya pabrik diantaranya ketersediaan bahan baku, pemasaran, transportasi, lingkungan sekitar, dan sarana pendukung lainnya

Pabrik *Biolubricant* dengan kapasitas 10.806 ton/tahun direncanakan akan didirikan di Desa Sukaluyu, Kecamatan Telukjambe Timur, Kabupaten

Karawang, Jawa Barat dengan luas total pabrik sebesar 35.000 m². Beberapa faktor yang menjadi pertimbangan pemilihan lokasi pabrik antara lain sebagai berikut:

4.1.1 Sumber Bahan Baku

Ketersediaan bahan baku perlu diperhatikan dalam pendirian suatu pabrik. Namun, bahan baku utama dalam pembuatan *Biolubricant* ini yaitu metil oleat dan trimetilolpropan sulit ditemukan di Indonesia, oleh karena itu bahan baku tersebut perlu diimpor dari luar negeri. Metil oleat dan trimetilolpropan akan diimpor dari China. Pabrik *Biolubricant* ini direncanakan akan didirikan di Kabupaten Karawang, sehingga lebih memudahkan dalam proses pengiriman bahan baku karena wilayah tersebut dekat dengan Pelabuhan Tanjung Priok yang merupakan pelabuhan terbesar di Indonesia yang berfungsi sebagai pintu gerbang arus keluar masuk barang ekspor-impor.

4.1.2 Pemasaran Produk

Biolubricant yang dihasilkan merupakan salah satu produk untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri, dimana salah satunya sebagai pelumas di berbagai industri khususnya industri otomotif dan elektronik. Lokasi pabrik ini direncanakan akan dibangun di kawasan Karawang International Industrial City (KIIC), yaitu kawasan dengan industri-industri yang membutuhkan pelumas sebagai bahan baku utama maupun bahan pendukung. Sehingga Kabupaten Karawang, Jawa Barat merupakan lokasi yang cukup strategis dalam pemasaran produk karena terletak di kawasan industri-industri besar.

4.1.3 Penyediaan Utilitas

Utilitas merupakan hal penting yang berperan sebagai sarana yang dapat menunjang proses produksi. Sarana utilitas antara lain yaitu air, listrik, bahan bakar, dan lain-lain. Oleh karena itu, lokasi pabrik yang dekat dengan ketersediaan sarana utilitas yang baik sangat menguntungkan. Pada pabrik *Biolubricant* ini, air diperoleh dari Sungai Citarum. Kebutuhan listrik diperoleh dari Perusahaan Listrik Negara (PLN) dan generator sebagai cadangan. Kebutuhan bahan bakar diperoleh dari PT. Pertamina.

4.1.4 Transportasi

Sarana transportasi menjadi salah satu hal penting dalam pemilihan lokasi pabrik yang diperlukan untuk penyediaan bahan baku, pendistribusian maupun pemasaran produk. Pembelian bahan baku dan pendistribusian produk dapat melalui jalur darat dan jalur laut. Berdasarkan letak geografis, daerah Karawang cukup strategis karena dilengkapi dengan sarana transportasi memadai baik transportasi darat yang dapat menghubungkan berbagai kota di Pulau Jawa serta transportasi laut dimana Karawang juga dekat dengan Pelabuhan Tanjung Priok di Jakarta Utara sehingga dapat memudahkan pendistribusian bahan baku maupun produk.

4.1.5 Kondisi Masyarakat

Kondisi masyarakat diperkirakan akan mendukung pendirian pabrik *Biolubricant* ini karena akan menjamin tersedianya lapangan kerja baru bagi

masyarakat sekitar. Selain itu, pabrik ini diperkirakan tidak akan mengganggu keselamatan dan keamanan masyarakat disekitarnya

4.2 Tata Letak Pabrik (*Plant Layout*)

Tata letak pabrik atau *plant layout* adalah bagian perencanaan dan pengintegrasian aliran dari komponen-komponen produksi dari suatu pabrik. Bagian ini merupakan bagian yang penting untuk mendapatkan keselamatan dan efektivitas antara operator, peralatan, dan material dari bahan baku menjadi suatu produk. Dalam penentuan tata letak ada beberapa hal yang harus diperhatikan, diantaranya: penyusunan alat proses harus saling berurutan berdasarkan urutan kerja dan fungsinya, kemudahan dalam keselamatan kerja, serta kondisi operasi dari masing-masing alat. Untuk alat proses dengan suhu dan tekanan yang tinggi letaknya harus terpisah dapat mudah dijangkau oleh tim darurat. Secara garis besar, tata letak pabrik dibagi menjadi beberapa bagian utama sebagai berikut:

4.2.1 Perkantoran/Administrasi

Daerah perkantoran merupakan pusat kegiatan administrasi dan keuangan pabrik, urusan dengan pihak luar dan pihak dalam pabrik.

4.2.2 Proses

Daerah proses merupakan tempat berlangsungnya kegiatan operasional produksi. Bagian ini meliputi tempat penyimpanan bahan baku dan produk, penempatan alat proses serta ruang pengendalian.

4.2.3 Fasilitas Umum

Daerah ini merupakan pusat fasilitas yang dapat digunakan oleh karyawan. Fasilitas umum ini meliputi perumahan, poliklinik, kantin, area parkir, tempat ibadah, taman, dan sebagainya.

4.2.4 Perluasan Pabrik

Area perluasan di dalam suatu pabrik perlu diperhatikan dalam alasan mengantisipasi kemungkinan adanya peningkatan kapasitas produksi dimasa yang akan datang. Oleh karena itu perlu dipertimbangkan penyediaan lahan kosong sebagai antisipasi.

4.2.5 Harga Tanah

Harga tanah merupakan faktor yang membatasi kemampuan penyediaan awal. Harga tanah ini perlu dikaitkan dengan rencana jangka panjang. Apabila harga tanah tinggi, maka diperlukan efisiensi yang tinggi terhadap pemanfaatan tanah.

4.2.6 Kualitas, Kuantitas dan Letak Bangunan

Kualitas, kuantitas, dan letak bangunan harus memenuhi standar bangunan pabrik berupa kekuatan fisik maupun kelengkapannya. Keteraturan dalam penempatan bangunan akan membantu dalam kemudahan kerja serta perawatan alat.

4.2.7 Faktor Keamanan

Faktor keamanan memegang peranan paling penting dalam perancangan pabrik. Pabrik harus dilengkapi dengan peralatan keamanan seperti hidran, penahan ledakan, dan asuransi. Selain itu tetap harus dilakukan langkah pencegahan dalam situasi bahaya, misalnya tangki bahan baku, produk, dan bahan bakar harus ditempatkan di area khusus dengan jarak yang cukup sehingga dapat meminimalisir potensi bahaya.

4.2.8 Pengolahan Limbah

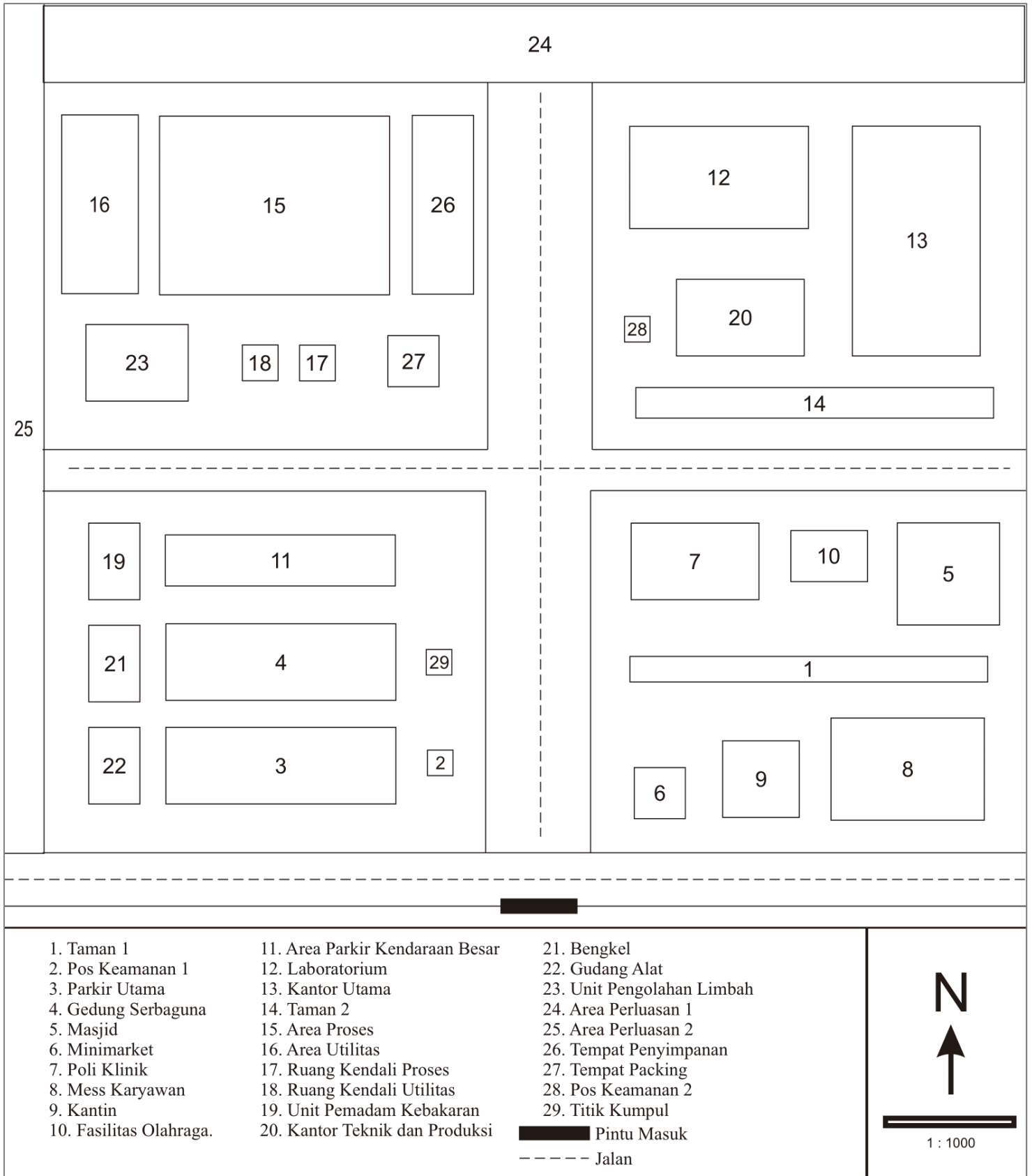
Pendirian suatu pabrik harus memperhatikan kelestarian lingkungan. Oleh karena itu diperlukan suatu daerah khusus yang digunakan sebagai tempat pengolahan limbah agar tidak merusak lingkungan sekitar. Pada pengolahan limbah, limbah produksi akan mengalami proses pengujian dan pengolahan lebih lanjut hingga sampai pada suatu batas komponen berbahaya yang diizinkan. Apabila limbah sudah memenuhi kriteria limbah dapat dibuang ke lingkungan.

Rincian luas pabrik yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan tata letak pabrik (*plant layout*) dapat dilihat pada Gambar 4.2.

Tabel 4.1 Rincian Luas Area Pabrik

| No | Lokasi | Tanah | | | Bangunan | | |
|----|------------------|-------------|-----------|------------------------|-------------|-----------|------------------------|
| | | Panjang (m) | Lebar (m) | Luas (m ²) | Panjang (m) | Lebar (m) | Luas (m ²) |
| 1 | Taman 1 | 70 | 5 | 350 | | | |
| 2 | Pos keamanan 1 | | | | 5 | 5 | 25 |
| 3 | Parkir utama | 45 | 15 | 675 | | | |
| 4 | Gedung serbaguna | | | | 45 | 15 | 675 |
| 5 | Masjid | | | | 20 | 20 | 400 |
| 6 | Minimarket | | | | 10 | 10 | 100 |

| No | Lokasi | Tanah | | | Bangunan | | |
|----|----------------------------|-------------|------------|------------------------|-------------|-----------|------------------------|
| | | Panjang (m) | Lebar (m) | Luas (m ²) | Panjang (m) | Lebar (m) | Luas (m ²) |
| 7 | Poliklinik | | | | 25 | 15 | 375 |
| 8 | Mess karyawan | | | | 30 | 20 | 600 |
| 9 | Kantin | | | | 15 | 15 | 225 |
| 10 | Fasilitas olahraga | | | | 15 | 10 | 150 |
| 11 | Area parkir truk | 45 | 10 | 450 | | | |
| 12 | Laboratorium | | | | 35 | 20 | 700 |
| 13 | Kantor utama | | | | 45 | 20 | 900 |
| 14 | Taman 2 | 70 | 6 | 420 | | | |
| 15 | Area proses | | | | 50 | 30 | 1.500 |
| 16 | Area Utilitas | | | | 25 | 12 | 300 |
| 17 | Ruang kendali proses | | | | 7 | 7 | 49 |
| 18 | Ruang kendali utilitas | | | | 7 | 7 | 49 |
| 19 | Unit pemadam kebakaran | | | | 15 | 10 | 150 |
| 20 | Kantor teknik dan produksi | | | | 25 | 15 | 375 |
| 21 | Bengkel | | | | 15 | 10 | 150 |
| 22 | Gudang alat | | | | 15 | 10 | 150 |
| 23 | Unit pengolahan limbah | | | | 20 | 15 | 300 |
| 24 | Area perluasan 1 | 190 | 15 | 2.850 | | | |
| 25 | Area perluasan 2 | 165 | 10 | 1.650 | | | |
| 26 | Tempat penyimpanan | | | | 35 | 12 | 420 |
| 27 | Tempat packing | | | | 10 | 10 | 100 |
| 28 | Pos keamanan 2 | | | | 5 | 5 | 25 |
| 29 | Titik Kumpul | 5 | 5 | 25 | | | |
| | Ukuran Tanah | 200 | 175 | 35.000 | | | |
| | Luas bangunan | | | | | | 7.718 |



Gambar 4.2 Layout Pabrik *Biolubricant*

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

Tata letak mesin atau alat proses merupakan suatu pengaturan yang maksimum dari komponen-komponen fasilitas pabrik. Perancangan tata letak alat proses optimum dapat menguntungkan secara ekonomi karena dapat meminimalisir biaya konstruksi dan kegiatan operasional produksi dapat berjalan efisien. Selain itu, hal ini menjadi penting karena berkaitan dengan keamanan, keselamatan dan kenyamanan karyawan selama bekerja. Dalam perancangan tata letak peralatan proses pada pabrik harus memperhatikan beberapa hal, antara lain:

4.3.1 Aliran Bahan Baku dan Produk

Jalur aliran bahan baku dan produk yang tepat akan memberikan keuntungan ekonomis yang besar, serta dapat menunjang kelancaran dan keamanan produksi.

4.3.2 Aliran Udara

Sirkulasi udara di dalam dan sekitar area proses harus dipastikan kelancarannya. Sirkulasi udara yang lancar diperlukan untuk menghindari terjadinya stagnasi udara pada suatu tempat yang berupa penumpukan atau akumulasi bahan kimia berbahaya yang dapat membahayakan keselamatan karyawan.

4.3.3 Pencahayaan

Pencahayaan di seluruh area pabrik harus memadai terutama pada malam hari karena pabrik bekerja selama 24 jam sehari. Selain itu, pada tempat-tempat

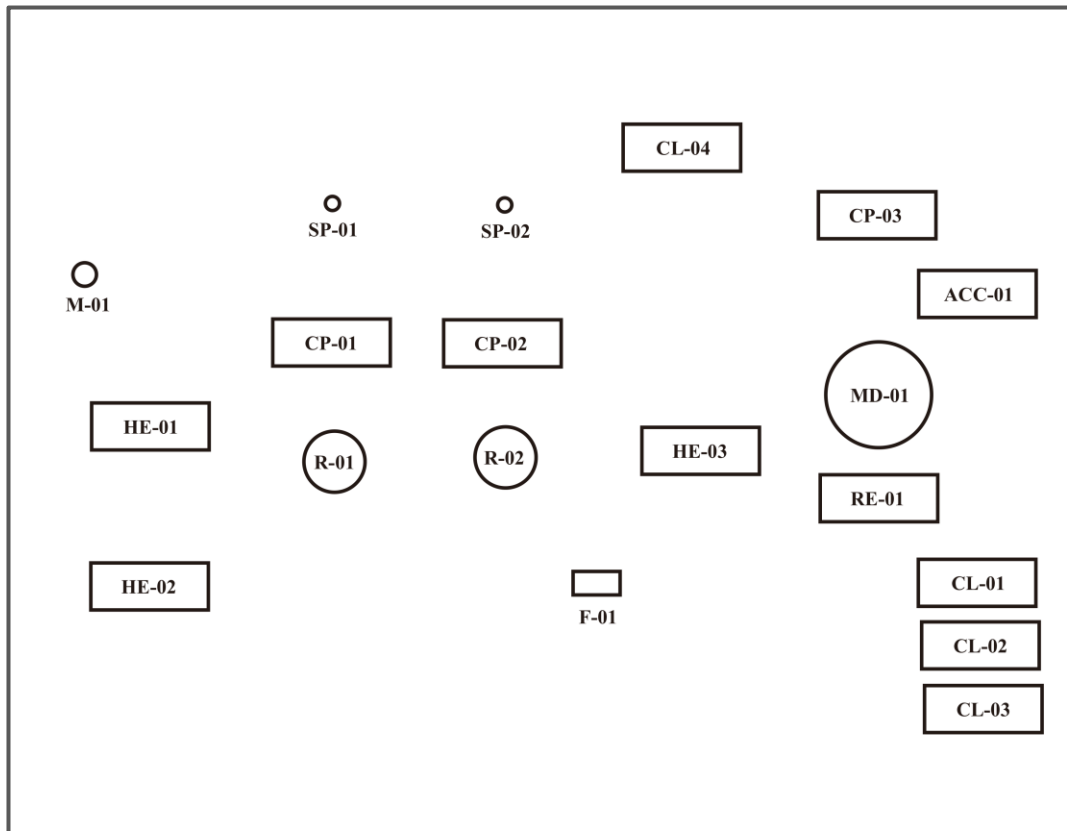
tertentu dimana terdapat alat-alat proses yang mempunyai risiko akan bahaya yang tinggi perlu diberikan penerangan tambahan.

4.3.4 Lalu Lintas Manusia dan Kendaraan

Lalu lintas manusia dan kendaraan di area proses juga harus menjadi perhatian termasuk jarak antar alat, lebar jalan dan kemudahan akses bagi karyawan untuk mencapai alat-alat proses. Hal ini dilakukan agar apabila terjadi gangguan pada alat, karyawan dapat dengan cepat memperbaiki sehingga dapat meminimalisir potensi bahaya yang dapat ditimbulkan.

4.3.5 Jarak Antar Alat Proses

Dalam penyusunan alat proses, jarak antar alat proses harus diperhitungkan dengan cermat, terutama pada alat yang beroperasi dan bersuhu tinggi. Penyusunan alat proses harus saling berurutan berdasarkan urutan kerja dan fungsinya, Untuk alat proses yang beroperasi pada suhu dan tekanan tinggi ditempatkan terpisah dari alat proses lainnya serta harus mudah dijangkau oleh pemadam kebakaran. Setiap alat harus ditempatkan di tempat yang cukup, sehingga mudah untuk pemeriksaan, perbaikan, dan pemindahan alat guna menjamin keselamatan kerja. Pengaturan alat kontrol dilakukan pada ruang kendali (*control room*). Tata letak mesin (*machines layout*) untuk pabrik *Biolubricant* ini dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Layout Mesin Pabrik *Biolubricant*

4.4 Organisasi Perusahaan

Dalam mendirikan perusahaan, salah satu faktor yang menunjang kemajuan sebuah perusahaan adalah struktur organisasi, karena berhubungan dengan kelancaran komunikasi yang akan mempengaruhi kinerja perusahaan. Tujuan struktur organisasi adalah untuk memperjelas dan mempertegas kedudukan suatu bagian dalam menjalankan tugas sehingga akan mempermudah untuk mencapai tujuan organisasi yang telah ditetapkan.

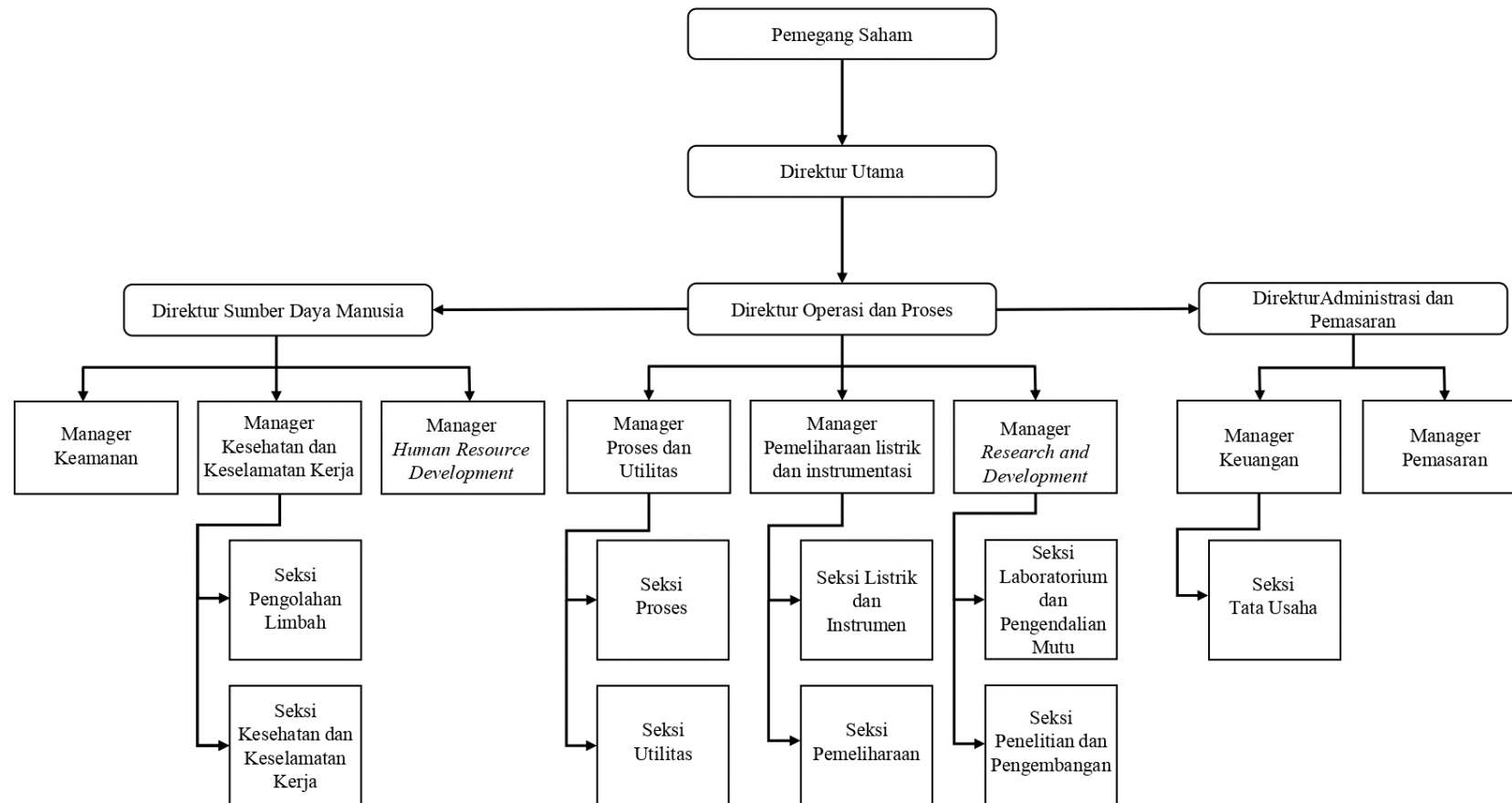
Struktur organisasi dari suatu perusahaan dapat bermacam-macam sesuai dengan bentuk dan kebutuhan dari masing-masing perusahaan. Salah satu sistem organisasi perusahaan yang dipilih adalah sistem garis dan staf atau “*line and staff*”

organization” pada sistem ini, garis kekuasaan lebih sederhana dan praktis pada pembagian tugas, dimana seorang karyawan hanya bertanggung jawab pada seorang atasan saja.

Kekuasaan mengalir secara langsung dari direksi kemudian ke kepala bagian/kepala department, diteruskan ke karyawan-karyawan di bawahnya dilengkapi dengan staf ahli yang bertugas memberi saran kepada direktur. Kelebihan pada sistem organisasi ini adalah sebagai berikut:

1. Adanya kesatuan dalam pimpinan dari perintah karena adanya pembagian kewenangan dan kekuasaan yang jelas
2. Pimpinan dapat lebih cepat mengambil keputusan dan lebih cepat dalam memberi perintah, karena perintah dapat diberikan langsung kepada bawahan yang bersangkutan.
3. Meminimalisir penggunaan biaya, sebab pimpinan kegiatan hanya dipegang satu orang saja

Struktur organisasi pabrik *Biolubricant* dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Struktur Organisasi Perusahaan

4.4.1 Tugas dan Wewenang

A. Dewan Komisaris

Dewan Komisaris dipilih oleh seluruh anggota pemegang saham melalui Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS). Biasanya anggota Dewan Komisaris adalah orang atau badan hukum yang memiliki saham mayoritas atau memiliki pengalaman dalam perusahaan. Anggota Dewan memiliki tanggung jawab kepada Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS) terhadap seluruh kegiatan yang dilakukan oleh perusahaan. Berikut adalah tugas dari Dewan Komisaris:

- a). Menunjuk dan membentuk jajaran direktur yang akan mengoperasikan perusahaan.
- b). Memutuskan tujuan dan kebijakan perusahaan berdasarkan rencana para pemegang saham.
- c). Melakukan pengontrolan kinerja pada jajaran direktur.
- d). Mengorganisasikan pelaksanaan Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS).

B. Direktur Utama

Direktur utama merupakan pimpinan tertinggi dalam perusahaan. Direktur utama bertanggung jawab kepada dewan komisaris terhadap segala kebijakan perusahaan yang telah diambil. Tugas direktur umum adalah sebagai berikut:

- a). Menjaga kestabilan organisasi perusahaan, sehingga komunikasi antara pemilik saham, pimpinan, karyawan, dan konsumen dapat berlangsung dengan baik.
- b). Mengangkat dan memberhentikan kepala bagian dengan persetujuan rapat pemegang saham.
- c). Mengkoordinasi kerja sama antara bagian operasi, sumber daya manusia, dan administrasi.

C. Direktur Sumber Daya Manusia

Direktur sumber daya manusia bertugas menjaga kualitas SDM dalam perusahaan melalui pelatihan kerja sehingga dapat tetap menjaga etos kerja dari setiap karyawan.

D. Direktur Operasi dan Proses

Direktur operasi dan proses dalam menjalankan tugasnya memiliki wewenang dalam merumuskan kebijaksanaan teknik dan operasi pabrik serta mengawasi kesinambungan operasional pabrik. Direktur Operasi dan Proses membawahi:

- a). Manager Proses dan Utilitas, memiliki wewenang untuk:
 - Menjalankan proses
 - Mengawasi persediaan bahan baku dan penyimpanan hasil produksi transportasi produk
 - Bertanggung jawab atas kelancaran fungsional dan utilitas
- b). Manager Pemeliharaan Listrik dan Instrumentasi, memiliki wewenang untuk:

- Mengawasi dan melaksanakan pemeliharaan peralatan pabrik serta menjaga keselamatan kerja
- Melakukan perbaikan serta mendukung kelancaran operasi
- Melakukan pengecekan terhadap instrumentasi kelistrikan

c). Manager RND, memiliki wewenang untuk:

- Melakukan pengecekan terhadap instrumentasi kelistrikan
- Melakukan percobaan terhadap material proses yang sudah selesai produksi untuk bisa didistribusikan ke pasaran

E. Direktur Administrasi dan Pemasaran

Direktur administrasi dan pemasaran dalam menjalankan tugasnya memiliki wewenang untuk merencanakan anggaran belanja dan pendapatan perusahaan serta melakukan pengawasan terhadap keuangan perusahaan. Direktur Administrasi dan pemasaran membawahi:

a). Manager Keuangan, memiliki wewenang untuk:

- Mengatur dan mengawasi setiap pengeluaran bagi penyediaan bahan baku dan pemasukan hasil penjualan produk
- Mengatur dan menyerahkan gaji karyawan
- Mengatur dan merencanakan anggaran belanja

b). Manager Pemasaran, memiliki wewenang untuk:

- Menentukan daerah pemasaran
- Menetapkan harga jual produk dan mempromosikan hasil produksi
- Meningkatkan hubungan kerja sama dengan perusahaan lain

- Bertanggung jawab atas kelancaran transportasi dan hasil produksi umum

F. Seksi

Setiap seksi memiliki tugas dan wewenang dalam melaksanakan pekerjaan dalam lingkungan seksinya sesuai dengan rencana yang telah diatur oleh Kepala Bagian masing-masing. Setiap seksi bertanggung jawab kepada bagian yang menaunginya. Seksi-seksi tersebut terdiri dari:

a). Seksi Proses

Bertanggungjawab dalam melaksanakan dan memastikan kelancaran kegiatan produksi di pabrik.

b). Seksi Utilitas

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

c). Seksi Pemeliharaan dan Bengkel

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

d). Seksi Listrik dan Instrumentasi

Bertanggungjawab dalam memastikan ketersediaan energi listrik dan instrumentasi yang dibutuhkan agar proses produksi dapat berjalan dengan baik.

e). Seksi Penelitian dan Pengembangan

Bertanggung jawab dalam melaksanakan penelitian dan pengembangan perusahaan.

f). Seksi Laboratorium dan Pengendalian Mutu

Bertanggungjawab dalam melaksanakan pengendalian mutu bahan baku, bahan pembantu dan produk.

g). Seksi Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3)

Bertanggungjawab dalam memastikan kesehatan karyawan dan keluarga, serta menangani masalah keselamatan kerja di perusahaan.

h). Seksi Unit Pengolahan Limbah

Bertanggungjawab dalam melaksanakan pengolahan limbah hasil produksi.

i). Seksi Tata Usaha

Bertanggung jawab dalam mengurus kebijakan teknis dibidang administrasi, kesekretariatan, perencanaan dan pelaporan, perlengkapan serta aset perusahaan.

j). Seksi Personalia

Bertanggungjawab dalam melaksanakan kegiatan yang berhubungan dengan kepegawaian dan pengembangan sumber daya manusia.

k). Seksi Hubungan Masyarakat

Bertanggungjawab menyelenggarakan kegiatan yang berkaitan dengan relasi perusahaan dengan pemerintah, masyarakat dan industri-industri lain.

l). Seksi Keamanan

Bertanggungjawab dalam menyelenggarakan kegiatan yang berkaitan dengan mengawasi langsung masalah keamanan perusahaan.

4.4.2 Penggolongan Jabatan dan Jumlah Karyawan

A. Status Karyawan

Berdasarkan statusnya karyawan dibedakan menjadi beberapa golongan, antara lain:

a). Karyawan Tetap

Karyawan tetap merupakan karyawan yang diangkat dan diberhentikan dengan Surat Keputusan (SK) dari direksi dan mendapat gaji bulanan sesuai dengan kedudukan, keahlian dan masa kerjanya.

b). Karyawan Harian

Karyawan harian merupakan karyawan yang diangkat dan diberhentikan tanpa Surat Keputusan (SK) dari direksi dan mendapat gaji harian yang dibayar tiap akhir pekan.

c). Karyawan Borongan

Karyawan borongan merupakan karyawan yang bekerja di pabrik atau perusahaan jika diperlukan saja. Karyawan ini menerima gaji borongan untuk suatu pekerjaan yang telah disetujui.

B. Jumlah Karyawan

Jumlah karyawan harus disesuaikan secara tepat sehingga semua pekerjaan yang ada dapat diselesaikan dengan baik dan efisien. Jumlah karyawan pada setiap posisi tergantung pada kebutuhan.

a). Jumlah Karyawan *Non-Shift*

Rincian jumlah karyawan *non-shift* dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Karyawan *Non-Shift*

| Karyawan Non-Shift | | Jumlah Karyawan |
|---------------------------|---|------------------------|
| No./Angka | Jabatan | |
| A | Direktur Utama | 1 |
| 1 | Sekretaris Direktur Utama | 1 |
| 2 | Staf Direktur Utama | 1 |
| B | Direktur | |
| 1 | Direktur Operasi & Proses | 1 |
| 2 | Staf Direktur Operasi & Proses | 1 |
| 3 | Direktur Sumber Daya Manusia | 1 |
| 4 | Staf Sumber Daya Manusia | 1 |
| 5 | Direktur Administrasi dan Pemasaran | 1 |
| 6 | Staf Administrasi dan Pemasaran | 1 |
| C | Manager (Kepala Bagian) | |
| 1 | Manager Keamanan | 1 |
| 2 | Manager Kesehatan dan Keselamatan Kerja | 1 |
| 3 | Manager Human Resource and Development | 1 |
| 4 | Manager Proses dan Utilitas | 1 |
| 5 | Manager Peneliharaan Listrik dan Instrumentasi | 1 |
| 6 | Manager Research and Development | 1 |
| 7 | Manager Keuangan | 1 |
| 8 | Manager Pemasaran | 1 |
| D | Karyawan | |
| 1 | Karyawan Produksi | 20 |
| 2 | Karyawan Control Room | 6 |
| 3 | Karyawan Utilitas & Pengolahan limbah | 8 |
| 4 | Karyawan Perawatan Pabrik | 6 |
| 5 | Karyawan Quality Control | 7 |
| 6 | Karyawan Instrumentasi Listrik | 6 |
| 7 | Karyawan Penelitian Proses & Teknologi | 5 |
| 8 | Karyawan Laboratorium | 5 |
| 9 | Karyawan Keselamatan Kerja & Proteksi Kebakaran | 6 |
| 10 | Karyawan Keuangan | 4 |
| 11 | Karyawan Penjualan | 6 |
| 12 | Karyawan Pembelian | 5 |
| 13 | Karyawan Analisa Pasar | 3 |
| 14 | Karyawan Pelayanan Umum | 4 |

| Karyawan Non-Shift | | Jumlah Karyawan |
|---------------------------|---------------------------------|------------------------|
| No./Angka | Jabatan | |
| 15 | Karyawan Humas | 6 |
| 16 | Karyawan Gudang | 4 |
| 17 | Karyawan Personalia | 6 |
| 18 | Karyawan Pelatihan Tenaga Kerja | 2 |
| 19 | Karyawan Keamanan | 6 |
| 20 | Cleaning service | 8 |
| E | Medis | |
| 1 | Dokter | 3 |
| 2 | Suster | 5 |
| 3 | Driver | 5 |
| Jumlah Total | | 153 |

b). Jumlah Karyawan *Shift*

Penentuan jumlah karyawan shift dapat dilakukan dengan melihat jenis proses ataupun jumlah unit proses yang ada. Penentuan rincian jumlah karyawan proses dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Kebutuhan Operator per Alat proses

| No | Alat | Jumlah Unit | Jumlah (operator/unit/shift) | Jumlah (operator/shift) |
|--------------------|------------------|--------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| Alat Proses | | | | |
| 1 | Reaktor RATB | 2 | 0,3 | 0,6 |
| 2 | Mixer | 1 | 0,4 | 0,4 |
| 3 | Filter | 1 | 0,2 | 0,2 |
| 4 | Menara Distilasi | 1 | 0,5 | 0,5 |
| 5 | Separator | 3 | 0,2 | 0,6 |
| 6 | Tangki | 5 | 0,1 | 0,5 |
| 7 | Silo | 1 | 0,1 | 0,1 |
| 8 | Heat Exchanger | 8 | 0,1 | 0,8 |
| 9 | Conveyor | 1 | 0,1 | 0,1 |
| 10 | Pompa | 14 | 0,1 | 1,4 |
| 11 | Blower | 4 | 0,1 | 0,4 |
| 12 | Sparger | 2 | 0,1 | 0,2 |

| No | Alat | Jumlah Unit | Jumlah (operator/unit/shift) | Jumlah (operator/shift) |
|-----------------|-----------------|-------------|------------------------------|-------------------------|
| 13 | Expansion Valve | 2 | 0,1 | 0,2 |
| Total | | | | 6 |
| Utilitas | | | | |
| 1 | Pompa | 10 | 0,2 | 2 |
| 2 | Tangki | 12 | 0,1 | 1,2 |
| 3 | Cooling Tower | 1 | 0,5 | 0,5 |
| 4 | Clarifier | 1 | 0,2 | 0,2 |
| 5 | Sand Filter | 1 | 0,3 | 0,3 |
| 6 | Boiler | 2 | 0,4 | 0,8 |
| Total | | | | 5 |

Jumlah operator untuk peralatan proses adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Jumlah operator} &= 11 \times 3 \text{ shift} \\ &= 33 \text{ orang} \end{aligned}$$

Jadi total pekerja di Pabrik *Biolubricant* berjumlah 186 orang.

4.4.3 Jadwal Kerja dan Sistem Gaji Karyawan

A. Pembagian Jam Kerja

Pabrik *Biolubricant* ini direncanakan memiliki pekerja sebanyak 186 orang dan beroperasi selama 24 jam sehari secara kontinyu. Jumlah hari kerja 330 hari selama setahun, sisa hari yang lain digunakan untuk perawatan dan perbaikan.

Catatan hari kerja dan hari libur karyawan:

- a). Cuti tahunan karyawan mempunyai hak cuti tahunan selama 12 hari setiap tahun. Bila dalam waktu 1 tahun hak cuti tersebut tidak dipergunakan maka hak tersebut akan hilang untuk tahun ini.

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

c). Kerja lembur (*Overtime*), kerja lembur dapat dilakukan apabila ada keperluan yang mendesak dan atas persetujuan kepala bagian. Dalam kerjanya, karyawan dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. Karyawan *Non-Shift*

Karyawan *non-shift* merupakan karyawan yang tidak menangani secara langsung proses produksi. Karyawan *non-shift* meliputi direktur, manager, kepala bagian, dan semua karyawan bagian umum. Jam kerja yang berlaku untuk karyawan *non-shift* dalam seminggu adalah 5 hari dengan jumlah kerja maksimum 45 jam selama seminggu dan selebihnya dihitung sebagai lembur. Dimana lembur untuk hari-hari biasa adalah 2 kali jam kerja sedangkan pada hari-hari (hari libur) adalah 2 kali jam kerja. Adapun jam kerja untuk karyawan non produksi dapat diatur dengan perincian sebagai berikut:

Hari Senin-Jumat : jam 08.00 – 17.00 WIB

Hari sabtu : libur

Sedangkan untuk jam istirahat diatur sebagai berikut :

Selain hari jumat : jam 12.00-13.00 WIB

Hari jumat : jam 11.30-13.00 WIB

Hari minggu dan hari libur hari besar semua karyawan *non-shift* libur.

2. Karyawan *Shift*

Karyawan *shift* merupakan karyawan yang secara langsung menangani dan terlibat dalam proses produksi atau mengatur bagian-bagian tertentu dari pabrik yang mempunyai hubungan dengan masalah keamanan pabrik serta kelancaran produksi. Yang termasuk karyawan *shift* yaitu operator pada bagian produksi dan utilitas, bagian listrik dan instrumentasi, kepala *shift* dan satpam.

Sistem kerja bagi karyawan produksi diatur menurut pembagian *shift* dan dilakukan secara bergiliran. Hal ini dilakukan karena tempat-tempat pada proses produksi memerlukan kerja rutin selama 24 jam secara terus-menerus. Pembagian *shift* dilakukan dalam 4 regu, dimana 3 regu mendapat cuti selama 12 hari tiap tahunnya. Adapun jam kerja *shift* dalam 1 hari diatur dalam 3 *shift* yang dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Jadwal Kerja Shift

| Kelompok Kerja | Jam Kerja | Jam Istirahat |
|----------------|-------------|---------------|
| <i>Shift 1</i> | 06.30-14.30 | 10.30-11.30 |
| <i>Shift 2</i> | 14.30-22.30 | 18.30-19.30 |
| <i>Shift 3</i> | 22.30-06.30 | 02.30-03.30 |

Masing-masing *shift* dikepalai satu orang. Jadwal kerja masing-masing regu dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Jadwal Kerja Karyawan Shift

| Regu | Hari | | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|----|-----|-----|-----|-----|---|---|----|----|-----|-----|-----|-----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| A | I | I | II | II | III | III | | | I | I | II | II | III | III | |
| B | II | II | III | III | | | I | I | II | II | III | III | | | I |

| Regu | Hari | | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | C | III | III | | | I | I | II | II | III | III | | | I | I |
| D | | | I | I | III | II | III | III | | | I | I | II | II | III |
| Regu | Hari | | | | | | | | | | | | | | |
| | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| A | | I | I | II | II | III | III | | | I | I | II | II | III | III |
| B | I | II | II | III | III | | | I | I | II | II | III | III | | |
| C | II | III | III | | | I | I | II | II | III | III | | | I | I |
| D | III | | | I | I | II | II | III | III | | | I | I | II | II |

Keterangan:

1,2,3 dst... : Hari ke-

A, B, C dan D : Regu kerja

I, II, III : *Shift* ke-

 : Libur

B. Sistem Gaji Karyawan

Sistem pembagian besarnya gaji pada perusahaan ini didasarkan atas ketentuan jabatan atau golongan, tingkat pendidikan, pengalaman kerja, dan lingkungan yang berkaitan dengan risiko kerja. Pembagian gaji terbagi menjadi tiga jenis, yaitu:

a). Gaji Bulanan

Gaji bulanan merupakan gaji yang diberikan kepada karyawan tetap dengan jumlah sesuai peraturan perusahaan dan dibayarkan pada tanggal 1 setiap bulannya.

b). Gaji Harian

Gaji harian merupakan gaji yang diberikan kepada karyawan tidak tetap atau buruh harian dan karyawan borongan.

c). Gaji Lembur

Gaji harian merupakan gaji yang diberikan kepada karyawan tidak tetap atau buruh harian dan karyawan borongan.

Rincian gaji setiap karyawan pada setiap jabatan dapat dilihat pada Tabel

4.6.

Tabel 4.6 Gaji Karyawan

| No | Jabatan | Jumlah | Gaji/Orang/Bulan | Gaji/Bulan | Gaji/Pertahun |
|----|--|--------|------------------|---------------|-----------------|
| 1 | Direktur Utama | 1 | Rp60.000.000 | Rp60.000.000 | Rp720.000.000 |
| 2 | Sekretaris Direktur Utama | 1 | Rp40.000.000 | Rp40.000.000 | Rp480.000.000 |
| 3 | Staff Direktur Utama | 1 | Rp20.000.000 | Rp20.000.000 | Rp240.000.000 |
| 4 | Direktur Operasi & Proses | 1 | Rp30.000.000 | Rp30.000.000 | Rp360.000.000 |
| 5 | Staff Direktur Operasi & Proses | 1 | Rp18.000.000 | Rp18.000.000 | Rp216.000.000 |
| 6 | Direktur Sumber Daya Manusia | 1 | Rp30.000.000 | Rp30.000.000 | Rp360.000.000 |
| 7 | Staff Sumber Daya Manusia | 1 | Rp18.000.000 | Rp18.000.000 | Rp216.000.000 |
| 8 | Direktur Administrasi dan Pemasaran | 1 | Rp30.000.000 | Rp30.000.000 | Rp360.000.000 |
| 9 | Staff Administrasi dan Pemasaran | 1 | Rp18.000.000 | Rp18.000.000 | Rp216.000.000 |
| 10 | Manager Keamanan | 1 | Rp20.000.000 | Rp20.000.000 | Rp240.000.000 |
| 11 | Manager Kesehatan dan Keselamatan Kerja | 1 | Rp20.000.000 | Rp20.000.000 | Rp240.000.000 |
| 12 | Manager Human Resource and Development | 1 | Rp20.000.000 | Rp20.000.000 | Rp240.000.000 |
| 13 | Manager Proses dan Utilitas | 1 | Rp20.000.000 | Rp20.000.000 | Rp240.000.000 |
| 14 | Manager Peneliharaan Listrik dan Instrumentasi | 1 | Rp20.000.000 | Rp20.000.000 | Rp240.000.000 |
| 15 | Manager Research and Development | 1 | Rp20.000.000 | Rp20.000.000 | Rp240.000.000 |
| 16 | Manager Keuangan | 1 | Rp20.000.000 | Rp20.000.000 | Rp240.000.000 |
| 17 | Manager Pemasaran | 1 | Rp20.000.000 | Rp20.000.000 | Rp240.000.000 |
| 18 | Karyawan Produksi | 20 | Rp16.000.000 | Rp320.000.000 | Rp3.840.000.000 |

| No | Jabatan | Jumlah | Gaji/Orang/Bulan | Gaji/Bulan | Gaji/Pertahun |
|--------------|---|------------|----------------------|------------------------|-------------------------|
| 19 | Karyawan Control Room | 6 | Rp15.500.000 | Rp93.000.000 | Rp1.116.000.000 |
| 20 | Karyawan Utilitas & Pengolahan limbah | 8 | Rp14.000.000 | Rp112.000.000 | Rp1.344.000.000 |
| 21 | Karyawan Perawatan Pabrik | 6 | Rp14.000.000 | Rp84.000.000 | Rp1.008.000.000 |
| 22 | Karyawan Quality Control | 7 | Rp14.000.000 | Rp98.000.000 | Rp1.176.000.000 |
| 23 | Karyawan Instrumentasi Listrik | 6 | Rp14.000.000 | Rp84.000.000 | Rp1.008.000.000 |
| 24 | Karyawan Penelitian Proses & Teknologi | 5 | Rp16.000.000 | Rp80.000.000 | Rp960.000.000 |
| 25 | Karyawan Laboratorium | 5 | Rp14.000.000 | Rp70.000.000 | Rp840.000.000 |
| 26 | Karyawan Keselamatan Kerja & Proteksi Kebakaran | 6 | Rp15.000.000 | Rp90.000.000 | Rp1.080.000.000 |
| 27 | Karyawan Keuangan | 4 | Rp12.000.000 | Rp48.000.000 | Rp576.000.000 |
| 28 | Karyawan Penjualan | 6 | Rp12.000.000 | Rp72.000.000 | Rp864.000.000 |
| 29 | Karyawan Pembelian | 5 | Rp12.000.000 | Rp60.000.000 | Rp720.000.000 |
| 30 | Karyawan Analisa Pasar | 3 | Rp12.000.000 | Rp36.000.000 | Rp432.000.000 |
| 31 | Karyawan Pelayanan Umum | 4 | Rp12.000.000 | Rp48.000.000 | Rp576.000.000 |
| 32 | Karyawan Humas | 6 | Rp12.000.000 | Rp72.000.000 | Rp864.000.000 |
| 33 | Karyawan Gudang | 4 | Rp12.000.000 | Rp48.000.000 | Rp576.000.000 |
| 34 | Karyawan Personalia | 6 | Rp10.000.000 | Rp60.000.000 | Rp720.000.000 |
| 35 | Karyawan Pelatihan Tenaga Kerja | 2 | Rp10.000.000 | Rp20.000.000 | Rp240.000.000 |
| 36 | Karyawan Keamanan | 6 | Rp10.000.000 | Rp60.000.000 | Rp720.000.000 |
| 37 | Operator | 33 | Rp10.000.000 | Rp330.000.000 | Rp3.960.000.000 |
| 38 | Cleaning service | 8 | Rp6.500.000 | Rp52.000.000 | Rp624.000.000 |
| 39 | Dokter | 3 | Rp12.000.000 | Rp36.000.000 | Rp432.000.000 |
| 40 | Suster | 5 | Rp9.000.000 | Rp45.000.000 | Rp540.000.000 |
| 41 | Driver | 5 | Rp7.000.000 | Rp35.000.000 | Rp420.000.000 |
| Total | | 186 | Rp715.000.000 | Rp2.477.000.000 | Rp29.724.000.000 |

BAB V

UTILITAS

Utilitas merupakan unit pendukung berlangsungnya proses produksi dan sarana lain pada pabrik. Unit utilitas merupakan sarana lain yang diperlukan selain bahan baku dan bahan pembantu agar proses produksi dapat berjalan sesuai yang diinginkan. Unit utilitas pada pabrik *Biolubricant* dari metil oleat dengan kapasitas 10.806 ton/tahun ini terbagi atas beberapa unit sebagai berikut:

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 Penyediaan Udara Tekan (*Instrument Air System*)
5. Unit Penyediaan Bahan Bakar
6. Unit Pengolahan Limbah
7. Unit Pengolahan *Coolant*

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

Unit penyediaan dan pengolahan air bertugas menyediakan dan mengolah air bersih yang akan digunakan untuk memenuhi kebutuhan air pada pabrik.

5.1.1 Unit Penyediaan Air

Pada unit ini terjadi proses pengolahan air baku menjadi air bersih, karena air yang berasal dari alam masih banyak mengandung kotoran (*impurities*) yang dapat menyebabkan kerak (*fouling*). *Impurities* yang terkandung dalam air ini

terdiri dari *suspended solid* yaitu *impurities* yang tidak terlarut dan diproses pada proses klarifikasi serta *dissolved solid* yaitu *impurities* yang terlarut dan diproses pada proses demineralisasi. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengolahan air baku baik secara fisik maupun kimia. Air baku yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan pabrik *Biolubricant* ini berasal dari Sungai Citarum. Beberapa pertimbangan dalam menggunakan air sungai sebagai sumber untuk mendapatkan air adalah sebagai berikut:

- Air sungai merupakan sumber air yang kontinuitasnya relatif tinggi, sehingga kendala kekurangan air dapat dihindari.
- Pengolahan air sungai relatif lebih mudah, sederhana, dan biaya pengolahannya lebih murah dibandingkan dengan air laut yang pengolahannya lebih rumit dan biayanya lebih besar. Secara umum, kebutuhan air pada pabrik *Biolubricant* ini digunakan untuk keperluan sebagai berikut:

a). Air Domestik (*Domestic Water*)

Air domestik adalah air yang akan digunakan untuk keperluan domestik berupa perumahan, perkantoran, laboratorium, dan tempat ibadah. Berdasarkan standar WHO, kebutuhan air per orang berkisar antara 100-120 liter per hari. Untuk suatu pabrik atau kantor, kebutuhan air untuk satu orang sebesar 100 liter per hari. Rincian kebutuhan air domestik pada pabrik *Biolubricant* meliputi:

- Air untuk Penggunaan Kantor

Kebutuhan air di kantor dalam sehari = 100 liter/orang

Jumlah karyawan kantor = 186 orang

Antisipasi desain dilebihkan 20% = 223 orang

Total penggunaan air di kantor = 22.320 kg/hari
 = 930 kg/jam

- Air untuk Perumahan

Jumlah rumah = 30 unit

Jumlah orang per rumah = 4 orang

Kebutuhan air dalam sehari = 100 liter/orang

Total penggunaan air di perumahan = 12.000 kg/hari
 = 500 kg/jam

- Air untuk Penggunaan Lingkungan

Kebutuhan air untuk lingkungan = 120 liter/hari

Rincian kebutuhan air untuk lingkungan dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Kebutuhan Air untuk Lingkungan

| No | Keterangan | Kebutuhan air (kg/jam) |
|--------------|------------|------------------------|
| 1 | Hidran | 1,67 |
| 2 | Taman | 1,67 |
| 3 | Lain-lain | 1,67 |
| Total | | 5,01 |

Sehingga total kebutuhan air dapat dilihat pada Tabel 5.2

Tabel 5.2 Kebutuhan Air Domestik

| No | Keterangan | Kebutuhan air (kg/jam) |
|--------------|------------|------------------------|
| 1 | Kantor | 525 |
| 2 | Perumahan | 500 |
| 3 | Lingkungan | 5 |
| Total | | 10.030 |

b). Air Layanan Umum (*Service Water*)

Air yang digunakan untuk servis, biasanya digunakan untuk kebutuhan pelayanan terhadap penduduk yang tinggal di sekitar pabrik. *Service water* ini

biasa digunakan untuk *supply* pada bengkel, poliklinik, laboratorium, pemadam kebakaran, serta fasilitas umum berupa kantin dan masjid. Rincian kebutuhan air untuk *service water* meliputi:

- Bengkel = 150 kg/hari
= 6,25 kg/jam
- Poliklinik = 300 kg/hari
= 12,50 kg/jam
- Laboratorium = 500 kg/hari
= 20,83 kg/jam
- Pemadam kebakaran = 1.500 kg/hari
= 62,50 kg/jam
- Kantin dan masjid = 2.550 kg/hari
= 106,25 kg/hari

Sehingga total kebutuhan air untuk penggunaan umum dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Kebutuhan Service Water

| No | Keterangan | Kebutuhan air (kg/jam) |
|--------------|-------------------|------------------------|
| 1 | Bengkel | 6,25 |
| 2 | Poliklinik | 12,50 |
| 3 | Laboratorium | 20,83 |
| 4 | Pemadam Kebakaran | 62,50 |
| 5 | Kantin dan Masjid | 106,25 |
| Total | | 208,33 |

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

Air umpan boiler merupakan air yang digunakan untuk menghasilkan *steam* yang digunakan untuk menunjang kelangsungan proses produksi. Steam

yang digunakan dalam proses ini terbagi menjadi dua suhu, yaitu suhu 250 °C dan 500 °C. Kebutuhan *steam* untuk peralatan pada pabrik *Biolubricant* ini dapat dilihat pada Tabel 5.4 dan Tabel 5.5.

Tabel 5.4 Kebutuhan Steam Saturated Steam

| No | Nama Alat | Kebutuhan (kg/jam) |
|--------------|-----------------------|--------------------|
| 1 | <i>Heater</i> (HE-01) | 978 |
| 2 | <i>Heater</i> (HE-02) | 1.330 |
| 3 | <i>Heater</i> (HE-03) | 693 |
| 4 | <i>Heater</i> (HE-04) | 693 |
| 5 | <i>Heater</i> (HE-05) | 2.950 |
| 6 | Reaktor (R-01) | 1.254 |
| 7 | Reaktor (R-02) | 262 |
| | Sub total | 8.160 |
| | <i>Overdesign</i> 20% | 1.632 |
| | <i>Makeup</i> | 326 |
| Total | | 10.119 |

Tabel 5.5 Kebutuhan Steam Superheated Steam

| No | Nama Alat | Kebutuhan (kg/jam) |
|--------------|-------------------------|--------------------|
| 1 | <i>Reboiler</i> (RE-01) | 10.051 |
| | <i>Overdesign</i> 20% | 2.010 |
| | <i>Makeup</i> | 402 |
| Total | | 12.463 |

d). Air Pendingin (*Cooling Water*)

Air pendingin merupakan air yang digunakan sebagai media pendingin pada proses produksi. Kebutuhan air pendingin untuk peralatan pada pabrik *Biolubricant* ini dapat dilihat pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Kebutuhan Air Pendingin

| No | Nama Alat | Kebutuhan air (kg/jam) |
|----|---------------------------|------------------------|
| 1 | Kondensor Parsial (CP-01) | 2.855 |

| No | Nama Alat | Kebutuhan air (kg/jam) |
|--------------|---------------------------|------------------------|
| 2 | Kondensor Parsial (CP-02) | 2.889 |
| 4 | Kondensor Parsial (CP-03) | 12.523 |
| 5 | Cooler (CL-03) | 3.514 |
| 6 | Cooler (CL-04) | 1.063 |
| | Sub total | 22.845 |
| | Overdesign 20% | 27.414 |
| | Makeup | 699 |
| Total | | 28.113 |

Sehingga total kebutuhan air pada pabrik *Biolubricant* dapat dilihat pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Total Kebutuhan Air

| No | Keperluan | Jumlah (kg/jam) |
|--------------|------------------|-----------------|
| 1 | Air Domestik | 1.435 |
| 2 | Layanan Umum | 208 |
| 3 | Makeup Boiler | 728 |
| 4 | Makeup Pendingin | 1.213 |
| Total | | 3.585 |

5.1.2 Unit Pengolahan Air

Tujuan pengolahan air ini adalah untuk menghasilkan air yang dapat digunakan baik untuk menunjang proses produksi maupun kebutuhan-kebutuhan lainnya di seluruh area pabrik. Air baku dari Sungai Citarum harus diolah terlebih dahulu baik secara fisik maupun kimia agar dapat digunakan. Beberapa tahapan pengolahan air pada pabrik *Biolubricant* ini adalah sebagai berikut:

a). Penghisapan

Penghisapan merupakan tahap pertama dari pengolahan air. Penghisapan dilakukan dengan mengambil air sungai menggunakan pompa. Kemudian air akan dialirkan menuju penyaring (*screener*).

b). Penyaringan (*Screening*)

Screening merupakan proses pemisahan kotoran-kotoran berukuran besar seperti ranting, daun, dan sampah-sampah lainnya tanpa menggunakan bahan kimia. Sedangkan kotoran-kotoran yang lebih kecil masih terikut dengan aliran air dan akan dipisahkan pada tahapan selanjutnya.

c). Pengendapan Awal (*Sedimentation*)

Setelah melewati proses penyaringan, air akan melalui proses sedimentasi, dimana proses ini merupakan proses pemisahan kotoran dengan memanfaatkan gaya gravitasi. Pada proses ini, kotoran-kotoran kecil yang tidak tersaring pada proses penyaringan sebelumnya seperti lumpur dan pasir akan mengendap pada bagian bawah bak karena adanya gaya gravitasi.

d). Bak Penggumpal

Pada bak penggumpal terjadi proses koagulasi. Proses ini merupakan proses penggumpalan yang disebabkan karena adanya penambahan zat kimia yang disebut koagulan ke dalam air sehingga menyebabkan partikel-partikel tersebut akan menjadi lebih stabil atau netral dan membentuk endapan. Pada pabrik *Biolubricant* ini digunakan koagulan jenis tawas atau aluminium sulfat ($Al_2(SO_4)_3$)

e). Bak Pengendap I dan II

Air yang telah menggumpal dari proses sebelumnya akan mengalami proses flokulasi sehingga membentuk flok-flok. Flokulasi merupakan proses penggabungan flok-flok yang telah terbentuk pada proses koagulasi menjadi partikel yang lebih besar sehingga lebih mudah untuk mengendap. Pada proses flokulasi ini ditambahkan kapur yang berfungsi untuk menghilangkan kesadahan karbonat dalam air dan membuat suasana basa yang akan mempermudah penggumpalan. Selain itu ditambahkan juga soda caustic (NaOH) sebagai alkali untuk menjaga pH, sehingga pH pada outlet dijaga berkisar 6,5-7,5. Dengan begitu, proses flokulasi dapat berjalan lebih efektif.

f). *Sand Filter*

Setelah keluar dari bak koagulasi dan flokulasi, air kemudian dialirkan menuju *sand filter*. Di dalam *sand filter* ini, air akan mengalir dari bagian atas ke bawah melalui suatu media filter (*spheres*) yang akan menyaring partikel pengotor seperti *suspended solid*. Hasil keluaran dari *sand filter* memiliki kandungan *suspended solid* kurang dari 1 ppm dan pH 6,5-7,5. Air yang telah mengalami filtrasi akan ditampung di tangki penampung air bersih atau penampung sementara.

g). Tangki Penampung Air Bersih (*Filtered Water Storage Tank*)

Air bersih dari *sand filter* atau *filtered water* kemudian ditampung di dalam tangki penampungan sementara. Air bersih ini akan didistribusikan dan diolah lebih lanjut sehingga dapat digunakan sebagai air domestik (*domestic water*), air layanan umum (*service water*), air pendingin (*cooling water*), air umpan boiler (*boiler feed water*), dan air proses (*process water*).

h). Klorinasi

Agar dapat digunakan sebagai air minum pada perkantoran ataupun perumahan, air bersih harus melalui proses klorinasi. Proses ini merupakan proses penambahan klorin dalam bentuk kaporit pada air yang berfungsi untuk membunuh kuman, bakteri, jamur, serta mikroorganisme lainnya sehingga air layak dikonsumsi dan digunakan. Air yang telah mengalami proses klorinasi selanjutnya akan ditampung di dalam tangki penyimpanan air bersih.

i). *Cooling Tower*

Cooling tower adalah alat yang digunakan untuk menghasilkan air dingin yang dapat digunakan sebagai pendingin pada alat-alat proses. Proses yang terjadi pada *cooling tower* adalah pengolahan air panas menjadi air dingin menggunakan udara sebagai media pendinginnya. *Initial water* ke *cooling tower* berasal dari *filtered water storage tank* dengan suhu sekitar 45°C yang dialirkan ke atas *cooling tower* melalui distributor. Air akan mengalami evaporasi, sehingga air akan dialirkan ke bawah melalui lubang saluran (*swirl*). Bersamaan dengan proses ini, terjadi pelepasan panas laten, sehingga sebagian air akan menguap ke atmosfer. Untuk itu, dibutuhkan *make-up water* sebagai kompensasi terjadinya *evaporation loss*. *Make-up water* juga berasal dari *filtered water storage tank*. Air yang mengalami evaporasi di *cooling tower* akan sama jumlahnya dengan *flow make-up water* yang masuk, sehingga kesetimbangan perpindahan panas antara udara dan air akan tetap stabil. Suhu air yang telah melalui proses pendinginan akan turun menjadi 30°C.

j). Demineralisasi

Air yang digunakan sebagai air proses dan air umpan *boiler* untuk produksi *steam water* tidak cukup hanya air bersih saja, tetapi juga harus air murni yang terbebas dari kandungan mineral-mineral terlarut. Sehingga perlu dilakukan proses demineralisasi. Proses ini merupakan proses menghilangkan ion-ion terkandung pada air bersih dengan jalan penukaran ion. Proses demineralisasi terjadi pada alat-alat sebagai berikut:

1. Kation *Exchanger*

Kation *exchanger* merupakan unit yang berisi pengganti kation dimana pengganti kation-kation yang terkandung di dalam air diganti dengan ion H⁺ sehingga air yang akan keluar dari kation *exchanger* adalah air yang mengandung anion dan ion H⁺. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:

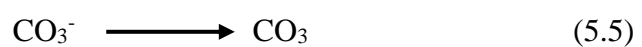


Dalam jangka waktu tertentu, kation resin ini akan jenuh sehingga perlu diregenerasikan kembali dengan asam klorida. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:

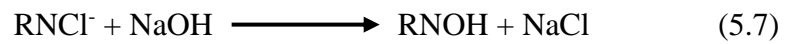


2. Anion *Exchanger*

Anion *exchanger* ini berfungsi untuk mengikat ion-ion negatif yang terlarut dalam air. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Dalam jangka waktu tertentu, kation resin ini akan jenuh sehingga perlu diregenerasikan kembali dengan larutan NaOH. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



3. Deaerator

Air proses dan air umpan *boiler* yang telah mengalami demineralisasi (*demin water*) pada kation *exchanger* dan anion *exchanger* akan mengalami proses deaerasi pada deaerator. Deaerasi adalah proses pembersihan air proses dan air umpan *boiler* dari gas-gas yang dapat menimbulkan korosi pada *boiler* seperti oksigen (O_2) dan karbon dioksida (CO_2). *Demin water* dipompakan menuju deaerator kemudian diinjeksikan bahan kimia berupa hidrazin (N_2H_4) yang berfungsi untuk mengikat oksigen (O_2) sehingga dapat mencegah terjadinya korosi pada *tube boiler*. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut.:



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

Unit ini bertujuan untuk mencukupi kebutuhan steam pada proses produksi, yaitu dengan menyediakan ketel uap (*boiler*). Pabrik *Biolubricant* akan menyediakan dua buah *boiler* dengan dua jenis *steam*, yaitu *saturated steam* dan *superheated steam*. Keduanya dioperasikan pada tekanan 101,3 kPa. Kapasitas *boiler* untuk *saturated steam* dapat dilihat pada Tabel 5.8 dan Kapasitas *boiler* untuk *superheated steam* dapat pada Tabel 5.9.

Tabel 5.8 Kapasitas Boiler Suhu 250 °C

| No | Nama Alat | Kebutuhan (kg/jam) |
|--------------|-----------------------|--------------------|
| 1 | <i>Heater</i> (HE-01) | 978 |
| 2 | <i>Heater</i> (HE-02) | 1.330 |
| 3 | <i>Heater</i> (HE-03) | 693 |
| 4 | <i>Heater</i> (HE-04) | 693 |
| 5 | <i>Heater</i> (HE-05) | 2.950 |
| 6 | Reaktor (R-01) | 1.254 |
| 7 | Reaktor (R-02) | 262 |
| | Sub total | 8.160 |
| | <i>Overdesign</i> 20% | 1.632 |
| | <i>Makeup</i> | 326 |
| Total | | 10.119 |

Tabel 5.9 Kapasitas Boiler Suhu 500 °C

| No | Nama Alat | Kebutuhan (kg/jam) |
|--------------|-------------------------|--------------------|
| 1 | <i>Reboiler</i> (RE-01) | 10.051 |
| | <i>Overdesign</i> 20% | 2.010 |
| | <i>Makeup</i> | 402 |
| Total | | 12.463 |

Boiler dilengkapi dengan sebuah unit *economizer safety valve system* 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 korosivitasnya tinggi. Sebelum masuk ke *boiler*, umpan dimasukkan dahulu ke dalam *economizer*, yaitu alat penukar panas yang memanfaatkan panas dari gas sisa pembakaran batubara yang keluar dari *boiler*. Di dalam alat ini air dinaikkan temperaturnya hingga 250°C dan 500°C, kemudian diumpankan ke boiler.

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

5.3 Unit Pembangkit Listrik (*Power Plant System*)

Sumber listrik utama yang digunakan pada pabrik *Biolubricant* ini berasal dari Perusahaan Listrik Negara (PLN). Namun, pabrik ini juga dilengkapi dengan pembangkit listrik tenaga mandiri yaitu sebuah generator. Generator ini berfungsi sebagai sumber listrik cadangan apabila sumber listrik utama dari PLN mengalami gangguan atau pemadaman secara tiba-tiba. Hal ini pasokan tenaga listrik dapat berlangsung kontinyu. Adapun generator yang digunakan adalah jenis generator diesel dengan arus bolak balik dengan kapasitas 198,33 kW. Generator jenis ini dipilih berdasarkan beberapa pertimbangan sebagai berikut:

1. Tenaga listrik yang dihasilkan cukup besar
2. Tegangan dapat dinaikan dan diturunkan sesuai kebutuhan

Rincian kebutuhan listrik pada pabrik *Biolubricant* ini adalah sebagai berikut:

a). Kebutuhan Listrik Alat Proses

Kebutuhan listrik alat proses dapat dilihat pada Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Kebutuhan Listrik Alat Proses

| Alat | Kode Alat | Daya | | |
|----------------|-----------|--------------|---------------|------|
| | | Hp | Watt | |
| Reaktor | R-01 | 10 | 7.457 | |
| | R-02 | 10 | 7.457 | |
| Mixer | M-01 | 0,05 | 37 | |
| Screw Conveyor | SC-01 | 0,005 | 4 | |
| Pompa | P-01 | 0,01 | 8 | |
| | P-02 | 0,02 | 15 | |
| | P-03 | 0,02 | 15 | |
| | P-04 | 0,05 | 37 | |
| | P-05 | 0,05 | 37 | |
| | P-06 | 0,1 | 75 | |
| | P-07 | 0,005 | 4 | |
| | P-08 | 0,1 | 75 | |
| | P-09 | 0,2 | 4 | |
| | | P-10 | 0,001 | 0,8 |
| | | P-11 | 0,0001 | 0,07 |
| Blower | BL-01 | 15 | 75 | |
| | BL-02 | 15 | 149 | |
| Total | | 43,61 | 37.740 | |

Total kebutuhan listrik alat proses = 37.740 Watt

= 37,74 kW

b). Kebutuhan Listrik Alat Utilitas

Kebutuhan listrik alat proses dapat dilihat pada Tabel 5.11.

Tabel 5.11 Kebutuhan Listrik Utilitas

| Alat | Kode Alat | Daya | |
|------------------|----------------------|------|------|
| | | Hp | Watt |
| Tangki Koagulasi | TK-01 | 2 | 1497 |
| Tangki Flokulasi | TF-01 | 1 | 438 |
| Cooling Tower | CT-01 | 11 | 8203 |
| Kompresor | CPU-01 | 1,5 | 1119 |
| Blower | BLU-01 dan BLU-02 | 1 | 746 |
| | | | |
| | PU-01 | 1 | 373 |
| | PU-02 | 0,1 | 75 |
| | PU-03 | 0,1 | 75 |
| | PU-04 | 0,1 | 75 |
| | PU-05 | 0,1 | 75 |

| Alat | Kode Alat | Daya | |
|---------------|-----------|-----------|---------------|
| | | Hp | Watt |
| Pompa | PU-06 | 0,1 | 75 |
| | PU-07 | 0,01 | 7 |
| | PU-08 | 0,01 | 7 |
| | PU-09 | 1 | 373 |
| | PU-10 | 1 | 373 |
| | PU-11 | 1 | 373 |
| | PU-12 | 0,1 | 75 |
| | PU-13 | 0,1 | 75 |
| | PU-14 | 0,05 | 37 |
| Jumlah | | 19 | 14.067 |

Total kebutuhan listrik alat utilitas = 14.067 Watt

= 14,07 kW

c). Kebutuhan Listrik Alat Penunjang

Jumlah kebutuhan listrik alat penunjang dapat dilihat pada Tabel 5.12.

Tabel 5.12 Kebutuhan Listrik Alat Penunjang

| No | Keperluan | Kebutuhan (KW) |
|--------------|--------------------------|----------------|
| 1 | Listrik AC | 15 |
| | Listrik Penerangan | 100 |
| 2 | Laboratorium dan Bengkel | 30 |
| 3 | Instrumentasi | 20 |
| Total | | 165 |

Sehingga total kebutuhan listrik pada pabrik *Biolubricant* ini dapat dilihat pada Tabel 5.13.

Tabel 5.13 Total Kebutuhan Listrik

| No | Keperluan | Kebutuhan (KW) |
|--------------|--------------------------|----------------|
| 1 | Kebutuhan Plant | |
| | a. Proses | 37,74 |
| | b. Utilitas | 14,07 |
| 2 | Listrik AC | 15 |
| | Listrik Penerangan | 100 |
| 3 | Laboratorium dan Bengkel | 30 |
| 4 | Instrumentasi | 20 |
| Total | | 216,81 |

Maka Kebutuhan listrik secara keseluruhan pada prarancangan pabrik *Biolubricant* ini digunakan faktor keamanan sebesar 20% sehingga total kebutuhan tenaga listrik sebesar 253,91 KW.

5.4 Unit Penyedia Udara Tekan (*Instrument Air System*)

Unit Penyediaan Udara tekan bertugas memenuhi kebutuhan udara tekan untuk menggerakkan instrumen-instrumen kontrol. Pada dasarnya, proses yang terjadi pada unit ini adalah mengurangi berat jenis udara dari kandungan kondensat sebelum masuk ke unit instrumen udara. Udara tekan yang diperlukan diperkirakan sebesar 48 m³/jam yang didistribusikan pada tekanan 4 bar serta dalam kondisi bersih.

5.5 Unit Penyedia Bahan Bakar

Unit penyediaan bahan bakar bertugas menyediakan kebutuhan bahan bakar pabrik. Bahan bakar yang disediakan pada unit ini adalah kebutuhan bahan bakar boiler dan generator. Bahan bakar yang digunakan adalah diesel/solar. Kebutuhan bahan bakar untuk boiler sebesar 34.815 L/jam dan bahan bakar untuk generator adalah sebesar 19,15 L/jam

5.6 Unit Pengolahan Limbah

Limbah yang dihasilkan dari proses pabrik ini berupa limbah cair dan gas. Sebelum dibuang ke lingkungan, limbah tersebut diolah terlebih dahulu hingga memenuhi baku mutu lingkungan. Hal ini dilakukan agar limbah tersebut tidak

mencemari lingkungan. Limbah yang dihasilkan pada pabrik ini adalah sebagai berikut:

a). Limbah Gas

Limbah gas atau gas buang dari pabrik *Biolubricant* ini berasal dari proses kimia pada reaktor 1 (R-01) dan reaktor 2 (R-02) yang mengandung nitrogen dan metanol serta dari akumulator (ACC-01) yang mengandung metanol dan sedikit metil oleat dan trimetilolpropan. Limbah gas nitrogen dan metanol dari reaktor dialirkan ke dalam kondensor dan gas metanol akan mengalami perubahan fasa menjadi *liquid*, sedangkan nitrogen masih dalam bentuk gas. Metanol yang telah berubah menjadi *liquid* akan ditampung di dalam tangki penyimpanan, sedangkan gas nitrogen akan diolah lebih lanjut agar jika dibuang tidak merusak lingkungan.

b). Limbah Cair

Limbah cair yang dihasilkan berasal dari air proses, utilitas, dan sanitasi. Pengolahan limbah cair harus memperhatikan parameter air buang yang sesuai dengan peraturan pemerintah, (peraturan pemerintah no. 82 tahun 2001) yaitu:

- COD : maks. 100 mg/l
- BOD : maks 12 mg/l
- TSS : maks 80 mg/l
- Oil : maks. 5 mg/l
- pH : 6,5-8,5

Pengolahan untuk masing-masing limbah tersebut adalah sebagai berikut:

1. Limbah Padat

Limbah padat berasal dari potassium karbonat (K_2CO_3) yang masih mengandung $C_{19}H_{39}O_2$, $C_6H_{14}O_3$, CH_3OH , dan $C_{66}H_{110}O_6$ yang akan dimasukkan ke dalam unit pengolahan limbah. Limbah padat ini akan di *treatment* dengan memisahkan padatan dengan cairan yang tersisa dan dilakukan proses pengeringan.

2. Air Buangan Sanitasi

Air buangan sanitasi yang berasal dari perkantoran, perumahan, toilet, dan lain-lain. Pengolahan air buangan sanitasi ini tidak memerlukan penanganan khusus, yaitu dengan *treatment* pada unit stabilisasi menggunakan lumpur aktif, aerasi, dan injeksi klorin.

3. Air Utilitas

Air utilitas diolah melalui berapa proses terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan karena mengandung zat-zat kimia. Proses pengolahan limbah cair ini adalah *physical treatment* (pengendapan dan penyaringan), *chemical treatment* (penambahan bahan kimia dan pengontrolan pH), dan *biological treatment*.

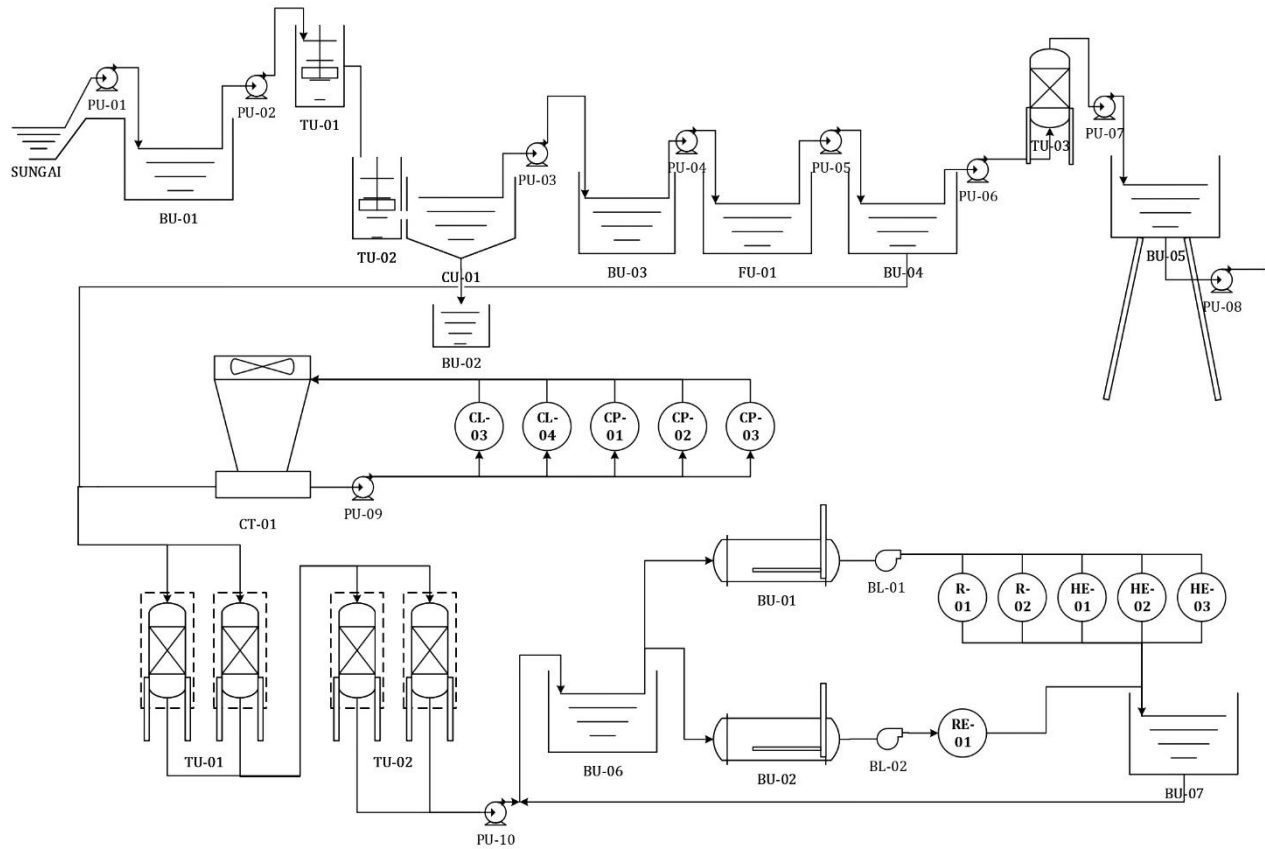
5.7 Unit Pengolahan *Coolant*

Jenis *coolant* yang digunakan dalam pabrik *Biolubricant* ini adalah *Dowtherm A*. *Dowtherm A* merupakan fluida pendingin yang bukan air, tetapi senyawa hidrokarbon yang mempunyai kapasitas panas (C_p) besar. *Dowtherm A* ini digunakan sebagai media pendingin pada alat-alat proses yang digunakan yaitu pada *Cooler-01* dan *Cooler-02*. Kondisi operasi yang dilakukan dalam fase gas.

Cooler-01 beroperasi pada rentan suhu (250-350) °C dengan tekanan 1 atm, sedangkan pada *Cooler-02* beroperasi pada rentan suhu (80-150) °C dengan tekanan 1 atm. Sehingga total kebutuhan *Dowtherm A* yang dibutuhkan sebesar 18.438 kg/jam.

Dowtherm A yang telah digunakan akan diolah kembali dengan cara didinginkan menggunakan *cooler*, setelah itu didinginkan lebih lanjut menggunakan *cooling tower*. Pada *cooling tower* akan ada sebagian *Dowtherm A* yang menguap, *Dowtherm A* yang hilang ini kemudian akan digantikan dengan *Dowtherm A* baru dari tangki penyimpanan *Dowtherm A*. Berikutnya *Dowtherm A* yang sudah kembali ke kondisi proses akan digunakan kembali sebagai media pendingin pada alat *cooler*.

**PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM
UNIT UTILITAS**



Gambar 5.1 Process Engineering Flow Diagram Utilitas

BAB VI

EVALUASI EKONOMI

Dalam pra-rancangan pabrik diperlukan analisa ekonomi untuk mendapatkan estimasi tentang kelayakan investasi modal dalam suatu kegiatan produksi suatu pabrik dengan meninjau kebutuhan modal investasi dapat dikembalikan dan terjadinya titik impas, dimana total biaya produksi sama dengan keuntungan yang diperoleh. Selain itu, analisa ekonomi dimaksudkan untuk mengetahui apakah pabrik yang akan didirikan dapat menguntungkan dan layak atau tidak untuk didirikan. Beberapa faktor yang ditinjau dalam evaluasi ekonomi ini antara lain:

1. *Return in Investment (ROI)*

Return in investment merupakan perkiraan laju keuntungan tiap tahun yang dapat mengembalikan modal yang diinvestasikan.

2. *Pay Out Time (POT)*

Pay out time adalah jumlah tahun yang telah berselang sebelum didapatkan sesuatu penerimaan melebihi investasi awal atau jumlah tahun yang diperlukan untuk kembalinya *capital investment* dengan profit sebelum dikurangi

3. *Discounted Cash Flow Rate of Return (DCFR)*

Discounted cash flow merupakan perkiraan keuntungan yang diperoleh setiap tahun didasarkan pada jumlah investasi yang tidak kembali selama umur ekonomi. *Rated of return based on discounted cash flow* adalah laju bunga

maksimal dimana suatu pabrik atau proyek dapat membayar pinjaman beserta bunganya kepada bank selama umur pabrik.

4. *Break Even Point* (BEP)

Break Even Point adalah terjadi titik impas dimana tingkat penjualan atau pendapatan yang diperoleh dan modal yang digunakan untuk menghasilkan laba berada dalam posisi yang sama

5. *Shut Down Point* (SDP)

Shut Down Point adalah suatu titik atau saat penentuan suatu aktivitas produksi harus dihentikan. Penyebabnya antara lain *variable cost* yang terlalu tinggi atau bisa juga karena keputusan manajemen akibat tidak ekonomisnya suatu aktivitas produksi (tidak menghasilkan keuntungan).

Namun, ada beberapa hal yang perlu diperkirakan sebelum melakukan analisis terhadap kelima faktor diatas, seperti:

a). Modal Keseluruhan (*Total Capital Investment*)

- Modal tetap (*Fixed capital*)
- Modal kerja (*Working capital*)

b). Biaya Produksi (*Manufacturing Cost*)

- Biaya produksi langsung (*Direct production cost*)
- Biaya produksi tetap (*Fixed charges*)
- Plant overhead

c). Pengeluaran Umum (*General Expense*)

d). Analisis Keuntungan

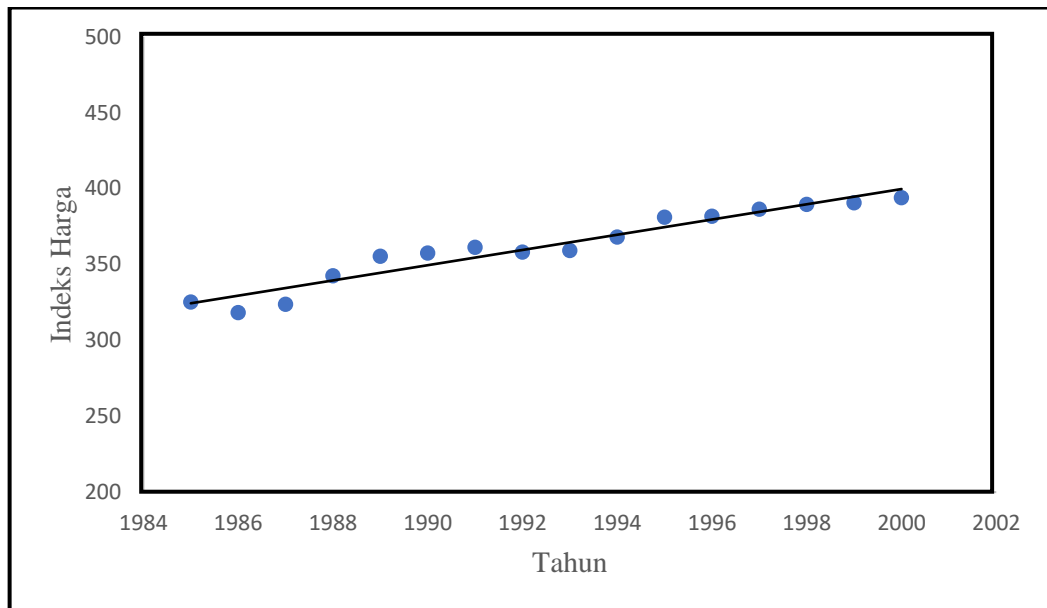
e). Analisis Kelayakan

- Keuntungan (*Profitability*)
- *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCF)
- *Percent Return On Investment* (ROI)
- *Pay Out Time* (POT)
- *Break Even Point* (BEP)
- *Shut Down Point* (SDP)

6.1 Penaksiran Harga Alat

Setiap tahunnya harga alat akan selalu mengalami perubahan tergantung pada kondisi ekonomi yang pada tahun tersebut. Sehingga untuk mengetahui harga peralatan yang pasti setiap tahunnya merupakan suatu hal yang sulit. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode atau cara untuk memperkirakan harga alat pada tahun tertentu dengan mencari tahu terlebih dahulu harga indeks peralatan operasi pada tahun tersebut.

Untuk mengetahui harga alat pada tahun pembelian alat yaitu tahun 2027, maka dicari indeks harga pada tahun tersebut. Indeks harga tahun 2027 dapat diperkirakan dengan data indeks dari tahun-tahun sebelumnya. Pada analisis ini digunakan data indeks harga dari tahun 1985 sampai tahun 2020 yang diperoleh dari data *Chemical Engineering Plant Cost Index*, yang kemudian dicari dengan menggunakan persamaan regresi linier. Grafik hubungan antara tahun dengan indeks harga ditunjukkan pada Gambar 6.1.



Gambar 6.1 Grafik Hubungan Antara Tahun dengan Harga Alat

Dengan asumsi kenaikan indeks linear, berdasarkan data di atas maka didapatkan persamaan berikut:

$$y = 5,0181x - 9636,5 \quad (6.1)$$

Dimana:

y = Indeks harga

x = Tahun pembelian

Dari persamaan (6.1) didapat indeks harga pada tahun 2027 adalah 535,189. Untuk memperkirakan harga alat, terdapat dua persamaan pendekatan yang dapat digunakan. Harga alat pada tahun pabrik didirikan dapat ditentukan berdasarkan harga pada tahun referensi dikalikan dengan rasio indeks harga.

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

Dimana:

E_x = Harga alat pada tahun x

E_y = Harga alat pada tahun y

N_x = Indeks harga pada tahun x

N_y = Indeks harga pada tahun y

(Aries dan Newton, 1955)

Apabila terdapat suatu alat dengan kapasitas tertentu yang tidak ada spesifikasinya dalam referensi, maka harga alat dapat diperkirakan dengan menggunakan persamaan (6.3).

$$E_b = E_a \left[\frac{C_b}{C_a} \right]^{0,6} \quad (6.3)$$

Dimana:

E_b = Harga alat b

E_a = Harga alat a

C_b = Kapasitas alat b

C_a = Kapasitas alat a

(Peter *et al.*, 2001)

Harga eksponen tergantung dari jenis alat yang akan dicari harganya. Harga eksponen untuk berbagai macam jenis alat dapat dilihat pada Peter and Timmerhaus, “*Plant Design and Economic for Chemical Engineering*”, 3th

edition. Untuk alat yang tidak diketahui harga eksponennya maka diambil harga x sebesar 0,6. Daftar harga alat proses dapat dilihat pada Tabel 6.1 dan daftar harga alat utilitas dapat dilihat pada Tabel 6.1-6.2.

Tabel 6.1 Harga Alat Proses

| Nama Alat | Kode Alat | Jumlah | NY | NX | EY (\$) | EX (\$) |
|---|-------------|--------|------|------|---------|---------|
| | | | 2014 | 2027 | 2014 | 2027 |
| Tangki Trimetilolpropan | T-01 | 1 | 470 | 535 | 67.600 | 76.984 |
| Tangki Metil Oleat | T-02 | 1 | 470 | 535 | 241.600 | 275.137 |
| Tangki Nitrogen | T-03 & T-04 | 2 | 470 | 535 | 344.600 | 392.435 |
| Tangki Produk Metanol | T-05 | 1 | 470 | 535 | 67.900 | 77.325 |
| Tangki Produk TFATE (<i>biolubricant</i>) | T-06 | 1 | 470 | 535 | 134.300 | 152.942 |
| Silo Potasium Karbonat | S-01 | 1 | 470 | 535 | 9.400 | 10.705 |
| Screw Conveyor | CV-01 | 1 | 470 | 535 | 2.100 | 2.392 |
| Mixer | M-01 | 1 | 470 | 535 | 12.924 | 14.718 |
| Heater 1 | HE-01 | 1 | 470 | 535 | 13.600 | 15.488 |
| Heater 2 | HE-02 | 1 | 470 | 535 | 15.000 | 17.082 |
| Heater 3 | HE-03 | 1 | 470 | 535 | 19.900 | 22.662 |
| Heater 4 | HE-04 | 1 | 470 | 535 | 19.900 | 22.662 |
| Heater 5 | HE-05 | 1 | 470 | 535 | 57.200 | 65.140 |
| Reaktor | R-01 & R-02 | 2 | 470 | 535 | 266.400 | 303.380 |
| Kondensor Parsial 1 | CP-01 | 1 | 470 | 535 | 7.900 | 8.997 |
| Kondensor Parsial 2 | CP-02 | 1 | 470 | 535 | 6.100 | 6.947 |
| Kondensor Parsial 3 | CP-03 | 1 | 470 | 535 | 11.900 | 13.552 |
| Cartridge Filter | F-01 | 1 | 470 | 535 | 300 | 342 |
| Separator 1 | SP-01 | 1 | 470 | 535 | 7.700 | 8.769 |
| Separator 2 | SP-02 | 1 | 470 | 535 | 7.700 | 8.769 |
| Menara Distilasi | MD-01 | 1 | 470 | 535 | 238.288 | 271.365 |
| Reboiler | RE-01 | 1 | 470 | 535 | 29.300 | 33.367 |
| Akumulator | ACC-01 | 1 | 470 | 535 | 13.900 | 15.829 |
| Steam Ejector | EJ-01 | 1 | 470 | 535 | 4.580 | 5.216 |
| Cooler 1 | CL-01 | 1 | 470 | 535 | 44.900 | 51.133 |
| Cooler 2 | CL-02 | 1 | 470 | 535 | 46.400 | 52.841 |
| Cooler 3 | CL-03 | 1 | 470 | 535 | 64.000 | 72.884 |
| Cooler 4 | CL-04 | 1 | 470 | 535 | 13.300 | 15.146 |

| Nama Alat | Kode Alat | Jumlah | NY | NX | EY (\$) | EX (\$) |
|-----------------|------------------|-----------|------|------|---------|------------------|
| | | | 2014 | 2027 | 2014 | 2027 |
| Blower 1 | BL-01 | 1 | 470 | 535 | 4.600 | 5.239 |
| Blower 2 | BL-02 | 1 | 470 | 535 | 4.600 | 5.239 |
| Blower 3 | BL-03 | 2 | 470 | 535 | 9.800 | 11.160 |
| Blower 4 | BL-04 | 2 | 470 | 535 | 9.400 | 10.705 |
| Sparger | SG-01 & SG-02 | 2 | 470 | 535 | 18.322 | 20.865 |
| Expansion Valve | EV-01 & EV-02 | 2 | 470 | 535 | 18.322 | 20.865 |
| Pompa 1 | P-01 | 1 | 470 | 535 | 2.200 | 2.505 |
| Pompa 2 | P-02 | 2 | 470 | 535 | 6.600 | 7.516 |
| Pompa 3 | P-03 | 2 | 470 | 535 | 5.800 | 6.605 |
| Pompa 4 | P-04 | 1 | 470 | 535 | 6.600 | 7.516 |
| Pompa 5 | P-05 | 1 | 470 | 535 | 6.600 | 7.516 |
| Pompa 6 | P-06 | 2 | 470 | 535 | 12.000 | 13.666 |
| Pompa 7 | P-07 | 1 | 470 | 535 | 3.400 | 3.872 |
| Pompa 8 | P-08 | 2 | 470 | 535 | 5.200 | 5.922 |
| Pompa 9 | P-09 | 4 | 470 | 535 | 13.200 | 15.032 |
| Pompa 10 | P-10 | 1 | 470 | 535 | 2.500 | 2.847 |
| Pompa 11 | P-11 | 1 | 470 | 535 | 2.000 | 2.278 |
| Total | | 56 | | | | 2.138.196 |

(Sumber: matche.com)

Tabel 6.2 Harga Alat Utilitas

| Nama Alat | Kode Alat | Jumlah | NY | NX | EY (\$) | EX (\$) |
|----------------------------|-----------|--------|------|------|---------|---------|
| | | | 2014 | 2027 | 2014 | 2027 |
| Bak Penampung Air Sungai | BU-01 | 2 | 470 | 535 | 1.300 | 2.961 |
| Clarifier | CU-01 | 1 | 470 | 535 | 26.300 | 29.951 |
| Sand Filter | FU-01 | 1 | 470 | 535 | 5.900 | 6.719 |
| Bak Penampung Flok | BU-02 | 1 | 470 | 535 | 1.300 | 1.480 |
| Bak Penampung Air Bersih 1 | BU-03 | 1 | 470 | 535 | 1.300 | 1.480 |
| Bak Penampung Air Bersih 2 | BU-04 | 1 | 470 | 535 | 1.300 | 1.480 |
| Bak Penampung Air Sanitasi | BU-05 | 1 | 470 | 535 | 1.300 | 1.480 |
| Bak Air Umpan Boiler | BU-06 | 1 | 470 | 535 | 13.600 | 15.488 |
| Bak Air Pendingin | BU-07 | 1 | 470 | 535 | 6.700 | 7.630 |
| Tangki Koagulasi | TU-01 | 2 | 470 | 535 | 12.579 | 28.650 |
| Tangki Flokulasi | TU-02 | 2 | 470 | 535 | 12.579 | 28.650 |

| Nama Alat | Kode Alat | Jumlah | NY | NX | EY (\$) | EX (\$) |
|--|-----------|-----------|------|------|---------|------------------|
| | | | 2014 | 2027 | 2014 | 2027 |
| Kation Exchanger | TU-03 | 1 | 470 | 535 | 73.400 | 83.589 |
| Anion Exchanger | TU-04 | 1 | 470 | 535 | 41.100 | 46.805 |
| Tangki Al ₂ (SO ₄) ₃ | TU-05 | 1 | 470 | 535 | 19.700 | 22.435 |
| Tangki PAC | TU-06 | 1 | 470 | 535 | 19.700 | 22.435 |
| Tangki Disinfektan (Chlorine) | TU-07 | 1 | 470 | 535 | 32.500 | 37.011 |
| Tangki Bahan Bakar | TU-08 | 1 | 470 | 535 | 26.000 | 29.609 |
| Cooling Tower | CT-01 | 1 | 470 | 535 | 6.700 | 7.630 |
| Kompressor | CPU-01 | 1 | 470 | 535 | 53.700 | 61.127 |
| Boiler | BU-01 | 1 | 470 | 535 | 419.500 | 477.732 |
| Boiler | BU-02 | 1 | 470 | 535 | 519.900 | 592.069 |
| Blower | BLU-01 | 1 | 470 | 535 | 100 | 114 |
| Blower | BLU-02 | 1 | 470 | 535 | 200 | 228 |
| Pompa 1 | PU-01 | 1 | 470 | 535 | 7.500 | 8.541 |
| Pompa 2 | PU-02 | 1 | 470 | 535 | 7.500 | 8.541 |
| Pompa 3 | PU-03 | 1 | 470 | 535 | 7.500 | 8.541 |
| Pompa 4 | PU-04 | 1 | 470 | 535 | 7.000 | 7.972 |
| Pompa 5 | PU-05 | 1 | 470 | 535 | 7.000 | 7.972 |
| Pompa 6 | PU-06 | 1 | 470 | 535 | 7.000 | 7.972 |
| Pompa 7 | PU-07 | 1 | 470 | 535 | 2.900 | 3.303 |
| Pompa 8 | PU-08 | 1 | 470 | 535 | 2.900 | 3.303 |
| Pompa 9 | PU-09 | 1 | 470 | 535 | 6.200 | 7.061 |
| Pompa 10 | PU-10 | 1 | 470 | 535 | 6.200 | 7.061 |
| Pompa 11 | PU-11 | 1 | 470 | 535 | 6.200 | 7.061 |
| Pompa 12 | PU-12 | 1 | 470 | 535 | 6.200 | 7.061 |
| Pompa 13 | PU-13 | 1 | 470 | 535 | 6.200 | 7.061 |
| Pompa 14 | PU-14 | 1 | 470 | 535 | 6.200 | 7.061 |
| Total | | 40 | | | | 1.605.260 |

(Sumber: matche.com)

$$\begin{aligned} \text{Total Harga Alat (EC)} &= \$ 3.743.456 \\ &= \text{Rp } 56.724.582.892 \end{aligned}$$

6.2 Dasar Perhitungan

Dasar perhitungan yang digunakan dalam analisis ekonomi pabrik

Biolubricant ini adalah:

| | |
|------------------------|--------------------|
| Kapasitas Produk | : 10.806 ton/tahun |
| Satu tahun operasi | : 330 hari |
| Tahun pabrik didirikan | : 2027 |
| Nilai kurs mata uang | : \$1 = 15.153 |
| Umur alat | : 10 tahun |

6.3 Perhitungan Biaya

6.3.1 *Capital Investment*

Capital Investment adalah banyaknya pengeluaran-pengeluaran yang diperlukan untuk mendirikan fasilitas-fasilitas pabrik dan untuk mengoperasikannya (Peters dan Timmerhaus, 2004). *Capital investment* meliputi:

a). *Fixed Capital Investment*

Fixed Capital Investment adalah modal yang dibutuhkan untuk mendirikan fasilitas-fasilitas pabrik. Setelah melakukan perhitungan rencana maka pabrik *Biolubricant* ini memerlukan rencana *physical plant cost*, *direct plant cost*, *fixed capital instrument*. Hasil perhitungan masing-masing dapat dilihat pada Tabel 6.3 dan Tabel 6.4.

Tabel 6.3 *Direct Cost (DC)*

| No | <i>Type Capital Investment</i> | Biaya (Rp) | Biaya (\$) |
|----|--|----------------|------------|
| 1 | Biaya Pemasangan Alat (<i>Equipment Installation Cost</i>) | 26.252.136.962 | 1.732.471 |
| 2 | Biaya Instrumentasi dan Kontrol | 13.126.068.481 | 866.236 |

| No | Type Capital Investment | Biaya (Rp) | Biaya (\$) |
|--------------|--|------------------------|-------------------|
| | <i>(Instrumentation and Control Cost)</i> | | |
| 3 | Biaya Perpipaian (<i>Piping Cost</i>) | 26.252.136.962 | 1.732.471 |
| 4 | Biaya Instalasi Listrik (<i>Electrical Installation</i>) | 13.126.068.481 | 866.236 |
| 5 | Biaya Bangunan (<i>Building Including Services</i>) | 32.815.171.203 | 2.165.589 |
| 6 | Pengembangan Lahan (<i>Yard Improvement</i>) | 32.815.171.203 | 2.165.589 |
| 7 | <i>Service Facilities</i> | 32.815.171.203 | 2.165.589 |
| 8 | Tanah (<i>Land</i>) | 3.281.517.120 | 216.559 |
| Total | | 180.483.441.615 | 11.910.740 |

Tabel 6.4 Indirect Cost (IC)

| No | Type Capital Investment | Biaya (Rp) | Biaya (\$) |
|--------------|---|-----------------------|------------------|
| 1 | -Biaya Teknik dan Supervisi (<i>Engineering and Supervision Cost</i>) | 18.048.344.162 | 1.191.074 |
| 2 | -Biaya Konstruksi (<i>Construction Cost</i>) | 27.072.516.242 | 1.786.611 |
| 3 | -Biaya Tak Terduga (<i>Contingencies</i>) | 25.067.144.669 | 1.654.269 |
| Total | | 70.188.005.073 | 4.631.954 |

Fixed Capital Investment = Rp 250.671.446.688
= \$ 16.542.694

b). Working Capital Investment

Working capital investment adalah modal yang dibutuhkan untuk menjalankan operasional pabrik selama waktu tertentu (Peters dan Timmerhaus,2004). *Working capital investment* bernilai 10-20% dari total *capital investment*.

Working capital investment = Rp 47.000.896.254

$$= \$ 3.101.755$$

Sehingga total *capital investment* adalah:

$$\text{Total capital investment} = \text{Rp } 313.339.308.360$$

$$= \$ 20.678.368$$

6.3.2 *Manufacturing Cost*

Manufacturing cost merupakan biaya yang dibutuhkan untuk kegiatan produksi suatu produk. *Manufacturing cost* merupakan jumlah dari *direct*, *indirect* dan *fixed manufacturing cost* yang berkaitan dengan produk. *Manufacturing cost* berdasarkan Aries dan Newton terdiri dari

a). *Direct Manufacturing Cost* (DMC)

Direct manufacturing cost merupakan biaya pengeluaran yang berhubungan langsung dengan operasional pabrik. *Direct manufacturing cost* dapat dilihat pada Tabel 6.5.

Tabel 6.5 Total *Direct Manufacturing Cost*

| No | Type <i>Direct Manufacturing Cost</i> | Biaya (Rp) | Biaya (\$) |
|--------------|---|------------------------|-------------------|
| 1 | Bahan Baku (<i>Raw Material</i>) | 216.026.343.456 | 14.256.342 |
| 2 | Pekerja Operasi (<i>Operating Labor</i>) | 70.122.865.937 | 4.627.656 |
| 3 | <i>Direct Supervisory</i> | 7.012.286.594 | 462.766 |
| 4 | Utilitas (<i>Utilities</i>) | 169.688.888.418 | 11.198.369 |
| 5 | Perawatan dan Perbaikan (<i>Maintenance and Repair</i>) | 17.547.001.268 | 1.157.989 |
| 6 | <i>Operating Supplies</i> | 2.506.714.467 | 165.427 |
| 7 | Laboratorium (<i>Laboratory Charges</i>) | 14.024.573.187 | 925.531 |
| Total | | 496.928.673.327 | 32.794.079 |

b). *Fixed Manufacturing Cost (FMC)*

Fixed Manufacturing Cost merupakan biaya pengeluaran yang berhubungan dengan initial fixed capital investment. Biaya ini selalu dikeluarkan baik saat pabrik beroperasi maupun tidak beroperasi. Sehingga biaya ini bersifat tetap dan selalu sama, tidak bergantung waktu dan tingkat produksi. *Fixed manufacturing cost* dapat dilihat pada Tabel 6.6.

Tabel 6.6 Total *Fixed Manufacturing Cost*

| No | Type <i>Fixed Manufacturing Cost</i> | Biaya (Rp) | Biaya (\$) |
|--------------|--------------------------------------|-----------------------|------------------|
| 1 | Total depresiasi | 25.723.448.093 | 1.697.581 |
| 2 | Pajak Lokal (Local Taxes) | 7.520.143.401 | 496.281 |
| 3 | Asuransi (Insurance) | 1.754.700.127 | 115.799 |
| Total | | 34.998.291.620 | 2.309.661 |

c). *Plant Overhead*

Plant overhead merupakan biaya untuk keperluan seperti rumah sakit dan pelayanan kesehatan, perawatan umum pabrik, pelayanan keselamatan, fasilitas rekreasi, pensiun, kontrol laboratorium, pengepakan, perlindungan pabrik, fasilitas pengiriman dan penerimaan barang dan sebagainya. Nilai *plant overhead* sekitar 50 – 70 % dari biaya total untuk tenaga operasi, supervisi dan perawatan.

$$\begin{aligned}\text{Plant overhead} &= 50 \% (\text{operating labour} + \text{supervisi} + \text{maintenance}) \\ &= \text{Rp } 47.341.076.899 \\ &= \$ 3.124.205\end{aligned}$$

Sehingga total *manufacturing cost* adalah:

$$\begin{aligned}\text{Manufacturing cost} &= \text{Direct manufacturing} + \text{Fixed charges} + \text{Plant Overhead} \\ &= \text{Rp } 579.268.041.847\end{aligned}$$

= \$ 38.227.944

6.3.3 General Expense

General expense merupakan biaya yang dibutuhkan untuk menjalankan fungsi-fungsi perusahaan yang tidak termasuk dalam *manufacturing cost*. *General expense* dapat dilihat pada Tabel

a). Biaya Administrasi (*Administrative Cost*)

Administrative Cost termasuk gaji eksekutif dan upah sekretaris, persediaan kantor, penjaga gedung kantor, pengetik dan komunikasi umum. Umumnya besar *administrative cost* ini adalah 15 % dari biaya total untuk tenaga operasi, supervisi dan perawatan atau 2 – 6 % TPC. Rincian biaya administrasi dapat dilihat pada Tabel 6.7.

Tabel 6.7 Total Administrative Cost

| Jabatan | Jumlah | Gaji/Bulan (Rp) | Gaji Total/Tahun (Rp) |
|--|--------|-----------------|-----------------------|
| Direktur Utama | 1 | 60.000.000 | 720.000.000 |
| Sekretaris Direktur Utama | 1 | 40.000.000 | 480.000.000 |
| Staf Direktur Utama | 1 | 20.000.000 | 240.000.000 |
| Direktur Operasi dan Proses | 1 | 30.000.000 | 360.000.000 |
| Staf Direktur Operasi dan Proses | 1 | 18.000.000 | 216.000.000 |
| Direktur Sumber Daya Manusia | 1 | 30.000.000 | 360.000.000 |
| Staf Direktur Sumber Daya Manusia | 1 | 18.000.000 | 216.000.000 |
| Direktur Administrasi dan Pemasaran | 1 | 30.000.000 | 360.000.000 |
| Staf Direktur Administrasi dan Pemasaran | 1 | 18.000.000 | 216.000.000 |
| Manager Keamanan | 1 | 20.000.000 | 240.000.000 |
| Manager Kesehatan dan Keselamatan Kerja | 1 | 20.000.000 | 240.000.000 |
| Manager Human Resource and Development | 1 | 20.000.000 | 240.000.000 |

| Jabatan | Jumlah | Gaji/Bulan (Rp) | Gaji Total/Tahun (Rp) |
|---|--------|-----------------|-----------------------|
| Manager Proses dan Utilitas | 1 | 20.000.000 | 240.000.000 |
| Manager Pemeliharaan Listrik dan Instrumentasi | 1 | 20.000.000 | 240.000.000 |
| Manager Research and Development | 1 | 20.000.000 | 240.000.000 |
| Manager Keuangan | 1 | 20.000.000 | 240.000.000 |
| Manager Pemasaran | 1 | 20.000.000 | 240.000.000 |
| Karyawan Produksi | 20 | 16.000.000 | 3.840.000.000 |
| Karyawan Control Room | 6 | 15.500.000 | 1.116.000.000 |
| Karyawan Utilitas dan Pengolahan Limbah | 8 | 14.000.000 | 1.344.000.000 |
| Karyawan Perawatan Pabrik | 6 | 14.000.000 | 1.008.000.000 |
| Karyawan Quality Control | 7 | 14.000.000 | 1.176.000.000 |
| Karyawan Instrumentasi Listrik | 6 | 14.000.000 | 1.008.000.000 |
| Karyawan Penelitian Proses dan Teknologi | 5 | 16.000.000 | 960.000.000 |
| Karyawan Laboratorium | 5 | 14.000.000 | 840.000.000 |
| Karyawan Keselamatan Kerja dan Proteksi Kebakaran | 6 | 15.000.000 | 1.080.000.000 |
| Karyawan Keuangan | 4 | 12.000.000 | 576.000.000 |
| Karyawan Pembelian | 5 | 12.000.000 | 720.000.000 |
| Karyawan Penjualan | 6 | 12.000.000 | 864.000.000 |
| Karyawan Analisa Pasar | 3 | 12.000.000 | 432.000.000 |
| Karyawan Pelayanan Umum | 4 | 12.000.000 | 576.000.000 |
| Karyawan Humas | 6 | 12.000.000 | 864.000.000 |
| Karyawan Gudang | 4 | 12.000.000 | 576.000.000 |
| Karyawan Personalia | 6 | 10.000.000 | 720.000.000 |
| Karyawan Pelatihan Tenaga Kerja | 2 | 10.000.000 | 240.000.000 |
| Karyawan Keamanan | 6 | 10.000.000 | 720.000.000 |
| Operator | 33 | 10.000.000 | 3.960.000.000 |
| Cleaning Service | 8 | 6.500.000 | 624.000.000 |
| Dokter | 3 | 12.000.000 | 432.000.000 |
| Suster | 5 | 9.000.000 | 540.000.000 |
| Driver | 5 | 7.000.000 | 420.000.000 |
| Subtotal Gaji | | | 29.724.000.000 |
| Peralatan Kantor | | | 30.000.000 |
| Legal, Fee & Auditing | | | 50.000.000 |
| Komunikasi | | | 100.000.000 |
| Total Administrative Cost | | | 29.904.000.000 |

b). Biaya Pemasaran dan Distribusi (*Distribution and Marketing Cost*)

Biaya pemasaran dan distribusi tergantung pada barang utama yang dihasilkan, produk lain yang dijual perusahaan, lokasi pabrik, dan kebijakan perusahaan. Dalam industri kimia besarnya biaya ini sekitar 2 – 20 % dari biaya total produksi (*total production cost*).

$$\begin{aligned} \text{Distribution and Marketing Cost} &= \text{Rp } 49.086.006.156 \\ &= \$ 3.239.359 \end{aligned}$$

c). Biaya Riset dan Pengembangan (*Research and Development Cost*)

Biaya ini termasuk gaji dan upah semua pekerja yang berhubungan langsung dengan tipe pekerjaan tersebut, biaya tetap dan operasi semua mesin dan peralatan yang terlibat, biaya untuk barang dan persediaan, dan biaya lain-lain. Dalam industri kimia, biaya ini sekitar 2 – 5 % dari biaya total produksi.

$$\begin{aligned} \text{Research and Development Cost} &= \text{Rp } 21.036.859.781 \\ &= \$ 1.388.297 \end{aligned}$$

d). Finance (*Interest*)

Bunga dipertimbangkan sebagai kompensasi yang dibayarkan untuk penggunaan modal yang dipinjam. Tingkat bunga tahunan sebesar 0 – 10 % dari modal investasi total (*total capital investment*).

$$\begin{aligned} \text{Interest} &= \text{Rp } 21.933.751.585 \\ &= \$ 1.447.486 \end{aligned}$$

Sehingga total *General Expenses* adalah:

General Expenses = Rp 121.960.617.522

= \$ 8.048.612

Tabel 6.8 Total Cost Investment

| Fixed Capital Investment | | | | |
|---|---------------|--|------------------------|--|
| 1 | Direct Cost | | | |
| | a | Purchased equipment-delivered | 65.630.342.406 | |
| | b | Purchased equipment installation | 26.252.136.962 | |
| | c | Instrumentation and controls (installed) | 13.126.068.481 | |
| | d | Piping (Biaya perpipaan) | 26.252.136.962 | |
| | e | Electrical (installed) | 13.126.068.481 | |
| | f | Buildings | 32.815.171.203 | |
| | g | Yard improvement | 32.815.171.203 | |
| | h | Service Facilities | 32.815.171.203 | |
| | i | Tanah | 3.281.517.120 | |
| Total Direct Cost (DC) | | | 246.113.784.021 | |
| 2 | Indirect Cost | | | |
| | a | Engineering and supervision | 18.048.344.162 | |
| | b | Construction expenses | 27.072.516.242 | |
| | c | Biaya tak terduga | 25.067.144.669 | |
| Total Indirect Cost (IC) | | | 70.188.005.073 | |
| Fixed Capital Investment (FCI) | | | 250.671.446.688 | |
| Working Capital Investment (WCI) | | | 47.000.896.254 | |
| Total Cost Investment (TCI) | | | 313.339.308.360 | |

Tabel 6.9 Total Production Cost

| Manufacturing Cost | | | | |
|---------------------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------|--|
| 1 | Direct Manufacturing Cost | | | |
| | a | Raw material | 216.026.343.456 | |
| | b | Operating labor | 70.122.865.937 | |
| | c | Direct supervisory | 7.012.286.594 | |
| | d | Utilities | 169.688.888.418 | |
| | e | Maintenance and repair cost | 17.547.001.268 | |
| | f | Operating supplies | 2.506.714.467 | |
| | g | Laboratory charges | 14.024.573.187 | |
| Total Direct Manufacturing Cost | | | 496.928.673.327 | |
| 2 | Fixed Charges | | | |

| Manufacturing Cost | | | |
|------------------------------------|-------------------------------|-------------|------------------------|
| | a | Depresiasi | 25.723.448.093 |
| | b | Pajak Lokal | 7.520.143.401 |
| | c | Asuransi | 1.754.700.127 |
| Total Fixed Charges | | | 34.998.291.620 |
| 3 | 47.341.076.899 | | 38.386.976.466 |
| Total Manufacturing Cost | | | 579.268.041.847 |
| General Expenses | | | |
| 1 | Administrative cost | | 29.904.000.000 |
| 2 | Distribution and selling out | | 49.086.006.156 |
| 3 | Research and development cost | | 21.036.859.781 |
| 4 | Financing (Interest) | | 21.933.751.585 |
| Total General Expenses | | | 121.960.617.522 |
| Total Production Cost (TPC) | | | 701.228.659.369 |

6.4 Analisis Keuntungan

- Keuntungan sebelum pajak

Total penjualan = Rp 784.672.213.696

Total biaya produksi = Rp 701.228.659.369

Keuntungan = Total penjualan - Total biaya produksi

= Rp 83.443.554.327

- Keuntungan sesudah pajak

Pajak = 25%

(Pasal 17 Ayat (1) UU RI No.36 Tahun 2008 Tentang Pajak Penghasilan)

= Rp 20.860.888.582

Keuntungan = Keuntungan sebelum pajak - pajak

= Rp 62.582.665.745

6.5 Analisis Kelayakan

Untuk dapat mengetahui keuntungan yang diperoleh tergolong besar atau tidak, sehingga dapat dikategorikan apakah pabrik tersebut potensial atau tidak, maka dilakukan suatu analisis atau evaluasi kelayakan. Beberapa cara yang digunakan untuk menyatakan kelayakan adalah:

6.5.1 Return on Investment (ROI)

Return on investment adalah tingkat keuntungan yang dapat dihasilkan dari tingkat investasi yang telah dikeluarkan. Syarat ROI sebelum pajak untuk pabrik kimia dengan risiko rendah minimum adalah 11% (Aries dan Newton, 1955). Untuk menghitung ROI dapat digunakan persamaan

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

a). ROI Sebelum Pajak (ROIb)

$$ROIb = \frac{\text{Keuntungan sebelum pajak}}{TCI} \times 100\%$$

$$ROIb = \frac{83.443.554.327}{313.339.308.360} \times 100\%$$

$$ROIb = 26,63\%$$

b). ROI Sesudah Pajak (ROIa)

$$ROIa = \frac{\text{Keuntungan sesudah pajak}}{TCI} \times 100\%$$

$$ROIa = \frac{62.582.665.745}{313.339.308.360} \times 100\%$$

$$ROIa = 19,97\%$$

6.5.2 Pay Out Time (POT)

Pay out time adalah lama waktu pengembalian modal yang berdasarkan keuntungan yang dicapai. Syarat POT sebelum pajak untuk pabrik kimia dengan risiko rendah maksimal adalah 5 tahun (Aries dan Newton, 1955). Untuk menghitung ROI dapat digunakan persamaan

$$POT = \frac{TCI}{Keuntungan + Total Depresiasi}$$

a). POT Sebelum Pajak (POTb)

$$POTb = \frac{TCI}{Keuntungan sebelum pajak + Total depresiasi}$$

$$POTb = \frac{313.339.308.360}{83.443.554.327 + 25.723.448.093}$$

$$POTb = 2,9 \text{ tahun}$$

b). POT Sesudah Pajak (POTa)

$$POTa = \frac{TCI}{Keuntungan sesudah pajak + Total depresiasi}$$

$$POTa = \frac{313.339.308.360}{62.582.665.745 + 25.723.448.093}$$

$$POTa = 3,5 \text{ tahun}$$

6.5.3 Break Even Point (BEP)

Break even point adalah titik yang menunjukkan pada suatu tingkat dimana biaya dan penghasilan jumlahnya sama. Dengan *break even point* kita dapat menentukan tingkat harga jual dan jumlah unit yang dijual secara minimum dan berapa harga perunit yang dijual agar mendapatkan keuntungan. Nilai BEP

pabrik kimia pada umumnya adalah 40-60%. Pabrik akan untung jika beroperasi diatas BEP, dan akan rugi jika beroperasi dibawah BEP. Persamaan untuk menghitung BEP adalah sebagai berikut

$$BEP = \frac{F_a + 0,3R_a}{S_a - V_a - 0,7R_a} \times 100\%$$

Dimana:

Fa = *Annual Fixed Manufacturing Cost* pada produksi maksimum

Ra = *Annual Regulated Expenses* pada produksi maksimum

Va = *Annual Variable Value* pada Produksi maksimum

Sa = *Annual Sales Value* pada produksi maksimum

Tabel 6.10 Annual Fixed Cost

| Fixed Cost (Fa) | Jumlah (Rp) |
|------------------------|-----------------------|
| Depresiasi | 25.723.448.093 |
| Pajak Lokal | 7.520.143.401 |
| Asuransi | 1.754.700.127 |
| Total | 34.998.291.620 |

Tabel 6.11 Annual Variable Expenses

| Variable Cost (Va) | Jumlah (Rp) |
|---------------------------|------------------------|
| Raw Material | 216.026.343.456 |
| Utilities | 169.688.888.418 |
| Total | 385.715.231.874 |

Tabel 6.12 Annual Regulated Expenses

| Regulated Cost (Ra) | Jumlah (Rp) |
|----------------------------|--------------------|
| Gaji Karyawan | 29.724.000.000 |
| Supervision | 7.012.286.594 |
| Plant Overhead | 47.341.076.899 |

| Regulated Cost (Ra) | Jumlah (Rp) |
|----------------------------|------------------------|
| Laboratorium | 14.024.573.187 |
| General Expenses | 121.960.617.522 |
| Maintenance | 17.547.001.268 |
| Plant Supplies | 2.506.714.467 |
| Total | 240.116.269.938 |

Dengan menggunakan data yang terdapat pada Tabel 6.10-6.12, maka diperoleh nilai BEP sebesar:

$$BEP = \frac{(34.998.291.620 + 0,3 \times 240.116.269.938)}{(770.312.611.178 - 385.715.231.874 - 0,7 \times 240.116.269.938)} \times 100\%$$

$$BEP = 48,43\%$$

6.5.4 Shut Down Point (SDP)

Shut down point adalah tingkat produksi di mana biaya untuk melanjutkan operasi pabrik akan lebih mahal daripada biaya untuk menutup pabrik dan membayar *fixed cost*. Persamaan untuk menghitung SDP adalah sebagai berikut

$$SDP = \frac{0,3R_a}{S_a - V_a - 0,7R_a} \times 100\%$$

Dimana:

Ra = *Annual Regulated Expenses* pada produksi maksimum

Va = *Annual Variable Value* pada Produksi maksimum

Sa = *Annual Sales Value* pada produksi maksimum

Sehingga diperoleh nilai SDP sebesar:

$$SDP = \frac{(0,3 \times 240.116.269.938)}{(770.312.611.178 - 385.715.231.874 - 0,7 \times 240.116.269.938)} \times 100\%$$

$$SDP = 33,27\%$$

6.5.5 *Discounted Cash Flow Rate (DCFR)*

Discounted cash flow of return merupakan besarnya perkiraan keuntungan yang diperoleh setiap tahun, didasarkan atas investasi yang tidak kembali pada setiap akhir tahun selama umur pabrik. Persamaan untuk menghitung DCFR adalah sebagai berikut:

$$(FC + WC)(1 + i)^n - (SV + WC) = C((1 + i)^{n-1} + (1 + i)^{n-2} + \dots + (1 + i) + 1)$$

Dimana:

FCI = *Fixed capital investment*

WCI = *Working capital investment*

SV = *Salvage value* = depresiasi

C = *cash flow* = profit *after taxes* + depresiasi + *finance*

n = umur pabrik = 10 tahun

i = nilai DCFR

sebagai perhitungan digunakan data:

FCI = Rp 250.671.446.688

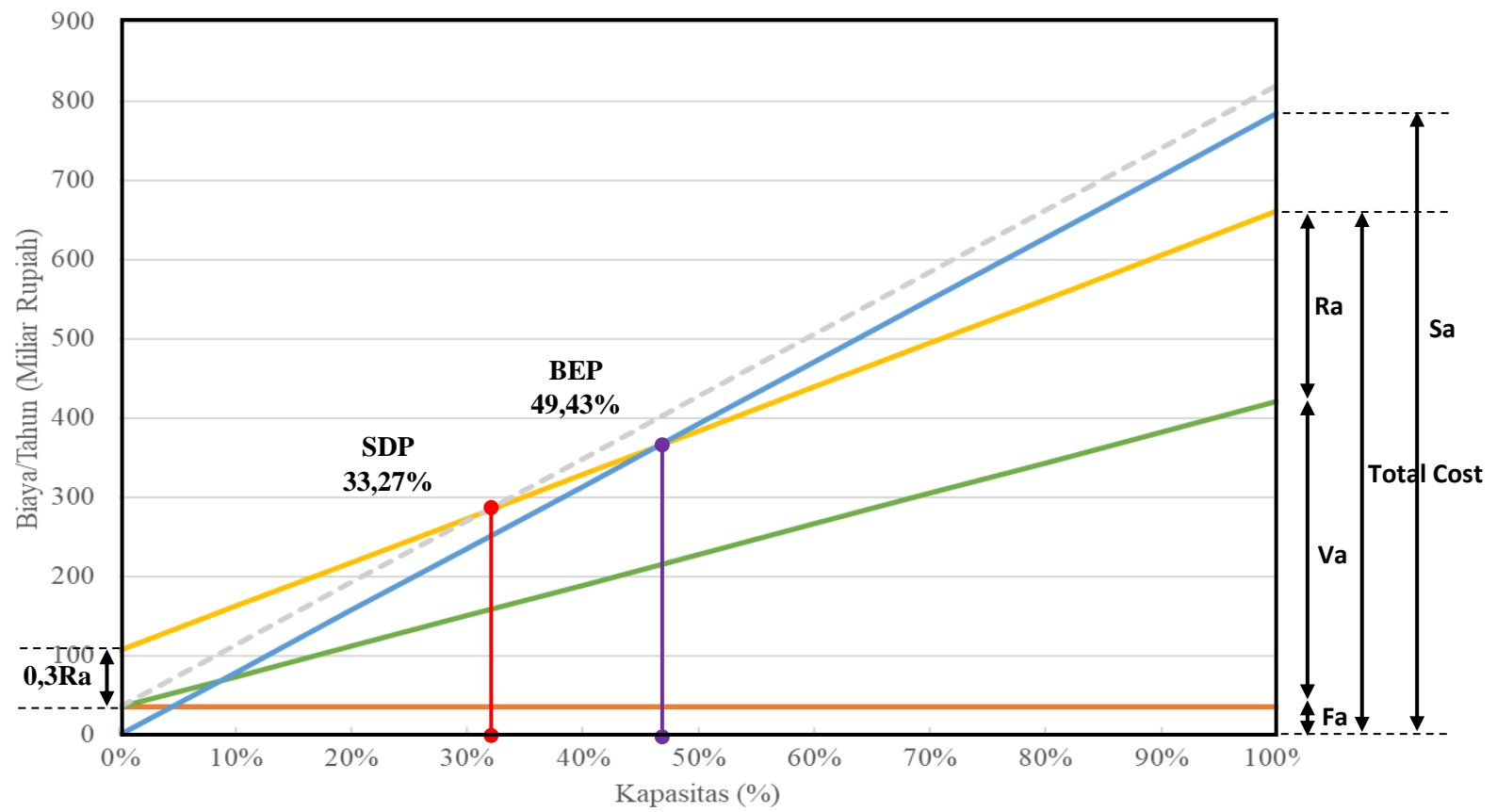
WCI = Rp 47.000.896.254

SV = Rp 25.723.448.093

C = Rp 110.239.865.423

Sehingga dengan trial & error dapat dihitung nilai DCFR. Diperoleh nilai DCFR sebesar:

i = 35,70%



Gambar 6.2 Grafik *Break Even Point* (BEP)

6.6 Resiko Pabrik

Tabel 6.13 Resiko Pabrik

| No | Parameter Resiko | Deskripsi | Risk | | |
|-----------------------------------|--|---|--|------|--|
| | | | Low | High | |
| 1 | Kondisi Operasi | Suhu : 30-469 °C | | ✓ | |
| | | Tekanan : 0,1-1 atm | ✓ | | |
| 2 | Bahan baku dan bahan pendukung yang digunakan | | | | |
| | Metil oleat | Toksisitas : rendah | ✓ | | |
| | | Explosion limits : tidak mudah meledak | ✓ | | |
| | | Flammability : tidak mudah terbakar (1) | ✓ | | |
| | | Stabilitas : stabil | ✓ | | |
| | Trimetilolpropan | Toksisitas : rendah | ✓ | | |
| | | Explosion limits : tidak mudah meledak | ✓ | | |
| | | Flammability : tidak mudah terbakar (1) | ✓ | | |
| | | Stabilitas : stabil | ✓ | | |
| | Potasium Karbonat | Toksisitas : rendah | ✓ | | |
| | | Explosion limits : tidak mudah meledak | ✓ | | |
| | | Flammability : tidak mudah terbakar (1) | ✓ | | |
| | | Stabilitas : stabil | ✓ | | |
| | Nitrogen | Toksisitas : rendah | ✓ | | |
| | | Explosion limits : tidak mudah meledak | ✓ | | |
| | | Flammability : tidak mudah terbakar (1) | ✓ | | |
| | | Stabilitas : stabil | ✓ | | |
| | 3 | Sifat produk yang dihasilkan | | | |
| | | TFATE (<i>biolubricant</i>) | Toksisitas : rendah | ✓ | |
| | | | Explosion limits : tidak mudah meledak | ✓ | |
| Flammability : mudah terbakar (2) | | | | ✓ | |
| Stabilitas : stabil | | | ✓ | | |
| Metanol | | Toksisitas : akut | | ✓ | |

| No | Parameter Resiko | Deskripsi | Risk | |
|----|---------------------|--|------|------|
| | | | Low | High |
| | | Explosion limits : mudah meledak | | ✓ |
| | | Flammability : mudah terbakar (2) | | ✓ |
| | | Stabilitas : stabil | ✓ | |
| 4 | Regulasi Pemerintah | Kebijakan Pemerintah dalam bidang investasi, Pemerintah masih membuka kesempatan investasi bagi industri <i>Biolubricant</i> di Indonesia. Hal ini terlihat dalam Daftar Negatif Investasi (DNI) yang tertuang dalam Keppres No.54 tahun 1993, bahwa <i>Biolubricant</i> tidak termasuk dalam bidang usaha yang tertutup mutlak bagi penanam modal, sehingga masih terbuka peluang investasi untuk PMDN maupun PMA | ✓ | |
| | | Berdasarkan Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 37 Tahun 2018 Tentang Lembaga Penilaian Kesesuaian dalam Rangka Pemberlakuan dan Pengawasan Standar Nasional Indonesia Pelumas Secara Wajib bahwasannya <i>Biolubricant</i> belum termasuk ke dalam jenis pelumas yang diberlakukan di Indonesia | | ✓ |
| 5 | Keberadaan Pabrik | Belum terdapat pabrik <i>Biolubricant</i> di Indonesia. | | ✓ |

Dari parameter resiko diatas, dapat diambil kesimpulan bahwa pabrik *Biolubricant* yang akan didirikan mempunyai resiko rendah.

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

- a). Pabrik *Biolubricant* ini didirikan dengan pertimbangan untuk memenuhi konsumsi lubrikan di Indonesia serta mensubstitusi penggunaan pelumas berbahan baku minyak bumi dengan pelumas berbahan baku minyak nabati. Pendirian pabrik ini juga untuk menyerap tenaga kerja sehingga angka pengangguran di daerah pendirian pabrik berkurang.
- b). Prarancangan pabrik *Biolubricant* dari metil oleat kapasitas 10.806 ton/tahun ini termasuk tergolong pabrik dengan resiko rendah berdasarkan tinjauan proses, kondisi operasi, sifat-sifat bahan baku dan produk, serta regulasi pemerintah.
- c). Proses utama pabrik dijalankan dengan metode transesterifikasi karena waktu reaksi yang lebih cepat serta memiliki potensi ledakan yang lebih rendah dari reaksi lain.
- d). Pabrik *Biolubricant* akan didirikan pada tahun 2027 di Desa Sukaluyu, Kecamatan Telukjambe Timur, Kabupaten Karawang, Jawa Barat di lahan seluas 35.000 m² dengan mempertimbangkan ketersediaan bahan baku, kemudahan pemasaran, kemudahan sarana utilitas berupa sumber air, akses transportasi, dan ketersediaan tenaga kerja.
- e). Berdasarkan evaluasi ekonomi, diperoleh bahwa:

| Parameter Kelayakan | Perhitungan | Standar Kelayakan |
|------------------------------------|----------------|---|
| Keuntungan | | |
| a. Keuntungan sebelum pajak | 83.443.554.327 | Pajak 25% |
| b. Keuntungan setelah pajak | 62.582.665.745 | |
| Return of Investment (ROI) | | |
| a. ROI sebelum pajak | 26,63% | Minimal 11% untuk kategori resiko rendah |
| b. ROI setelah pajak | 19,97% | |
| Pay Out Time (POT) | | |
| a. POT sebelum pajak | 2,9 tahun | Maksimal 5 tahun untuk kategori resiko rendah |
| b. POT setelah pajak | 3,5 tahun | |
| Break Even Point (BEP) | 49,43% | 40-60% |
| Discounted Cash Flow Return (DCFR) | 35,70% | >1,5 bunga bank = minimum 5,75% |

Berdasarkan hasil Analisa ekonomi, dapat disimpulkan bahwa pabrik *Biolubricant* dari metil oleat dengan kapasitas 10.806 ton/tahun layak didirikan.

7.2 Saran

Dalam perancangan pabrik kimia diperlukan pengetahuan dan pemahaman yang didukung dengan referensi serta tinjauan lebih lanjut guna meningkatkan kelayakan pendirian pabrik kimia, diantaranya:

- 1). Optimasi pemilihan alat proses dan penunjang bahan baku perlu diperhatikan guna mengoptimalkan proses dan keuntungan secara signifikan.
- 2). Penyedia bahan baku lokal lebih diutamakan daripada impor guna meminimalisir biaya produksi dan memberdayakan penggunaan produk lokal.
- 3). Pengolahan limbah perlu diperhatikan agar tidak berdampak negatif bagi lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aries R. S. & Newton R. D. 1988. *Chemical Engineering Cost Estimation*.
London: McGraw-Hill Book Co.
- Badan Pusat Statistik Indonesia. 2023. Volume Konsumsi *Lubricant* di Indonesia
Tahun 2017-2021.
- Brown, G.G. 1978. *Unit Operation*. Modern Asia Edition, John Wiley & Sons,
Inc, New York.
- Brownell, L.E., and Young, E.H. 1979. *Process Equipment Design*. John Wiley
and sons Inc, New York
- Cecilia, J. A., Ballesteros Plata, D., Alves Saboya, R. M., Tavares de Luna, F. M.,
Cavalcante Jr, C. L., & Rodríguez-Castellón, E. 2020. *An Overview of The
Biolubricant Production Process: Challenges and Future Perspectives*.
Processes, 8(3), 257.
- Chang, T. S., Masood, H., Yunus, R., Rashid, U., Choong, T. S., & Biak, D. R. A.
2012. *Activity of Calcium Methoxide Catalyst for Synthesis of High Oleic
Palm Oil Based Trimethylolpropane Triesters As Lubricant Base Stock*.
Industrial & engineering chemistry research, 51(15), 5438-5442.
- Coulson, J.M. and Richardson, J.F. 1983. *Chemical Engineering*. Vol. 6.
Pergamon Press Ltd, New York.
- Fogler, H. Scott. 2006. *Elements of Chemical Reaction Engineering*. 4th ed. Ann
Arbor: University of Michigan.

- Geankoplis, C.J. 1983. *Transport Processes and Unit Operations, 3rd Edition*.
Prentice-Hall International Inc., New York.
- Hoong, S. S., Arniza, M. Z., Mariam, N. M. D. N. S., Armylisas, A. H. N., &
Yeong, S. K. 2019. *Synthesis and Physicochemical Properties of Novel
Lauric Acid Capped Estolide Esters and Amides Made from Oleic Acid
and Their Evaluations for Biolubricant Basestock*. *Industrial Crops and
Products*, 140, 111653.
- Kern, D.Q. 1983. *Process Heat transfer*. International Student Edition. Mc Graw
Hill Book Company Inc. Book Com.
- Paul, A. K., Borugadda, V. B., & Goud, V. V. 2021. *In-Situ Epoxidation of Waste
Cooking Oil and Its Methyl Esters for Lubricant Applications:
Characterization and Rheology*. *Lubricants*, 9(3), 27.
- Peter, M.S. and Timmerhaus, K.D. 1980. *Plant Design and Economic for
Chemical Engineers*. 3rd edition. Mc Graw-Hill Book Company, Tokyo.
- Rochmat, A., Nurhanifah, A. H., Parviana, Y., & Suaedah, S. 2018.
*Biolubrication Synthesis Made from Used Cooking Oil and Bayah Natural
Zeolite Catalyst*. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 21(3), 113-117.
- Shomchoam, B., & Yoosuk, B. 2014. *Eco-Friendly Lubricant by Partial
Hydrogenation of Palm Oil Over Pd/ γ -Al₂O₃ Catalyst*. *Industrial crops
and products*, 62, 395-399.
- Smith, J.M. and Van Ness, H.C. 1996. *Introduction to Chemical Engineering
Thermodynamics*. Prentice Hall, Englewood Cliffs., New Jersey

- Wallas, S.M. 1988. *Chemical Process Equipment Selection and Design*. Butterworths-Heinemann Series in Chemical Engineering, London, USA.
- Xie, Q., Zhu, H., Xu, P., Xing, K., Yu, S., Liang, X., & Ji, J. 2022. *Transesterification of Methyl Oleate for Sustainable Production of Biolubricant: Process Optimization and Kinetic Study*. *Industrial Crops and Products*, 182, 114879.
- Yaws, C. L. 2015. *The Yaws Handbook of Vapor Pressure: Antoine Coefficients*. Gulf Professional Publishing.
- Yaws, C.L. 1999. *Thermodynamic and Physical Properties data*. Mc Graw Hill Book Co., Singapore.

LAMPIRAN-LAMPIRAN

LAMPIRAN A

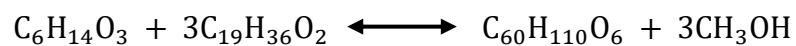
REAKTOR

| | |
|-----------------|--|
| Tipe Reaktor | : Reaktor Alir Tangki Berpengaduk |
| Fungsi | : Mereaksikan Metil Oleat dan Trimetilolpropan menghasilkan Trimetilolpropan Fatty Acid Triester dan Metanol |
| Kondisi Operasi | : Tekanan : 1 atm |
| | Suhu : 120°C |
| | Konversi : 70% |

OPTIMASI REAKTOR

A. Menentukan persamaan laju reaksi

Reaksi di dalam reaktor:



Diketahui:

$$\text{Konstanta laju reaksi (k)} = 2,673 \text{ m}^3/\text{kmol} \cdot \text{jam} \quad (\text{Xie et al., 2022})$$

$$C_{a0} = \frac{F_m \text{ reaktan}}{F_v \text{ total}}$$

$$C_{a0} = \frac{6,257 \text{ kmol/jam}}{3,849 \text{ m}^3/\text{jam}}$$

$$C_{A0} = 1,626 \text{ kmol/m}^3$$

$$\text{Laju reaksi } (-r_A) = \frac{dC_{MO}}{dt} = -k_1 C_{MO} C_{TMP} \quad (\text{Xie et al., 2022})$$

$$-r_A = 0,954 \text{ kmol/jam}$$

B. Menentukan volume reaktor

$$\begin{aligned} \text{Volume (V)} &= \frac{F_{A0} \times X_A}{(-r_A)} \\ &= 123,993 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Waktu Tinggal (t)} &= \frac{V}{F_v} \\ &= 32 \text{ jam} \end{aligned}$$

C. Optimasi Reaktor

Diketahui:

$$X_{A1} = 0,7$$

$$k = 2,673 \text{ m}^3/\text{kmol} \cdot \text{jam}$$

$$F_v = 3,849 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$C_{A0} = 1,626 \text{ kmol/m}^3$$

$$C_{B0} = 0,406 \text{ kmol/m}^3$$

$$M = 0,250$$

Persamaan umum

$$X_{An-1} = X_{An} - \frac{V \cdot k \cdot C_{A0} (1 - X_{An}) (M - X_{An})}{F_v}$$

Dimana :

X_{An-1} = Konversi

X_{An} = Konversi ke-n

k = Koefisien laju reaksi

F_v = Laju alir volumetrik

C_{A0} = Konsentrasi reaktan A

C_{B0} = Konsentrasi reaktan B

M = Perbandingan C_{A0} dan C_{B0}

OPTIMASI 1

Jumlah Reaktor = 1

Volume 1 reaktor = 123,993 m³

X_{A1} = 0,7

OPTIMASI 2

Jumlah Reaktor = 2

Trial volume reaktor = 21,404 m³

X_{A2} = 0,7

Reaktor 1:

$$X_{A1} = X_{A2} - \frac{V \cdot k \cdot CA_0 (1 - X_{A2})(M - X_{A2})}{Fv}$$

$$X_{A1} = 0,579$$

Reaktor 2:

$$X_{A0} = X_{A1} - \frac{V \cdot k \cdot CA_0 (1 - X_{A1})(M - X_{A1})}{Fv}$$

$$X_{A0} = 0$$

OPTIMASI 3

$$\text{Jumlah Reaktor} = 3$$

$$\text{Total volume reaktor} = 10,199 \text{ m}^3$$

$$X_{A3} = 0,7$$

Reaktor 1:

$$X_{A2} = X_{A3} - \frac{V \cdot k \cdot CA_0 (1 - X_{A3})(M - X_{A3})}{Fv}$$

$$X_{A2} = 0,642$$

Reaktor 2:

$$X_{A1} = X_{A2} - \frac{V \cdot k \cdot CA_0 (1 - X_{A2})(M - X_{A2})}{Fv}$$

$$X_{A1} = 0,495$$

Reaktor 3:

$$X_{A0} = X_{A1} - \frac{V \cdot k \cdot CA_0 (1 - X_{A1})(M - X_{A1})}{Fv}$$

$$X_{A0} = 0$$

OPTIMASI 4

$$\text{Jumlah Reaktor} = 4$$

$$\text{Total volume reaktor} = 6,489 \text{ m}^3$$

$$X_{A4} = 0,7$$

Reaktor 1:

$$X_{A3} = X_{A4} - \frac{V \cdot k \cdot CA_0 (1 - X_{A4})(M - X_{A4})}{Fv}$$

$$X_{A3} = 0,663$$

Reaktor 2:

$$X_{A2} = X_{A3} - \frac{V \cdot k \cdot CA_0 (1 - X_{A3})(M - X_{A3})}{Fv}$$

$$X_{A2} = 0,592$$

Reaktor 3:

$$X_{A1} = X_{A2} - \frac{V \cdot k \cdot CA_0 (1 - X_{A2})(M - X_{A2})}{Fv}$$

$$X_{A1} = 0,435$$

Reaktor 4:

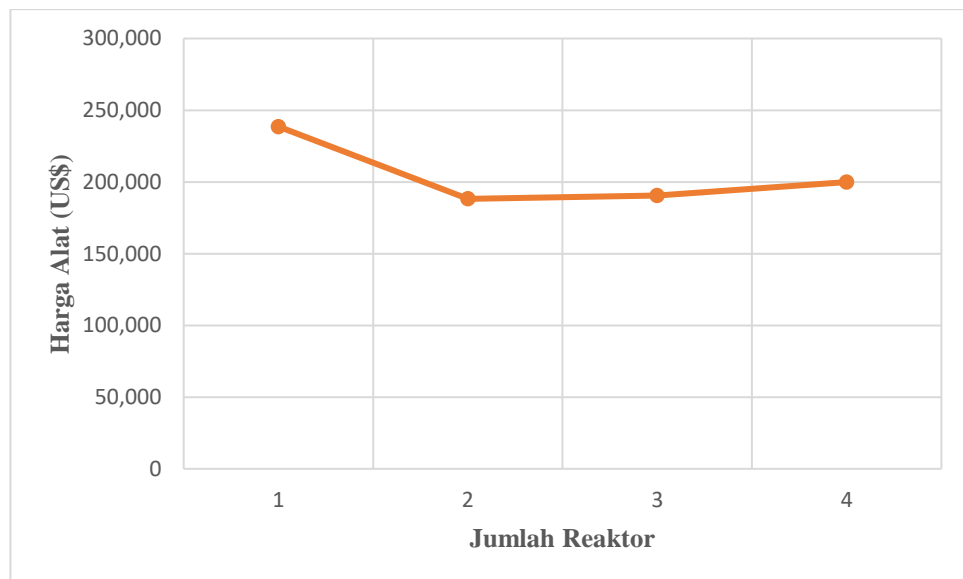
$$X_{A0} = X_{A1} - \frac{V \cdot k \cdot C_{A0} (1 - X_{A1}) (M - X_{A1})}{F_v}$$

$$X_{A0} = 0$$

Tabel 1. Total Harga Reaktor

| Jumlah Reaktor | V (m ³) | V (gallon) | V total (gallon) | Harga (USD) | Harga total (USD) |
|----------------|---------------------|------------|------------------|-------------|-------------------|
| 1 | 123,993 | 32.755 | 32.755 | 238.600 | 238.600 |
| 2 | 21,404 | 5.654 | 11.309 | 94.100 | 188.200 |
| 3 | 10,199 | 2.694 | 8.083 | 63.500 | 190.500 |
| 4 | 6,489 | 1.714 | 6.857 | 50.000 | 200.000 |

Referensi harga: Matches, 2014



Gambar 1. Hubungan Antara Jumlah Reaktor dan Harga Reaktor

Berdasarkan optimasi yang telah dilakukan, maka jumlah reaktor yang paling optimum adalah sebanyak 2 reaktor.

Reaktor 1 (R-01)

Tipe Reaktor : Reaktor Alir Tangki Berpengaduk

Fungsi : Mereaksikan Metil Oleat dan Trimetilolpropan menghasilkan Trimetilolpropan Fatty Acid Triester dan Metanol

Kondisi Operasi : Tekanan : 1 atm

Suhu : 120°C

Konversi : 58%

Tabel 2. Densitas Campuran Komponen di Reaktor 1

| Komponen | Fm (kmol/jam) | Fw (kg/jam) | ρ_i (kg/m ³) | Xi | ρ campuran (kg/m ³) |
|--------------------------------|---------------|-------------|-------------------------------|-------|--------------------------------------|
| Methyl Oleate | 6,257 | 1.852,000 | 834,500 | 0,609 | 507,947 |
| Trimethylolpropane | 1,564 | 209,601 | 1.084,000 | 0,069 | 74,675 |
| TFATE (BIOLUBRICANT) | 0,030 | 27,568 | 910,000 | 0,009 | 8,245 |
| Methanol | 0,000 | 0,000 | 792,200 | 0,000 | 0,000 |
| Nitrogen | 33,060 | 925,680 | 1,153 | 0,304 | 0,351 |
| K ₂ CO ₃ | 0,201 | 27,780 | 2.430,000 | 0,009 | 22,187 |
| Total | 41,112 | 3.042,630 | 6.051,853 | 1,000 | 613,404 |

1. Spesifikasi Reaktor

a). Dimensi Reaktor

Menurut Xie *et al* (2022), flow rate nitrogen yang paling efektif ada pada rentang 600-700 mL/menit per 100 gram MO. Pada pabrik ini digunakan 700 mL/menit. Pada flowrate metil oleat 1.852 kg/jam, volume nitrogen

yang dibutuhkan adalah 12,964 m³ dengan waktu tinggal 1 menit. Sehingga volume total reaktor sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V \text{ cairan total} &= \text{Volume cairan} + \text{Volume N}_2 \\ &= (21,404 + 12,964) \text{ m}^3 \\ &= 34,368 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Perancangan reaktor ini menggunakan *overdesign* sebesar 20%, sehingga volume reaktor menjadi:

$$\begin{aligned} \text{Volume } \textit{overdesign} &= 120\% \times V \text{ reaktor} \\ &= 41,242 \text{ m}^3 \\ &= 1.456,461 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Reaktor yang digunakan berbentuk silinder tegak, maka:

$$V \text{ reaktor} = V \text{ silinder} + V \text{ head}$$

Head yang digunakan berbentuk *flanged and dished head (Torispherical)*

Perancangan ini memilih perbandingan 2:1, sehingga $H = 2D$

Dengan menggunakan (Pers.3.12 dan 3.1, Brownell and Young, 1959)

$$H = \frac{4 \times V}{D^2 \times \pi}$$

$$H = \frac{4 \times V}{\left(\frac{1}{2} \times H\right)^2 \times \pi}$$

$$H = \left(\frac{4 \times V}{\left(\frac{1}{2}\right)^2 \times \pi} \right)^{1/3}$$

$$H = 19,506 \text{ ft} = 234,069 \text{ in} = 5,945 \text{ m}$$

$$D = \frac{1}{2} \times H$$

$$D = 9,753 \text{ ft} = 117,035 \text{ in} = 2,973 \text{ m}$$

Dari Tabel 5.7 Brownell and Young, dipilih diameter standar:

$$D \text{ standar} = 120 \text{ in} = 3,048 \text{ m}$$

b). Mencari Tekanan Hidrostatik

$$V \text{ cairan} = h_{\text{cairan}} \times \frac{\pi D^2}{4}$$

$$h \text{ cairan} = \frac{4 \times V_{\text{cairan}}}{\pi \times D^2}$$

$$= 4,954 \text{ m}$$

$$P \text{ hidrostatik} = \rho \times g \times h_{\text{cairan}}$$

$$= 29.783 \text{ N/m}^2$$

$$= 4,319 \text{ psia}$$

Dari buku Brownell and Young (1959), didapatkan:

- *Allowable stress* (f) = 12.650 psia
- Sambungan terpilih = *double welded butt joint*
- Efisiensi sambungan (E) = 80%
- *Corrosion allowance* (C) = 0,125
- Jari-jari reaktor (ri) = 58,517 in
- Tekanan total (P) = P operasi + P hidrostatik
 = 14,696 + 4,319
 = 19,014 psia

c). Menghitung Tebal Shell

Digunakan (Pers.13.1, Brownell and Young, 1959).

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

$$t_s = 0,235 \text{ in}$$

Keterangan:

ts : Tebal *shell*

P : Tekanan

r : Jari-jari

E : Efisiensi pengelasan

C : Faktor koreksi

f : Tegangan yang diizinkan (*T 13.2, Coulson 4ed*)

Berdasarkan Tabel 5.7 Brownell and Young (1959) digunakan tebal shell standar sebesar 3/4 in.

$$\text{ID shell} = 117,035 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} \text{OD shell} &= \text{ID} + 2t \\ &= 117,535 \text{ in} \end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 5.7 Brownell and Young (1959) digunakan OD standar sebesar 120 in (3,048 m). Diperoleh juga data sebagai berikut:

$$\text{Icr} = 7,25 \text{ in}$$

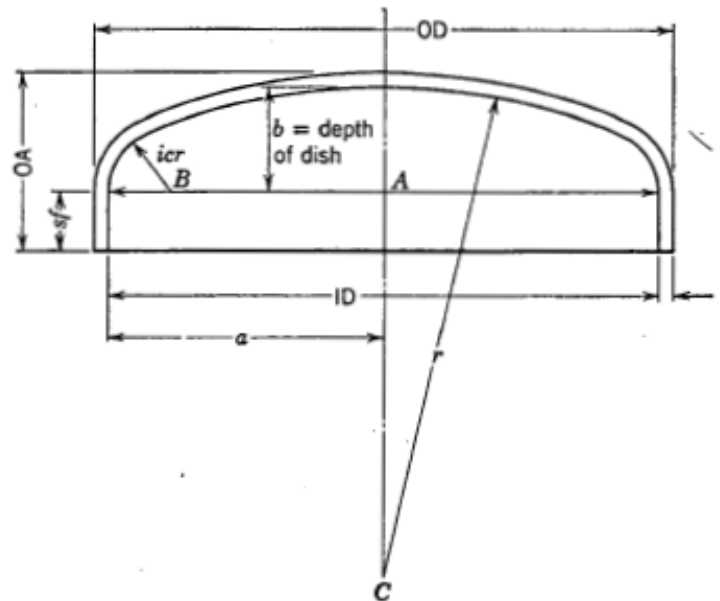
$$\text{Rc} = 114 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} \text{ID} &= \text{OD} - 2t_s \\ &= 120 - (2 \times 0,25) \\ &= 119,5 \text{ in} = 9,958 \text{ ft} = 3,035 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{H} &= 2D \\ &= 2 \times 119,5 \\ &= 239 \text{ in} = 19,917 \text{ ft} = 6,071 \text{ m} \end{aligned}$$

d). Dimensi Head

Head yang dipilih berbentuk *flanged and dished head* (Torispherical) karena umumnya digunakan untuk tekanan operasi hingga 15 bar dan harganya relatif murah.



Gambar 2. Flanged and Dished Head (Torispherical)

Tinggi Head:

$$W = \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{r_c}{icr}} \right)$$

$$W = 1,741$$

$$t_h = \frac{P \times r_c \times W}{2 \times fE - 0,2P} + C$$

$$t_h = 0,312 \text{ in}$$

Dari buku Brownell and Young (1959), dipilih tebal head standar dan sf.

$$t_h \text{ standar} = 5/16 (0,313 \text{ in}) \quad (\text{Tabel 5.6})$$

$$\begin{aligned}
 sf &= 3,5 \text{ in (0,089 m)} && \text{(Tabel 5.8)} \\
 ID &= OD - 2th \\
 &= 120 - (2 \times 0,313) \\
 &= 119,375 \text{ in} = 3,032 \text{ m} \\
 a &= ID / 2 \\
 &= 119,375 / 2 \\
 &= 59,688 \text{ in} \\
 AB &= a - icr \\
 &= 59,688 - 7,25 \\
 &= 52,438 \text{ in} \\
 BC &= rc - icr \\
 &= 114 - 7,25 \\
 &= 106,750 \text{ in} \\
 AC &= \sqrt{BC^2 - AB^2} \\
 &= \sqrt{106,750^2 - 52,438^2} \\
 &= 92,983 \text{ in} \\
 b &= rc - AC \\
 &= 114 - 92,983 \\
 &= 21,017 \text{ in} = 0,534 \text{ m} \\
 AO &= sf + b + th \\
 &= 3,5 + 21,017 + 0,313 \\
 &= 24,829 \text{ in} = 0,631 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\text{Volume head total (V head)} = \text{V head (Vh)} + \text{V flange (Vsf)}$$

Volume head untuk Torispherical dished head adalah:

$$\begin{aligned} V_h &= 0,000049 \times ID^3 \\ &= 83,356 \text{ ft}^3 = 2,359 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{sf} &= \frac{\pi}{4} \times ID^2 \times S_f \\ &= 0,642 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Sehingga volume head total adalah:

$$\begin{aligned} V \text{ head} &= V_h + V_{sf} \\ &= 2,359 + 0,642 \\ &= 3,001 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Luas Permukaan Cairan (A_t):

$$A_t = \frac{\pi}{4} \times D_i^2$$

$$A_t = 7,323 \text{ m}^2$$

V cairan dalam shell = V cairan – V head

$$V \text{ cairan dalam shell} = 31,368 \text{ m}^3$$

Tinggi Cairan dalam Shell:

$$h_s = \frac{V_{\text{cairan dalam shell}}}{A_t}$$

$$h_s = 4,337 \text{ m} = 170,756 \text{ in}$$

Tinggi Total Reaktor:

$$h_s = \text{tinggi shell} + (2 \times \text{tinggi head})$$

$$h_s = 7,332 \text{ m} = 288,659 \text{ in}$$

e). Luas Permukaan Reaktor

Untuk tebal head < 1 in, menggunakan persamaan 5.12 Brownell and Young (1959) sebagai berikut:

$$De = OD + \frac{OD}{42} + 2S_f + \frac{2}{3}icr$$

$$De = 134,690 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} A_{\text{total}} &= A_{\text{shell}} + 2A_{\text{setiap head}} \\ &= \pi DH + 2\frac{\pi}{4}D_e^2 \\ &= 118.162 \text{ in}^2 = 76,215 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

2. Spesifikasi Pengaduk

a). Menghitung Viskositas

$$P = 1 \text{ atm}$$

$$T = 120 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$= 393 \text{ K}$$

$$\log \mu = A + \frac{B}{T} + CT + DT^2$$

Tabel 3. Perhitungan Viskositas

| Komponen | Fm (kmol/jam) | Fw output (kg/jam) | Xi | μ (cP) | μ campuran (cP) |
|--------------------------------|---------------|--------------------|-------|------------|---------------------|
| Methyl Oleate | 2,634 | 779,692 | 0,256 | 0,906 | 0,232 |
| Trimethylolpropane | 0,357 | 47,789 | 0,016 | 157,000 | 2,466 |
| Nitrogen | 33,060 | 925,680 | 0,304 | 0,214 | 0,065 |
| K ₂ CO ₃ | 0,201 | 27,780 | 0,009 | 0,000 | 0,000 |
| Methanol | 3,623 | 115,925 | 0,038 | 0,495 | 0,019 |
| TFATE (BIOLUBRICANT) | 1,237 | 1.145,763 | 0,377 | 8,583 | 3,232 |
| Total | 41,112 | 3.042,630 | 1,000 | 167,198 | 6,014 |

$$\mu = 6,014 \text{ cP}$$

$$\mu = 0,004 \text{ lb/ft.s}$$

$$\mu = 0,006 \text{ kg/m.s}$$

Pengaduk yang dipilih adalah jenis 6 blades impeller. Perancangan untuk pengadukan dilakukan dengan prinsip similaritas menggunakan model sesuai dengan referensi buku Wallas halaman 279, kelengkapan pengaduk ditentukan berdasarkan Rule of Thumb.

$$H_{I,s} = D_t$$

$$H_{I,s} = \text{Tinggi cairan di shell} = 4,954 \text{ m}$$

$$D_t = \text{Diameter tangki} = 3,048 \text{ m}$$

$$D_i = \text{Diameter impeller} = 1,651 \text{ m}$$

$$Z_i = \text{Tinggi impeller dari dasar tangki} = 1,651 \text{ m}$$

$$W_i = \text{Lebar sirip impeller} = 0,330 \text{ m}$$

$$W_b = \text{Lebar baffle} = 0,495 \text{ m}$$

$$\text{Offset 1} = \text{Jarak baffle dari dasar tangki} = 0,826 \text{ m}$$

$$\text{Offset 2} = \text{Jarak baffle dari permukaan cairan} = 0,275 \text{ m}$$

$$L_b = \text{Panjang baffle} = 3,853 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah baffle} = 4$$

b). Jumlah Pengaduk

$$\begin{aligned} S_g &= \frac{\rho_{\text{cairan}}}{\rho_{\text{air}}} \\ &= 0,615 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} WELH &= h_{\text{cairan}} \times S_g \\ &= 3,048 \text{ m} \end{aligned}$$

$$= 9,998 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah pengaduk} &= \frac{WELH}{D \text{ pengaduk}} \\ &= 1,845 \approx 2 \end{aligned}$$

c). Kecepatan Pengadukan

$$N = \frac{600}{\pi DI} \sqrt{\frac{WELH}{2 DI}}$$

$$N = 33,875 \text{ rpm} = 0,576 \text{ rps}$$

d). Nilai Reynold

$$Re = \frac{\rho N D_i^2}{\mu}$$

$$Re = 160.186 \text{ (aliran turbulen)}$$

e). Power Number (Np)

Nilai power number didapatkan dari fig.3.4-4 Geankoplis

$$Np = 5$$

$$P = Np \times \rho \times N^3 \times D_i^5$$

$$P = 7.196 \text{ watt}$$

$$P = 7,196 \text{ kWh}$$

$$P = 10 \text{ HP}$$

3. Perancangan Jacket Pemanas

a). Kebutuhan Steam

$$\begin{aligned} Q \text{ steam} &= 2.569.284 \text{ kJ/jam} \\ &= 2.435.167 \text{ Btu/jam} \end{aligned}$$

Data steam :

$$T_{in} = 150^{\circ}\text{C}$$

$$T_{out} = 150^{\circ}\text{C}$$

Diketahui :

$$H_v = 2.740,3 \text{ kJ/kg}$$

$$H_I = 610,63 \text{ kJ/kg}$$

$$\lambda = H_v - H_I$$

$$= 2.129,67 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{steam} = m \times \lambda$$

$$m_{steam} = \frac{Q}{\lambda}$$

$$= 1.206,424 \text{ kJ/kg}$$

Diketahui :

$$P = 14.696 \text{ psi}$$

$$\rho_{steam} = 0,962 \text{ kg/L}$$

$$Debit_{steam} = \frac{m}{\rho}$$

$$= 1.254,08 \text{ L/jam}$$

$$= 1,25 \text{ m}^3/\text{jam}$$

b). Luas Perpindahan Panas

$$A_{tersedia} = \frac{\pi}{4} \cdot D_i^2 + \pi \cdot D_i \cdot h_{cairan}$$

$$= 54,452 \text{ m}^2$$

$$= 586,116 \text{ ft}^2$$

Tabel 4. Neraca Panas Reaktor

| Komponen | Input (kJ/jam) | Output (kJ/jam) |
|------------|----------------|-----------------|
| Q3 | 1.088 | |
| Q4 | 675 | |
| Q5 | 337 | |
| Q6 | | 447 |
| Q9 | | 1.929 |
| Qloss | | 256.928 |
| Qpemanasan | 257.204 | |
| Total | 259.304 | 259.304 |

Diketahui :

$$Q = 2.569.284 \text{ kJ/jam}$$

$$Ud = 260 \text{ Btu/jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

$$= 1.475,37 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\Delta T = (120-120) \text{ } ^\circ\text{C} = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$= 278 \text{ K}$$

$$\begin{aligned} A_{required} &= \frac{Q}{Ud \cdot \Delta T} \\ &= 6,379 \text{ m}^2 \\ &= 68,662 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

Karena $A_{tersedia} > A_{required}$, maka dapat digunakan jaket pemanas.

c). Dimensi Jaket Pemanas

$$\text{Tinggi jaket (h}_j\text{)} = h \text{ cairan} + 20\% h \text{ cairan}$$

$$h \text{ cairan} = 4,954 \text{ m}$$

$$h_j = 5,945 \text{ m}$$

Diameter dalam jaket (D_i)

$$D_i = D_i \text{ tangki} + 2 \times t_s$$

$$D_i = 3,035$$

$$t_s = 0,006 \text{ m}$$

$$D_i = 3,048 \text{ m}$$

$$= 9,997 \text{ ft}$$

Diameter luar jaket (D_o)

$$\text{Asumsi jarak jaket} = 2 \text{ in}$$

$$= 0.0508 \text{ m}$$

$$D_o = D_i \text{ jaket} + 2 \times \text{jarak jaket}$$

$$= 3,150 \text{ m}$$

Tekanan design jaket

$$P \text{ steam} = 14,696 \text{ psi}$$

$$P \text{ design} = 17,635 \text{ psi}$$

Tebal jaket

$$t_j = \frac{P \times r}{(f \cdot E - 0,6P)} + C$$

$$t_j = 0,230 \text{ in}$$

$$P = 17,635 \text{ psi}$$

$$r = 50,987 \text{ in}$$

$$f = 12.650 \text{ psi}$$

$$E = 0,8$$

$$C = 0,125$$

$$t_j \text{ standar} = 1/4 \text{ in}$$

$$= 0,25 \text{ in}$$

$$= 0.011 \text{ m}$$

Reaktor 2 (R-02)

Tipe Reaktor : Reaktor Alir Tangki Berpengaduk

Fungsi : Mereaksikan Metil Oleat dan Trimetilolpropan menghasilkan Trimetilolpropan Fatty Acid Triester dan Metanol

Kondisi Operasi : Tekanan : 1 atm

Suhu : 120°C

Konversi : 29%

Reaksi di dalam reaktor:



Tabel 5. Densitas Campuran Komponen di Reaktor 1

| Komponen | Fm (kmol/jam) | Fw (kg/jam) | ρ_i (kg/m ³) | Xi | ρ campuran (kg/m ³) |
|--------------------------------|---------------|-------------|-------------------------------|-------|--------------------------------------|
| Methyl Oleate | 2,634 | 779,692 | 834,500 | 0,266 | 221,876 |
| Trimethylolpropane | 0,357 | 47,789 | 1084,000 | 0,016 | 17,665 |
| TFATE (BIOLUBRICANT) | 1,237 | 1.145,763 | 910,000 | 0,391 | 355,548 |
| Methanol | 0,181 | 5,796 | 792,200 | 0,002 | 1,566 |
| Nitrogen | 33,060 | 925,680 | 1,153 | 0,316 | 0,364 |
| K ₂ CO ₃ | 0,201 | 27,780 | 2430,000 | 0,009 | 22,020 |
| Total | 37,670 | 2.932,501 | 6051,853 | 1,000 | 620,039 |

1. Spesifikasi Reaktor

a). Dimensi Reaktor

$$\begin{aligned}V \text{ cairan total} &= \text{Volume cairan} + \text{Volume N}_2 \\ &= (23,404 + 12,964) \text{ m}^3 \\ &= 34,368 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Perancangan reaktor ini menggunakan *overdesign* sebesar 20%, sehingga volume reaktor menjadi:

$$\begin{aligned}\text{Volume } \textit{overdesign} &= 120\% \times V \text{ reaktor} \\ &= 41,242 \text{ m}^3 \\ &= 1.456,461 \text{ ft}^3\end{aligned}$$

Reaktor yang digunakan berbentuk silinder tegak, maka:

$$V \text{ reaktor} = V \text{ silinder} + V \text{ head}$$

Head yang digunakan berbentuk *flanged and dished head (Torispherical)*

Perancangan ini memilih perbandingan 2:1, sehingga $H = 2D$

Dengan menggunakan (Pers.3.12 dan 3.1, Brownell and Young, 1959)

$$H = \frac{4 \times V}{D^2 \times \pi}$$

$$H = \frac{4 \times V}{\left(\frac{1}{2} \times H\right)^2 \times \pi}$$

$$H = \left(\frac{4 \times V}{\left(\frac{1}{2}\right)^2 \times \pi} \right)^{1/3}$$

$$H = 19,506 \text{ ft} = 234,069 \text{ in} = 5,945 \text{ m}$$

$$D = \frac{1}{2} \times H$$

$$D = 9,753 \text{ ft} = 117,035 \text{ in} = 2,973 \text{ m}$$

Dari Tabel 5.7 Brownell and Young, dipilih diameter standar:

$$D \text{ standar} = 120 \text{ in} = 3,048 \text{ m}$$

b). Mencari Tekanan Hidrostatik

$$V \text{ cairan} = h_{\text{cairan}} \times \frac{\pi D^2}{4}$$

$$h \text{ cairan} = \frac{4 \times V_{\text{cairan}}}{\pi \times D^2}$$

$$= 4,954 \text{ m}$$

$$P \text{ hidrostatik} = \rho \times g \times h_{\text{cairan}}$$

$$= 30.105 \text{ N/m}^2$$

$$= 4,365 \text{ psia}$$

Dari buku Brownell and Young (1959), didapatkan:

- *Allowable stress* (f) = 12.650 psia
- Sambungan terpilih = *double welded butt joint*
- Efisiensi sambungan (E) = 80%
- *Corrosion allowance* (C) = 0,125
- Jari-jari reaktor (ri) = 58,517 in
- Tekanan total (P) = P operasi + P hidrostatik
 = 14,696 + 4,365
 = 19,061 psia

c). Menghitung Tebal Shell

Digunakan (Pers.13.1, Brownell and Young, 1959).

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

$$t_s = 0,235 \text{ in}$$

Keterangan:

t_s : Tebal *shell*

P : Tekanan

r : Jari-jari

E : Efisiensi pengelasan

C : Faktor koreksi

f : Tegangan yang diizinkan (*T 13.2, Coulson 4ed*)

Berdasarkan Tabel 5.7 Brownell and Young (1959) digunakan tebal shell standar sebesar 3/4 in.

$$\text{ID shell} = 117,035 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} \text{OD shell} &= \text{ID} + 2t \\ &= 117,535 \text{ in} \end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 5.7 Brownell and Young (1959) digunakan OD standar sebesar 102 in (2,591 m). Diperoleh juga data sebagai berikut:

$$\text{Icr} = 7,25 \text{ in}$$

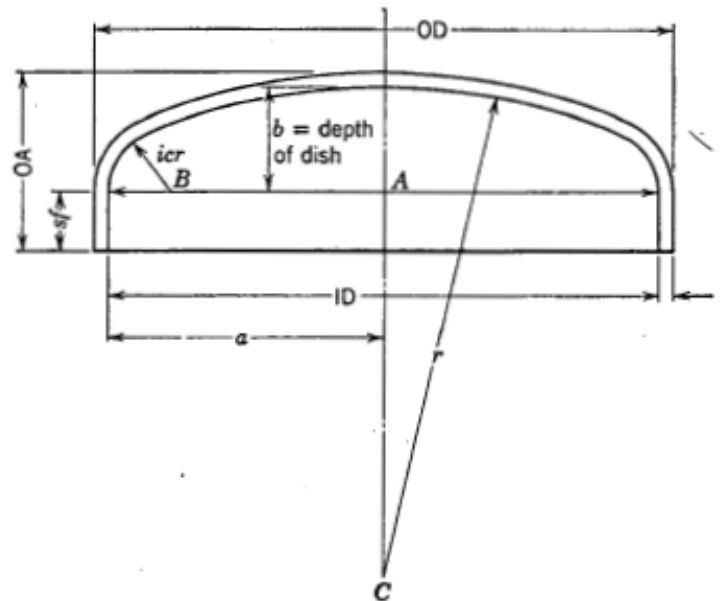
$$\text{Rc} = 120 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} \text{ID} &= \text{OD} - 2t_s \\ &= 120 - (2 \times 0,25) \\ &= 119,500 \text{ in} = 9,958 \text{ ft} = 3,035 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{H} &= 2D \\ &= 2 \times 119,500 \\ &= 239 \text{ in} = 19,917 \text{ ft} = 6,071 \text{ m} \end{aligned}$$

d). Dimensi Head

Head yang dipilih berbentuk *flanged and dished head* (Torispherical) karena umumnya digunakan untuk tekanan operasi hingga 15 bar dan harganya relatif murah.



Gambar 3. Flanged and Dished Head (Torispherical)

Tinggi Head:

$$W = \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{r_c}{icr}} \right)$$

$$W = 1,741$$

$$t_h = \frac{P \times r_c \times W}{2 \times fE - 0,2P} + C$$

$$t_h = 0,312 \text{ in}$$

Dari buku Brownell and Young (1959), dipilih tebal head standar dan sf.

$$t_h \text{ standar} = 5/16 (0,313 \text{ in}) \quad (\text{Tabel 5.6})$$

$$\begin{aligned}
sf &= 3,5 \text{ in (0,089 m)} && \text{(Tabel 5.8)} \\
ID &= OD - 2th \\
&= 120 - (2 \times 0,313) \\
&= 119,375 \text{ in} = 3,032 \text{ m} \\
a &= ID / 2 \\
&= 119,375 / 2 \\
&= 59,688 \text{ in} \\
AB &= a - icr \\
&= 59,688 - 7,25 \\
&= 52,438 \text{ in} \\
BC &= rc - icr \\
&= 120 - 7,25 \\
&= 106,750 \text{ in} \\
AC &= \sqrt{BC^2 - AB^2} \\
&= \sqrt{106,750^2 - 52,438^2} \\
&= 92,983 \text{ in} \\
b &= rc - AC \\
&= 114 - 92,983 \\
&= 21,017 \text{ in} = 0,534 \text{ m} \\
AO &= sf + b + th \\
&= 3,5 + 21,017 + 0,313 \\
&= 24,829 \text{ in} = 0,631 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$\text{Volume head total (V head)} = \text{V head (Vh)} + \text{V flange (Vsf)}$$

Volume head untuk Torispherical dished head adalah:

$$\begin{aligned} V_h &= 0,000049 \times ID^3 \\ &= 83,356 \text{ ft}^3 = 2,359 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{sf} &= \frac{\pi}{4} \times ID^2 \times S_f \\ &= 0,642 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Sehingga volume head total adalah:

$$\begin{aligned} V \text{ head} &= V_h + V_{sf} \\ &= 2,359 + 0,642 \\ &= 3,001 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Luas Permukaan Cairan (At):

$$A_t = \frac{\pi}{4} \times D_i^2$$

$$A_t = 7,232 \text{ m}^2$$

V cairan dalam shell = V cairan – V head

$$V \text{ cairan dalam shell} = 31,368 \text{ m}^3$$

Tinggi Cairan dalam Shell:

$$h_s = \frac{V_{\text{cairan dalam shell}}}{A_t}$$

$$h_s = 4,337 \text{ m} = 170,756 \text{ in}$$

Tinggi Total Reaktor:

$$h_s = \text{tinggi shell} + (2 \times \text{tinggi head})$$

$$h_s = 7,332 \text{ m} = 288,659 \text{ in}$$

e). Luas Permukaan Reaktor

Untuk tebal head < 1 in, menggunakan persamaan 5.12 Brownell and Young (1959) sebagai berikut:

$$De = OD + \frac{OD}{42} + 2S_f + \frac{2}{3}icr$$

$$De = 134,690 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} A_{\text{total}} &= A_{\text{shell}} + 2A_{\text{setiap head}} \\ &= \pi DH + 2\frac{\pi}{4}D_e^2 \\ &= 118.162 \text{ in}^2 = 76,215 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

2. Spesifikasi Pengaduk

f). Menghitung Viskositas

$$P = 1 \text{ atm}$$

$$T = 120 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$= 393 \text{ K}$$

$$\log \mu = A + \frac{B}{T} + CT + DT^2$$

Tabel 6. Perhitungan Viskositas

| Komponen | Fm (kmol/jam) | Fw output (kg/jam) | Xi | μ (cP) | μ campuran (cP) |
|--------------------------------|---------------|--------------------|-------|------------|---------------------|
| Methyl Oleate | 1,877 | 555,600 | 0,189 | 0,906 | 0,172 |
| Trimethylolpropane | 0,104 | 13,973 | 0,005 | 157,000 | 0,748 |
| Nitrogen | 33,060 | 925,680 | 0,316 | 0,214 | 0,068 |
| K ₂ CO ₃ | 0,201 | 27,780 | 0,009 | 0,000 | 0,000 |
| Methanol | 0,983 | 30,022 | 0,010 | 0,495 | 0,005 |
| TFATE (BIOLUBRICANT) | 1,490 | 1379,445 | 0,470 | 8,583 | 4,038 |
| Total | 37,670 | 2932,501 | 1,000 | 167,198 | 5,030 |

$$\mu = 5,030 \text{ cP}$$

$$\mu = 0,003 \text{ lb/ft.s}$$

$$\mu = 0,005 \text{ kg/m.s}$$

Pengaduk yang dipilih adalah jenis 6 blades impeller. Perancangan untuk pengadukan dilakukan dengan prinsip similaritas menggunakan model sesuai dengan referensi buku Wallas halaman 279, kelengkapan pengaduk ditentukan berdasarkan Rule of Thumb.

$$H_{I,s} = D_t$$

$$H_{I,s} = \text{Tinggi cairan di shell} = 4,954 \text{ m}$$

$$D_t = \text{Diameter tangki} = 3,048 \text{ m}$$

$$D_i = \text{Diameter impeller} = 1,651 \text{ m}$$

$$Z_i = \text{Tinggi impeller dari dasar tangki} = 1,651 \text{ m}$$

$$W_i = \text{Lebar sirip impeller} = 0,330 \text{ m}$$

$$W_b = \text{Lebar baffle} = 0,495 \text{ m}$$

$$\text{Offset 1} = \text{Jarak baffle dari dasar tangki} = 0,823 \text{ m}$$

$$\text{Offset 2} = \text{Jarak baffle dari permukaan cairan} = 0,275 \text{ m}$$

$$L_b = \text{Panjang baffle} = 3,853 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah baffle} = 4$$

g). Jumlah Pengaduk

$$\begin{aligned} S_g &= \frac{\rho_{\text{cairan}}}{\rho_{\text{air}}} \\ &= 0,622 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} WELH &= h_{\text{cairan}} \times S_g \\ &= 3,081 \text{ m} \end{aligned}$$

$$= 10,106 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah pengaduk} &= \frac{WELH}{D \text{ pengaduk}} \\ &= 1,865 \approx 2 \end{aligned}$$

h). Kecepatan Pengadukan

$$N = \frac{600}{\pi DI} \sqrt{\frac{WELH}{2 DI}}$$

$$N = 34,058 \text{ rpm} = 0,579 \text{ rps}$$

i). Nilai Reynold

$$Re = \frac{\rho N D_i^2}{\mu}$$

$$Re = 158.951 \text{ (aliran turbulen)}$$

j). Power Number (Np)

Nilai power number didapatkan dari fig.3.4-4 Geankoplis

$$Np = 5$$

$$P = Np \times \rho \times N^3 \times D_i^5$$

$$P = 7.392 \text{ watt}$$

$$P = 7,392 \text{ kWh}$$

$$P = 10 \text{ HP}$$

3. Perancangan Jaket Pemanas

d). Kebutuhan Steam

$$\begin{aligned} Q \text{ steam} &= 536.925 \text{ kJ/jam} \\ &= 508.897 \text{ Btu/jam} \end{aligned}$$

Data steam :

$$T_{in} = 150^{\circ}\text{C}$$

$$T_{out} = 150^{\circ}\text{C}$$

Diketahui :

$$H_v = 2.740,3 \text{ kJ/kg}$$

$$H_I = 610,63 \text{ kJ/kg}$$

$$\lambda = H_v - H_I$$

$$= 2.129,67 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{steam} = m \times \lambda$$

$$m_{steam} = \frac{Q}{\lambda}$$

$$= 252,116 \text{ kJ/kg}$$

Diketahui :

$$P = 14.696 \text{ psi}$$

$$\rho_{steam} = 0,962 \text{ kg/L}$$

$$Debit_{steam} = \frac{m}{\rho}$$

$$= 262,08 \text{ L/jam}$$

$$= 0,26 \text{ m}^3/\text{jam}$$

e). Luas Perpindahan Panas

$$A_{tersedia} = \frac{\pi}{4} \cdot D_i^2 + \pi \cdot D_i \cdot h_{cairan}$$

$$= 54,452 \text{ m}^2$$

$$= 586,116 \text{ ft}^2$$

Tabel 7. Neraca Panas Reaktor

| Komponen | Input (kJ/jam) | Output (kJ/jam) |
|------------|----------------|-----------------|
| Q9 | 1.929 | |
| Q10 | 337 | |
| Q11 | | 365 |
| Q14 | | 1.952 |
| Qloss | | 53.692 |
| Qpemanasan | 53.744 | |
| Total | 56.009 | 56.009 |

Diketahui :

$$Q = 536.925 \text{ kJ/jam}$$

$$Ud = 260 \text{ Btu/jam.ft}^2.\text{°F}$$

$$= 1.475,37 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$\Delta T = (120-120) \text{ °C} = 0 \text{ °C}$$

$$= 273 \text{ K}$$

$$\begin{aligned} A_{required} &= \frac{Q}{Ud \cdot \Delta T} \\ &= 1,333 \text{ m}^2 \\ &= 14,349 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

Karena A tersedia > A required, maka dapat digunakan jaket pemanas.

f). Dimensi Jaket Pemanas

$$\text{Tinggi jaket (hj)} = h \text{ cairan} + 20\% h \text{ cairan}$$

$$h \text{ cairan} = 4,954 \text{ m}$$

$$hj = 5,945 \text{ m}$$

Diameter dalam jaket (Di)

$$Di = Di \text{ tangki} + 2 \times ts$$

$$Di = 3,035$$

$$t_s = 0,006 \text{ m}$$

$$D_i = 3,048 \text{ m}$$

$$= 9,997 \text{ ft}$$

Diameter luar jaket (D_o)

$$\text{Asumsi jarak jaket} = 2 \text{ in}$$

$$= 0.0508 \text{ m}$$

$$D_o = D_i \text{ jaket} + 2 \times \text{jarak jaket}$$

$$= 3,150 \text{ m}$$

Tekanan design jaket

$$P \text{ steam} = 14,696 \text{ psi}$$

$$P \text{ design} = 17,635 \text{ psi}$$

Tebal jaket

$$t_j = \frac{P \times r}{(f \cdot E - 0,6P)} + C$$

$$t_j = 0,230 \text{ in}$$

$$P = 17,635 \text{ psi}$$

$$r = 50,987 \text{ in}$$

$$f = 12.650 \text{ psi}$$

$$E = 0,8$$

$$C = 0,125$$

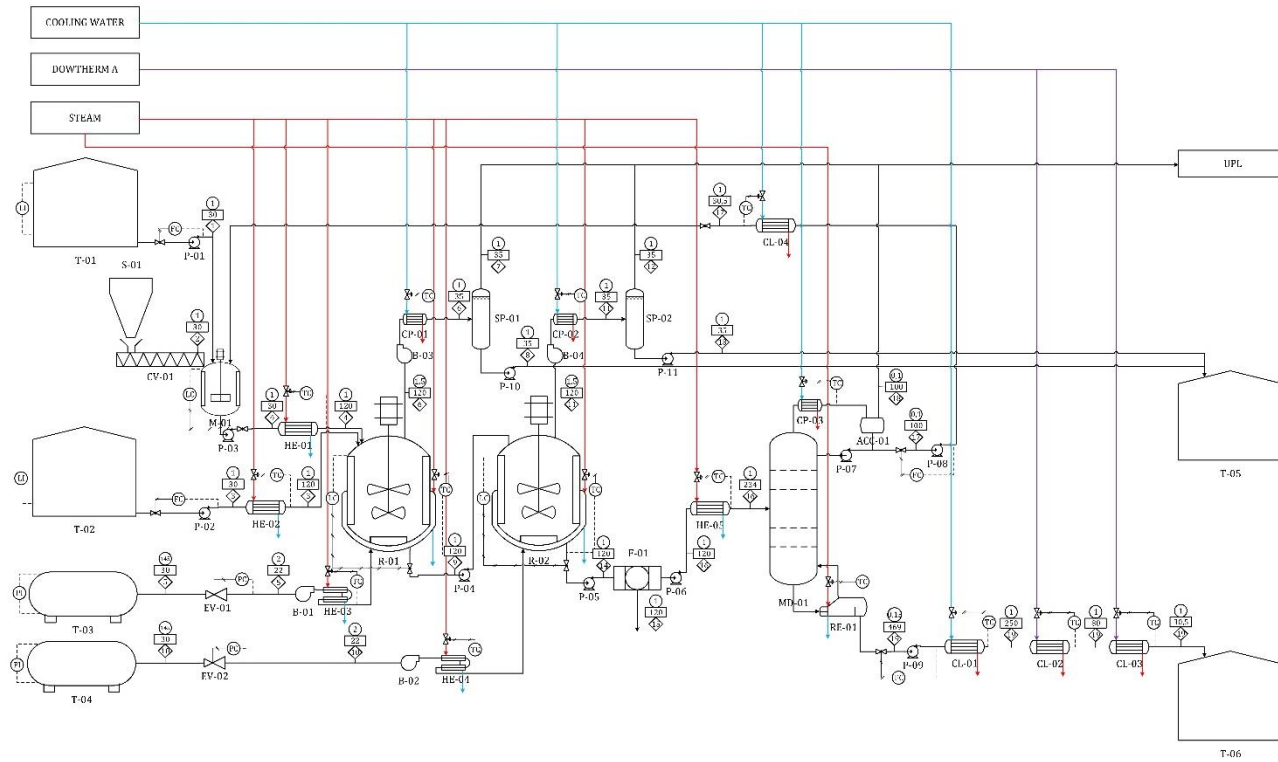
$$t_j \text{ standar} = 1/4 \text{ in}$$

$$= 0,25 \text{ in}$$

$$= 0.011 \text{ m}$$

LAMPIRAN B

PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM PRARANCANGAN PABRIK BIOLUBRICANT DARI METIL OLEAT KAPASITAS 10.806 TON/TAHUN



| Komponen | Arus (kg/jam) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|-------|----------|--------|--------|----------|--------|--------|----------|--------|--------|--------|------|----------|-------|----------|--------|------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| Metil Oleat (C ₁₇ H ₃₂ O ₂) | | | 1.316,01 | 535,99 | | | | | 779,69 | | | | | 555,6 | 0,41 | 555,19 | 535,99 | 5,55 | 13,65 |
| Triisopropilpropan (C ₁₁ H ₁₄ O ₂) | 196,34 | | | 209,6 | | | | | 47,79 | | | | | 13,97 | 0,01 | 13,96 | 13,26 | 0,7 | |
| Potassium karbonat (K ₂ CO ₃) | | | 27,78 | 27,78 | | | | | 27,78 | | | | | 27,78 | | 27,78 | | | |
| Nitrogen (N ₂) | | | | | 925,68 | 925,68 | 925,68 | | | 925,68 | 925,68 | 925,68 | | | | | | | |
| Metanol (CH ₃ OH) | | | | | | 110,13 | 5,51 | 104,62 | 5,8 | | 28,52 | 1,43 | 27,1 | 1,5 | | | 1,5 | 1,5 | 1,5 |
| TPATE/Biolubricant (C ₁₀ H ₁₈ O ₂) | | | | 27,57 | | | | | 1.145,76 | | | | | 1.379,44 | 1,02 | 1.378,43 | 27,57 | | 1.350,86 |
| Total | 196,34 | 27,78 | 1.316,01 | 800,94 | 925,68 | 1.035,81 | 931,19 | 104,62 | 2006,82 | 925,68 | 954,2 | 927,11 | 27,1 | 1.978,30 | 29,22 | 1.949,08 | 578,33 | 7,75 | 1.364,50 |

| Material | Rekomendasi | Unit | Rekomendasi |
|----------|----------------|------|----------------|
| Cl-01 | Heat Exchanger | E | Shell and Tube |
| Cl-02 | Heat Exchanger | E | Shell and Tube |
| Cl-03 | Heat Exchanger | E | Shell and Tube |
| Cl-04 | Heat Exchanger | E | Shell and Tube |
| Cl-05 | Heat Exchanger | E | Shell and Tube |
| Cl-06 | Heat Exchanger | E | Shell and Tube |
| Cl-07 | Heat Exchanger | E | Shell and Tube |
| Cl-08 | Heat Exchanger | E | Shell and Tube |
| Cl-09 | Heat Exchanger | E | Shell and Tube |
| Cl-10 | Heat Exchanger | E | Shell and Tube |
| Cl-11 | Heat Exchanger | E | Shell and Tube |
| Cl-12 | Heat Exchanger | E | Shell and Tube |
| Cl-13 | Heat Exchanger | E | Shell and Tube |
| Cl-14 | Heat Exchanger | E | Shell and Tube |
| Cl-15 | Heat Exchanger | E | Shell and Tube |
| Cl-16 | Heat Exchanger | E | Shell and Tube |
| Cl-17 | Heat Exchanger | E | Shell and Tube |
| Cl-18 | Heat Exchanger | E | Shell and Tube |
| Cl-19 | Heat Exchanger | E | Shell and Tube |
| Cl-20 | Heat Exchanger | E | Shell and Tube |



JURUSAN TEKNIK GOMBA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS SEBELAS MAREK
YOGYAKARTA

**PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM
PRARANCANGAN PABRIK BIOLUBRICANT DARI
METIL OLEAT KAPASITAS 10.806 TON/TAHUN**

Disusun Oleh:

- Nurul Harahap (19521017)
- Anella Anjani Husadap (19521017)

DOSEN PEMBIMBUNG
Dr. Dyah Retno Soewati, S.T., M.Eng.

LAMPIRAN C

KARTU KONSULTASI BIMBINGAN PRARANCANGAN

Nama : **NURUL HARAHAH**
Nomor Mahasiswa : 19521017
Nama : **AMELIA ANJANI HARAHAH**
Nomor Mahasiswa : 19521057

Judul (Bahasa Indonesia):
Prarancangan Pabrik Biolubricant dari Metil Oleat

Judul (Bahasa Inggris) :
Prarancangan Pabrik Biolubricant dari Metil Oleat

Mulai Masa Bimbingan : 11 Maret 2023
Batas Akhir Bimbingan : 8 Agustus 2023

| No | Tanggal | Luaran | Uraian |
|----|---------------------------------|-----------|---|
| 1 | 16 Maret 2023 - 27 Maret 2023 | Luaran-1 | Luaran 1- Latar Belakang dan Penentuan Kapasitas Produksi |
| 2 | 7 April 2023 - 4 Mei 2023 | Luaran-2 | Luaran 2-Tinjauan Pustaka dan Landasan Teori |
| 3 | 4 Mei 2023 - 8 Mei 2023 | Luaran-3 | Luaran 3-Perancangan Produk |
| 4 | 8 Mei 2023 - 10 Mei 2023 | Luaran-4 | Luaran 4-Diagram Alir Kualitatif |
| 5 | 16 Mei 2023 - 16 Mei 2023 | Luaran-5 | Luaran 5-Diagram Alir Kuantitatif dan Neraca Massa |
| 6 | 4 Juni 2023 - 13 Juni 2023 | Luaran-6 | Luaran 6-Perancangan Reaktor (Revisi) |
| 7 | 20 Juni 2023 - 22 Juni 2023 | Luaran-7 | Luaran 7-Perancangan Alat Pemisah |
| 8 | 6 Juli 2023 - 7 Juli 2023 | Luaran-8 | Luaran 8-PEFD dan Uraian Proses |
| 9 | 7 Juli 2023 - 12 Juli 2023 | Luaran-9 | Luaran 9-Spesifikasi alat penyimpanan bahan |
| 10 | 20 Juli 2023 - 20 Juli 2023 | Luaran-10 | Luaran 10-Alat Transportasi Bahan |
| 11 | 31 Juli 2023 - 3 Agustus 2023 | Luaran-11 | Luaran 11-Alat Penukar Panas |
| 12 | 4 Agustus 2023 - 7 Agustus 2023 | Luaran-12 | Luaran 12-Neraca Panas |
| 13 | 7 Agustus 2023 - 7 Agustus 2023 | Luaran-13 | Luaran 13-Lokasi Pabrik |
| 14 | 7 Agustus 2023 - 8 Agustus 2023 | Luaran-14 | Luaran 14-Utilitas |
| 15 | 8 Agustus 2023 - 8 Agustus 2023 | Luaran-15 | Luaran 15-Evaluasi Ekonomi |
| 16 | 8 Agustus 2023 - 8 Agustus 2023 | Luaran-16 | Luaran 16-Naskah Tugas Akhir |

Yogyakarta, 11 Agustus 2023

