

**PRA RANCANGAN PABRIK BIOAVTUR DARI
MINYAK JELANTAH DENGAN KAPASITAS 210.000
TON/TAHUN**

PRARANCANGAN PABRIK

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



Disusun oleh:

**Nama: Fathan Mutawakil
NIM: 22521091**

**Nama: Rizky Aulia Sugiharto
NIM: 22521097**

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

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN
PRA RANCANGAN PABRIK BIOAVTUR DARI
MINYAK JELANTAH DENGAN KAPASITAS 210.000
TON/TAHUN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Fathan Mutawakil

Nama : Rizky Aulia Sugiharto

NIM : 22521091

NIM : 22521097

Yogyakarta, 25 Mei 2026

Menyatakan bahwa seluruh hasil Prarancangan Pabrik ini adalag hasil karya sendiri. Apabila dikemudian hari terbukti bahwa ada beberapa bagian dari karya ini adalah bukan hasil karya sendiri, maka saya siap menanggung resiko dan kensekuensi apapun.



Fathan Mutawakil



Rizky Aulia Sugiharto

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

PRA RANCANGAN PABRIK BIOAVTUR DARI MINYAK JELANTAH DENGAN KAPASITAS 210.000 TON/TAHUN

PRA RANCANGAN PABRIK

Oleh :

Nama : Fathan Mutawakil
NIM : 22521091

Nama : Rizky Aulia Sugiharto
NIM : 22521097

Yogyakarta, 25 Mei 2026

Pembimbing



Dr. Arif Hidayat, S.T., M.T.

NIP. 005220101

البيعة الإسلامية للأندلس

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

PRA RANCANGAN PABRIK BIOAVTUR DARI MINYAK JELANTAH DENGAN KAPASITAS 210.000 TON/TAHUN

PRA RANCANGAN PABRIK

Oleh:

Nama : Fathan Mutawakil
NIM : 22521091

Nama : Rizky Aulia Sugiharto
NIM : 22521097

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, 24 Juni 2026

Tim penguji

Dr. Arif Hidayat, S.T., M.T.

Ketua

Muflih Arisa Adnan, S.T., M.Sc., Ph.D.

Anggota I

Cholila Tamzysi, S.T., M.Eng., Ph.D.

Anggota II

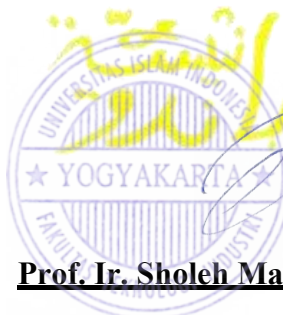
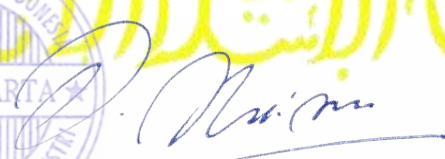
 09/07/2026



 8/7/2026

Mengetahui:

Ketua Program Studi Teknik Kimia
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia



Prof. Ir. Sholeh Ma'mun, S.T., M.T., Ph. D. IPM, ASEAN Eng.
NIP. 99520045

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah, puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, karunia, dan petunjuk-Nya sehingga dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Prarancangan Pabrik Bioavtur dari Minyak Jelantah dengan Kapasitas 210.000 Ton/Tahun” dengan baik. Selawat serta salam semoga selalu tercurah kepada Nabi Muhammad SAW sebagai teladan bagi umat manusia. Penyusunan Tugas Akhir ini dilakukan untuk memenuhi salah satu syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.

Selama proses Penyusunan Tugas Akhir ini, penulis memperoleh berbagai bentuk bantuan, bimbingan, serta dukungan dari banyak pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya selama proses penyusunan Tugas Akhir.
2. Kedua orang tua yang telah memberikan dukungan berupa bantuan material, serta motivasi yang tiada henti, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M.T., IPU, ASEAN.Eng, selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.

4. Ibu Ifa Puspasari, S.T., M.Eng., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Islam Indonesia.
5. Bapak Prof. Ir. Sholeh Ma'mun, S.T., M.T., Ph. D. IPM, ASEAN Eng., selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia Program Sarjana Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
6. Bapak Dr. Arif Hidayat, S.T., M.T. selaku dosen Pembimbing yang dengan sabar telah membimbing dan mendukung kami, selalu memberikan semangat, arahan, dan motivasi kepada kami selama penyusunan Laporan Tugas Akhir.
7. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.
8. Seluruh teman-teman seperjuangan Teknik Kimia Angkatan 2022 yang telah memberikan dukungan, berbagi ilmu, dan membantu kelancaran dalam Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa penyusunan Laporan Tugas Akhir ini masih belum sempurna dan terdapat berbagai kekurangan. Dengan demikian, penulis sangat mengharapkan kritik serta saran yang dapat membangun demi penyempurnaan laporan ini.

Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dan menjadi tambahan pengetahuan bagi seluruh pihak yang membacanya.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 25 Mei 2026

Penyusun

LEMBAR PERSEMBAHAN 1



Alhamdulillahirabbil'alamin

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya, sehingga penulis diberikan kesehatan, kekuatan, serta kemudahan hingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW yang menjadi suri teladan bagi seluruh umat manusia.

Penyusunan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari doa, dukungan, bantuan, dan semangat dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan penuh rasa syukur dan kerendahan hati, penulis mempersembahkan Tugas Akhir ini kepada:

1. Kepada kedua orang tua tercinta, Bapak Dimyati dan Ibu Desy Disnayanti.
Terima kasih atas doa, kasih sayang, dukungan, dan pengorbanan yang tidak pernah berhenti mengiringi setiap langkah penulis. Penulis menyadari bahwa pencapaian ini tidak akan terwujud tanpa restu dan doa yang selalu kalian panjatkan. Setiap nasihat, perhatian, serta ketulusan yang kalian berikan menjadi kekuatan terbesar bagi penulis dalam melewati proses yang tidak selalu mudah ini. Terima kasih karena selalu percaya, mendukung, dan menjadi alasan bagi penulis untuk terus berusaha hingga sampai pada tahap ini. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan kesehatan, kebahagiaan, umur panjang, serta keberkahan kepada Bapak dan Ibu. Tugas Akhir ini penulis persembahkan sebagai bentuk cinta, bakti, dan rasa terima kasih yang tidak akan pernah cukup diungkapkan dengan kata-kata.

2. Untuk adik-adik tersayang, Valsyaiha Kinasih dan Fathiya Khairunnisa. Terima kasih karena telah menjadi bagian penting dalam hidup penulis. Kehadiran kalian selalu memberikan semangat, warna, dan kebahagiaan tersendiri bagi penulis. Meskipun tidak selalu terucap, penulis sangat bersyukur memiliki kalian sebagai adik-adik yang selalu menjadi alasan untuk terus berjuang dan menjadi pribadi yang lebih baik. Semoga kalian tumbuh menjadi pribadi yang kuat, baik, cerdas, dan mampu meraih impian masing-masing. Tugas Akhir ini penulis persembahkan juga sebagai bentuk harapan agar kalian kelak dapat terus semangat mengejar cita-cita.
3. Kepada Bapak Dr. Arif Hidayat, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing yang penulis hormati. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala bimbingan, arahan, kesabaran, serta ilmu yang telah Bapak berikan selama proses penyusunan Tugas Akhir ini. Setiap masukan, kritik, dan saran dari Bapak menjadi pembelajaran yang sangat berarti bagi penulis. Bimbingan Bapak membantu penulis untuk lebih memahami proses akademik, memperbaiki kekurangan, dan menyelesaikan karya ini dengan lebih baik. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan kesehatan, keberkahan, kebahagiaan, serta kesuksesan kepada Bapak dan keluarga.
4. Untuk Rizky Aulia Sugiharto, selaku *partner* Tugas Akhir sekaligus seseorang yang memiliki tempat istimewa dalam perjalanan semasa perkuliahan ini. Terima kasih karena telah menjadi rekan seperjuangan yang selalu hadir memberikan semangat, perhatian, dan dukungan selama proses dari awal semester satu hingga tahap penyusunan Tugas Akhir ini.

Kehadiranmu menjadi salah satu penguat bagi penulis ketika merasa lelah, ragu, atau hampir menyerah. Terima kasih karena telah bersedia mendengarkan cerita, menemani proses, selalu ada baik dalam momen suka maupun duka, dan memberikan keyakinan bahwa penulis mampu menyelesaikan segala tantangan dalam kehidupan dengan baik. Banyak proses yang terasa lebih ringan karena adanya dukungan dan kebersamaan yang telah kita lalui. Semoga segala kebaikan dan ketulusan yang telah kamu berikan kembali kepadamu dalam bentuk kebahagiaan, keberkahan, dan hal-hal terbaik di masa depan.

5. Untuk Barudak Santoso, Bima, Jidun, Iqbal, Revan, dan Alek. Terima kasih karena telah menjadi bagian dari perjalanan perkuliahan dan kehidupan penulis di kosan Pak Santoso. Kehadiran kalian membuat hari-hari penulis menjadi lebih ramai, penuh cerita, dan tidak pernah benar-benar terasa sepi. Terima kasih atas tawa, kebersamaan, candaan, serta segala momen yang akan selalu menjadi kenangan berharga. Walaupun sering membuat kosan menjadi berantakan, kalian tetap menjadi teman-teman yang kehadirannya sangat berarti bagi penulis. Semoga kebersamaan ini tetap menjadi cerita baik yang dapat dikenang, dan semoga kita semua sukses dengan jalan masing-masing.
6. Untuk Apriyan Bima Maulana. Terima kasih karena telah menjadi salah satu orang yang sangat berarti dalam proses penyelesaian tugas akhir penulis. Terima kasih atas waktu, tenaga, pikiran, serta kesabaran yang telah diberikan untuk membantu penulis ketika menghadapi berbagai kesulitan.

Kehadiran dan dukunganmu membuat proses yang terasa berat menjadi lebih ringan untuk dijalani. Terima kasih karena selalu bersedia membantu, memberikan semangat, dan tetap menemani penulis hingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Segala bantuan dan kebaikan yang telah diberikan akan selalu penulis ingat sebagai bagian penting dari perjalanan ini. Semoga setiap kebaikanmu mendapatkan balasan terbaik dan semoga segala hal yang sedang diperjuangkan dapat tercapai dengan baik.

7. Untuk teman-teman Teknik Kimia Angkatan 2022. Terima kasih atas kebersamaan, dukungan, semangat, dan perjuangan yang telah dilalui bersama selama masa perkuliahan. Setiap proses, tugas, praktikum, diskusi, dan tantangan yang kita hadapi menjadi bagian penting dalam perjalanan penulis hingga sampai pada tahap ini. Kehadiran kalian membuat masa perkuliahan terasa lebih berarti dan penuh pengalaman. Semoga kita semua dapat menyelesaikan perjuangan ini dengan baik dan meraih kesuksesan sesuai dengan impian masing-masing.
8. Untuk Barudak 2K x 3L, yaitu Jidun, Fandi, Rifki, dan Kibi, Terima kasih karena telah menjadi keluarga pertama penulis selama berada di Yogyakarta. Kehadiran kalian memberikan rasa nyaman, kebersamaan, dan kehangatan di tengah proses penulis beradaptasi dengan lingkungan yang baru. Terima kasih atas segala cerita, tawa, candaan, bantuan, serta momen-momen sederhana yang membuat perjalanan penulis di Yogyakarta menjadi lebih berkesan. Bersama kalian, tempat yang awalnya terasa asing perlahan menjadi seperti rumah kedua. Semoga hubungan baik ini tetap terjaga,

meskipun nantinya kita menjalani kesibukan dan jalan masing-masing. Semoga kita semua diberikan kemudahan dalam meraih cita-cita dan dapat terus mengenang kebersamaan ini sebagai bagian berharga dari perjalanan hidup.

9. Untuk teman-teman sejak SMP yang pergi merantau ke jogja, yaitu Rizky, Rakan, Farhan, Faqih, dan Athif. Terima kasih karena telah menjadi bagian penting dalam perjalanan penulis selama menempuh perkuliahan di Yogyakarta. Kehadiran kalian memberikan rasa nyaman karena penulis selalu memiliki tempat untuk berbagi cerita, berkeluh kesah, dan bertukar pikiran ketika menghadapi berbagai kesulitan. Terima kasih karena selalu bersedia mendengarkan, memberikan dukungan, serta menemani penulis dalam banyak momen selama berada di perantauan. Semoga kebersamaan dan hubungan baik yang telah terjalin sejak SMP ini tetap terjaga, meskipun nantinya kita memiliki kesibukan dan jalan masing-masing. Semoga segala cita-cita dan harapan kita dapat tercapai dengan baik.
10. Untuk diri saya sendiri, Fathan Mutawakil. Terima kasih karena telah bertahan hingga sejauh ini. Terima kasih karena tetap berusaha meskipun sering merasa lelah, ragu, dan tidak selalu yakin dengan kemampuan diri sendiri. Perjalanan ini bukan hal yang mudah, tetapi kamu telah membuktikan bahwa setiap proses dapat dilewati dengan kesabaran, usaha, dan doa. Tugas Akhir ini menjadi bukti bahwa perjuangan, ketekunan, dan keberanian untuk terus melangkah akhirnya membuahkan hasil. Semoga

setelah ini kamu tetap rendah hati, terus berkembang, dan tidak berhenti memperjuangkan impian-impian berikutnya.

Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan menjadi langkah awal bagi penulis untuk memberikan kontribusi yang lebih baik di masa depan.

Fathan Mutawakil

Teknik Kimia UII 2022

LEMBAR PERSEMBAHAN 2



Alhamdulillahirabbil'alam

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya, sehingga penulis diberikan kesehatan, kekuatan, serta kemudahan hingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW yang menjadi suri teladan bagi seluruh umat manusia.

Penyusunan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari dukungan, bantuan, dan doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.

1. Kepada Ibu tercinta, Ibu Leny Maryani S.Ag., sosok yang memiliki tempat paling istimewa dalam hidup penulis. Terima kasih atas segala doa, kasih sayang, perhatian, dan pengorbanan yang tidak pernah berhenti mengiringi setiap langkah penulis. Terima kasih karena selalu menjadi tempat pulang ketika penulis merasa lelah, bingung, takut, bahkan ketika penulis merasa tidak mampu melanjutkan perjalanan ini. Dukungan Ibu bukan hanya hadir dalam bentuk nasihat dan doa, tetapi juga dalam bentuk kekuatan mental yang membuat penulis mampu bertahan di masa-masa sulit. Terima kasih karena selalu percaya kepada penulis, bahkan ketika penulis sendiri sempat meragukan kemampuan diri sendiri. Dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini, ada banyak keadaan yang tidak mudah dilalui, baik secara pikiran,

maupun perasaan. Namun, Ibu selalu hadir dengan cara terbaik, memberikan dukungan, menenangkan, menguatkan, dan memastikan penulis tetap dapat melangkah. Setiap bantuan, pengertian, dan pengorbanan yang Ibu berikan menjadi bagian besar dari keberhasilan penulis sampai pada tahap ini. Penulis menyadari bahwa tidak ada kata yang benar-benar cukup untuk membalas semua kebaikan Ibu. Tugas Akhir ini mungkin hanya sebuah karya sederhana, tetapi di dalamnya terdapat doa, perjuangan, dan cinta Ibu yang begitu besar. Semoga pencapaian ini dapat menjadi salah satu bentuk kecil dari rasa terima kasih penulis kepada Ibu. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan kesehatan, kebahagiaan, keberkahan, reejei yang lancar dan barokah, serta umur yang panjang kepada Ibu

2. Kepada Ayah tercinta, Ayah Hengki Sugiharto S.E., terima kasih atas segala doa, kasih sayang, kerja keras, serta tanggung jawab yang telah Ayah berikan kepada penulis selama ini. Meskipun tidak selalu banyak diungkapkan melalui kata-kata, penulis menyadari bahwa setiap usaha, perhatian, dan pengorbanan Ayah memiliki arti yang sangat besar dalam perjalanan penulis. Setiap kerja keras dan kepercayaan yang Ayah berikan menjadi dorongan bagi penulis untuk menyelesaikan tanggung jawab ini dengan sebaik-baiknya. Semoga Tugas Akhir ini dapat menjadi salah satu bentuk kecil dari rasa hormat dan terima kasih penulis kepada Ayah. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan Ayah kesehatan, perlindungan, kebahagiaan, serta keberkahan dalam setiap langkah kehidupan.

3. Kepada Adiku tersayang Chalisa Fikratuha Sugiharto, terima kasih atas doa, semangat, dan kehadiranmu yang selalu memberi warna dalam hidup penulis. Kehadiranmu menjadi salah satu penyemangat bagi penulis untuk terus berusaha dan menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Semoga kamu selalu diberikan kesehatan, kebahagiaan, kemudahan, serta mampu meraih setiap cita-cita yang kamu impikan.
4. Kepada Bapak Dr. Arif Hidayat, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas waktu, ilmu, arahan, dan kesabaran yang telah diberikan selama proses penyusunan Tugas Akhir Perancangan Pabrik ini. Setiap masukan dan koreksi yang diberikan sangat membantu penulis dalam memahami proses perancangan dengan lebih baik, teliti, dan terarah. Penulis merasa sangat bersyukur atas kesempatan untuk memperoleh bimbingan dari Bapak. Semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan kesehatan, kebahagiaan, serta kesuksesan kepada Bapak dan keluarga.
5. Untuk Fathan Mutawakil, selaku *partner* Tugas Akhir sekaligus seseorang yang menjadi bagian penting dalam perjalanan penulis selama menempuh masa perkuliahan. Terima kasih karena telah kebersamai penulis dalam berbagai proses, bukan hanya dalam penyusunan Tugas Akhir, tetapi juga dalam penelitian, kerja praktik, dan banyak perjalanan akademik lainnya. Terima kasih karena telah menjadi tempat berbagi cerita, keluh kesah, tawa, tangis, saling menguatkan, dan saling percaya selama kehidupan perkuliahan ini. Kehadiranmu menjadi salah satu ruang yang membuat

penulis merasa lebih tenang ketika berada di tempat perantauan. Terima kasih karena telah hadir dengan kesabaran, perhatian, dan dukungan yang berarti dalam banyak keadaan. Semoga segala perjuangan dan kenangan yang telah dilalui bersama menjadi bagian baik dari perjalanan ini, serta menjadi bekal untuk melangkah menuju masa depan yang lebih baik.

6. Untuk teman-teman sekaligus sahabatku, yaitu Kartika Eka Parawansa, “Gen” dan “Circle Pamungkas”, terima kasih atas kebersamaan, bantuan, canda tawa, dan dukungan terhadap penulis. Terima kasih telah menjadi tempat berbagi cerita, keluh kesah, dan semangat ketika penulis membutuhkan penguatan. Banyak kenangan dan pengalaman berharga yang telah dilalui bersama, dan semuanya akan menjadi bagian yang tidak terlupakan dalam perjalanan hidup penulis.
7. Untuk teman-teman seperjuangan Teknik Kimia angkatan 2022, khususnya Siska selaku teman pertama penulis sekaligus teman seperjuangan yang telah menemani perjalanan sejak semester pertama hingga tahap penyusunan tugas akhir ini. Terima kasih atas kebersamaan selama menjalani masa perkuliahan, praktikum, tugas kelompok, hingga proses penyusunan Tugas Akhir. Setiap perjuangan, kerja keras, dan pengalaman yang telah dilalui bersama menjadi bagian penting dalam perjalanan akademik penulis. Semoga segala proses yang telah kita jalani menjadi bekal berharga untuk masa depan.
8. Kepada diri saya sendiri, Rizky Aulia Sugiharto, terima kasih karena telah bertahan dan terus melangkah sampai sejauh ini. Terima kasih karena tidak

menyerah, meskipun proses penyusunan Tugas Akhir Perancangan Pabrik ini tidak selalu mudah. Ada banyak rasa lelah, bingung, takut, kecewa, dan tekanan yang harus dilewati, serta tetap berusaha menyelesaikan tanggung jawab ini hingga akhir. Terima kasih karena sudah mau belajar dari setiap kesalahan, menerima setiap revisi, dan tetap mencoba meskipun sering kali merasa belum cukup mampu. Perjalanan ini mengajarkan bahwa menyelesaikan sesuatu bukan hanya tentang kepintaran, tetapi juga tentang kesabaran, keberanian, dan kemauan untuk terus bangkit. Terima kasih telah memilih untuk tetap berusaha, tetap bertahan, dan terus mencoba menjadi pribadi yang lebih baik. Semoga untuk seterusnya, semangat ini tetap terjaga dan menjadi bekal untuk menghadapi perjalanan hidup berikutnya.

Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan menjadi langkah awal untuk kontribusi nyata di masa depan.

Rizky Aulia Sugiharto

Teknik Kimia UII 2022

DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	i
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
LEMBAR PERSEMBAHAN 1	vii
LEMBAR PERSEMBAHAN 2	xiii
DAFTAR ISI.....	xviii
DAFTAR TABEL	xxii
DAFTAR GAMBAR.....	xxv
DAFTAR LAMBANG/NOTASI/SINGKATAN.....	xxvi
ABSTRAK	xxvii
<i>ABSTRACT</i>	xxviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Penentuan Kapasitas Pabrik.....	2
1.2.1 Jumlah Keberangkatan Pesawat.....	2
1.2.2 Kapasitas Tangki Pesawat	3
1.3 Tinjauan Pustaka	5
1.3.1 <i>Waste Cooking Oil (WCO)</i>	5
1.3.2 Asam Oleat.....	6
1.3.3 Asam Linoleat	7
1.3.4 Asam Palmitat	8
1.3.5 Hidrogen	9
1.3.6 Bioavtur.....	10
1.3.7 Proses Pembuatan Bioavtur dari WCO dan H ₂	11
1.3.8 Macam-macam Proses Pembuatan Bioavtur.....	13
1.3.9 Kegunaan Produk Bioavtur	16
1.4 Tinjauan Kinetika dan Termodinamika	17
1.4.1 Tinjauan Termodinamika Reaktor-01 (<i>Hydrothreating</i>)	17
1.4.2 Tinjauan Kinetika Reaktor-01 (<i>Hydrothreating</i>).....	25
1.4.3 Tinjauan Termodinamika Reaktor-02 (<i>Hydrocracking/Isomerization</i>)	27

1.4.4 Tinjauan Kinetika Reaktor-02 (<i>Hydrocracking</i> dan <i>Isomerization</i>).....	31
BAB II PERANCANGAN PRODUK.....	33
2.1 Spesifikasi Produk	33
2.1.1 Bioavtur.....	33
2.2 spesifikasi Bahan Baku dan Bahan Pendukung	36
2.2.1 Minyak Jelantah/ <i>Waste Cooking Oil</i> (WCO).....	36
1.2.2 Asam Oleat ($C_{18}H_{34}O_2$).....	39
1.2.3 Asam Linoleat ($C_{18}H_{32}O_2$)	41
1.2.4 Asam Palmitat ($C_{16}H_{32}O_2$)	43
1.2.5 Hidrogen (H_2).....	46
1.2.6 Katalis NiMo.....	48
1.2.7 Katalis Pt/SAPO-11	51
2.3 Pengendalian Kualitas.....	53
2.3.1 Pengendalian Kualitas Bahan Baku	54
BAB III PERANCANGAN PROSES.....	61
3.1 Diagram Alir Proses dan Material.....	61
3.1.1 Diagram Alir Kualitatif	61
3.1.2 Diagram Alir Kuantitatif	63
3.2 Uraian Proses	64
3.2.1 Tahap Persiapan Bahan Baku.....	65
3.2.2 Tahap Pembentukan Produk.....	66
3.2.3 Tahap Pemurnian Produk	68
3.3 Spesifikasi Alat	69
3.3.1 Spesifikasi Reaktor, <i>Furnace</i> , <i>Purging</i>	69
3.3.2 Spesifikasi Alat Pemisah dan Alat Pendukung.....	73
3.3.3 Spesifikasi Alat Penyimpanan Bahan Baku dan Produk.....	74
3.3.4 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan	77
3.3.5 Spesifikasi Alat Penukar Panas	82
3.4 Neraca Massa	87
3.4.1 Neraca Massa <i>Mixing Point</i> (MP-01)	87
3.4.2 Neraca Massa Reaktor <i>Hydrotreating</i> (R-01)	87
3.4.3 Neraca Massa Separator (SP-01)	88
3.4.4 Neraca Massa <i>Decanter</i> (DC-01).....	89

3.4.5 Neraca Massa <i>Purge Valve</i> (PV-01)	90
3.4.6 Neraca Massa <i>Mixing Point</i> (MP-02)	91
3.5 Neraca Panas	91
3.5.1 Neraca Panas Reaktor <i>Hydrotreating</i> (R-01)	91
3.5.2 Neraca Panas Separator (SP-01)	91
3.5.3 Neraca Panas <i>Decanter</i> (DC-01)	92
BAB IV PERANCANGAN PABRIK	93
4.1 Lokasi Pabrik	93
4.1.1 Faktor Primer Penentuan Lokasi Pabrik	94
4.1.2 Faktor Sekunder Penentuan Lokasi Pabrik	100
4.2 Tata Letak Pabrik (<i>Plant Layout</i>)	102
4.3.2 Daerah Administrasi dan Perkantoran	103
4.3.3 Daerah Proses	103
4.3.4 Daerah Instalasi dan Utilitas	103
4.3.5 Daerah Keamanan	103
4.3.6 Daerah Fasilitas Umum	104
4.3.7 Daerah Pengolahan Limbah	104
4.3 Tata Letak Mesin/Alat Proses (<i>Mechines Layout</i>)	107
4.3.1 Aliran Bahan Baku dan Produk	107
4.3.2 Aliran Udara	107
4.3.3 Pencahayaannya	108
4.3.4 Lalu Lintas Manusia dan Kendaraan	108
4.3.5 Pertimbangan Ekonomi	108
4.3.6 <i>Maintenance</i> (Pemeliharaan)	108
4.3.7 Jarak Antara Alat Proses	109
4.3.8 Perluasan Area	109
4.4 Organisasi Perusahaan	111
4.4.1 Bentuk Perusahaan	111
4.4.2 Struktur Organisasi	113
4.4.3 Tugas dan Wewenang	117
4.4.4 Pembagian Jam Kerja Karyawan	127
4.4.5 Jumlah Karyawan dan Sistem Gaji	131
4.4.6 Fasilitas dan Hak Karyawan	135

BAB V UTILITAS.....	138
5.1 Unit Penyediaan dan Pengolahan Air (<i>Water Treatment System</i>)	141
5.1.1 Unit Penyediaan Air	141
5.1.2 Unit Pengolahan Air	144
5.2 Unit Pembangkit Steam (Steam Generation System)	148
5.3 Unit Pembangkit Listrik (<i>Power Plant System</i>)	149
5.4 Unit Penyedia Udara Tekan (<i>Instrument Air System</i>)	152
5.5 Unit Penyediaan Bahan Bakar	153
5.6 Unit Pengolahan <i>Dowtherm A</i>	153
5.7 Unit Pengelolaan Limbah	154
5.8 Spesifikasi Unit Utilitas	156
BAB VI EVALUASI EKONOMI.....	167
6.1 Penaksiran Harga Alat.....	167
6.2 Dasar Perhitungan.....	172
6.3 Komponen Biaya	172
6.4 Harga Dasar dan Harga Jual.....	179
6.5 Analisa Keuntungan.....	179
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	181
5.1 Kesimpulan	181
5.2 Saran	182
DAFTAR PUSTAKA	184
LAMPIRAN A. PERANCANGAN REAKTOR.....	189
LAMPIRAN B. <i>PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM</i> (PEFD).....	206
LAMPIRAN C. KARTU KONSULTASI BIMBINGAN	208

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Jumlah Keberangkatan Pesawat	2
Tabel 1.2 Jenis dan Kapasitas Tangki Pesawat	3
Table 1.3 Kapasitas Perusahaan Produksi Avtur	4
Tabel 1.4 Data $\Delta H^{\circ}f$ dan $\Delta G^{\circ}f$ Per Komponen.....	18
Table 1.5 Data $\Delta H^{\circ}f$ dan $\Delta G^{\circ}f$ Per Komponen.....	27
Tabel 3.1 Spesifikasi Reaktor-01.....	69
Tabel 3.2 Spesifikasi Reaktor-02	71
Tabel 3.3 Spesifikasi Furnace-01	72
Tabel 3.3 Spesifikasi Purging Valve-01	72
Tabel 3.9 Spesifikasi Separator-01.....	73
Tabel 3.13 Spesifikasi Decanter-01.....	74
Tabel 3.16 Spesifikasi Tangki Penyimpanan Waste Cooking Oil-01	74
Tabel 3.17 Spesifikasi Tangki Penyimpanan Hidrogen-02	75
Tabel 3.18 Spesifikasi Tangki Penyimpanan Bioavtur.....	75
Tabel 3.18 Spesifikasi Tangki Penampung Sementara.....	76
Tabel 3.20 Spesifikasi Kompresor-01	77
Tabel 3.21 Spesifikasi Kompresor-02	78
Tabel 3.22 Spesifikasi Kompresor-03	78
Tabel 3.23 Spesifikasi Pump-01.....	79
Tabel 3.24 Spesifikasi Pump-04.....	80
Tabel 3.27 Spesifikasi Expansion Valve-01	81
Tabel 3.33 Operation Condition Heater-01	82
Tabel 3.34 Mechanical Design Heater-01	82
Tabel 3.35 Operation Condition Heater-02.....	83
Tabel 3.36 Mechanical Design Heater-02.....	83
Tabel 3.37 Operation Condition Heater-03.....	84
Tabel 3.38 Mechanical Design Heater-03.....	84
Tabel 3.47 Operation Condition Cooler-01.....	85
Tabel 3.48 Mechanical Design Cooler-01.....	85
Tabel 3.49 Operation Condition Cooler-02.....	85
Tabel 3.50 Mechanical Design Cooler-02.....	86
Tabel 3.49 Operation Condition Cooler-03.....	86
Tabel 3.50 Mechanical Design Cooler-03.....	87
Tabel 3.67 Neraca Massa Mixing Point-01	87
Tabel 3.68 Neraca Massa Reaktor Hydrotreating	87
Tabel 3.69 Neraca Massa Separator-01.....	88
Tabel 3.70 Neraca Massa Decanter-01.....	89
Tabel 3.71 Neraca Massa Purge Valve-01.....	90
Tabel 3.72 Neraca Massa Mixing Point-02.....	91
Tabel 3.79 Neraca Panas Reaktor Hydrotreating	91
Tabel 3.80 Neraca Panas Separator-01.....	91
Tabel 3.81 Neraca Panas Decanter-01	92

Tabel 4.1 Luas Tanah dan Bangunan Pabrik	104
Tabel 4.2 Jam Kerja Karyawa non-shift.....	128
Tabel 4.3 Jam Kerja Karyawan Shift	129
Tabel 4.4 Jadwal Kerja Kelompok Karyawan.....	130
Tabel 4.5 Jumlah Karyawan dan Sistem Gaji	132
Tabel 5.1 Kebutuhan Air Pendingin	143
Tabel 5.2 Kebutuhan Air Umpan Boiler Steam	143
Tabel 5.3 Kebutuhan Listrik Alat Proses.....	149
Tabel 5.4 Kebutuhan Listrik Unit Utilitas.....	150
Tabel 5.5 Total Kebutuhan Listrik Pabrik	151
Tabel 5.6 Spesifikasi Pompa Utilitas	156
Tabel 5.7 Lanjutan Spesifikasi Pompa Utilitas	157
Tabel 5.8 Lanjutan Spesifikasi Pompa Utilitas	157
Tabel 5.9 Lanjutan Spesifikasi Pompa Utilitas	158
Tabel 5.10 Spesifikasi Tangki Utilitas.....	158
Tabel 5.11 Lanjutan Spesifikasi Tangki Utilitas.....	159
Tabel 5.12 Lanjutan Spesifikasi Tangki Utilitas.....	159
Tabel 5.13 Lanjutan Spesifikasi Tangki Utilitas.....	160
Tabel 5.14 Lanjutan Spesifikasi Tangki Utilitas	160
Tabel 5.15 Spesifikasi Bak Utilitas	161
Tabel 5.16 Spesifikasi Flokulator.....	161
Tabel 5.17 Spesifikasi Clarifier.....	162
Tabel 5.18 Spesifikasi Cooling Tower	163
Tabel 5.19 Blower Cooling Tower	163
Tabel 5.20 Spesifikasi Filter.....	163
Tabel 5.21 Spesifikasi Sand Filter.....	164
Tabel 5.22 Spesifikasi Boiler	164
Tabel 5.23 Spesifikasi Deaerator	165
Tabel 5.24 Operation Condition Heater Dowtherm A	165
Tabel 5.25 Mechanical Design Heater Dowtherm A	166
Tabel 6.1 Indeks harga alat pada tahun 1993-2030.....	168
Tabel 6.2 Harga Alat Proses	170
Tabel 6.3 Harga Alat Utilitas.....	171
Tabel 6.4 <i>Physical plant cost</i> (PPC).....	173
Tabel 6.5 Direct plant cost (DPC).....	174
Tabel 6.6 Fixed Capital Investment (FCI).....	174
Tabel 6.7 <i>Working Capital Investment</i>	175
Tabel 6.8 Total Capital Investment	175
Tabel 6.9 <i>Direct Manufacturing Cost</i> (DMC)	176
Tabel 6.10 <i>Indirect manufacturing cost</i> (IMC).....	177
Tabel 6.11 <i>Fixed Manufacturing Cost</i> (FMC)	177
Tabel 6.12 Total Manufacturing cost.....	178
Tabel 6.13 General Expense.....	178

Tabel 6.14 <i>Total Production Cost</i>	178
---	-----

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Diagram Alir Kualitatif	62
Gambar 3.2 Diagram Alir Kuantitatif	63
Gambar 4.1 Lokasi Pabrik Bioavtur.....	94
Gambar 4.2 Layout Pabrik Bioavtur	106
Gambar 4.3 Layout Alat Proses	110
Gambar 4.4 Struktur Organisasi Perusahaan Pabrik Bioavtur	116
Gambar 5.1 Diagram Alir Pengolahan Air	139
Gambar 5.2 Diagram Alir Pengolahan <i>Dowtherm A</i>	140
Gambar 6.1 Grafik Regresi Linear	169
Gambar 6.2 Grafik Analisa Ekonomi.....	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR LAMBANG/NOTASI/SINGKATAN

T	:	Temperatur, °C
D	:	Diameter, m
H	:	Tinggi, m
P	:	Tekanan, psia
μ	:	Viskositas, cP
ρ	:	Densitas, kg/m ³
Q	:	Kebutuhan kalor, kJ/Jam
A	:	Luas penampang, m ²
V	:	Volume, m ³
t	:	Waktu, jam
M	:	Massa, kg
Fv	:	Laju volumetrik, m ³
R	:	Jari- jari, in
P	:	<i>Power motor</i> , HP
ts	:	Tebal <i>shell</i> , in
ΔP	:	<i>Pressure drop</i> , psia
ID	:	<i>Inside</i> diameter, in
OD	:	<i>Outside</i> diameter, in
Th	:	Tebal <i>head</i> , in
Re	:	Bilangan Reynold
f	:	<i>Allowable stress</i> , psia
icr	:	Jari-jari sudut dalam, in
L	:	Lebar pengaduk, m
N	:	Kecepatan putaran, rpm
UD	:	Koefisien perpindahan panas <i>overall</i> HE, btu/jam.ft ² .°F
UC	:	Koefisien perpindahan panas <i>overall</i> pada awal HE dipakai, Btu/jam ft ² .°F
P	:	Panjang, m
l	:	Lebar, m
x	:	Konversi, %
E	:	Efisiensi sambungan
K	:	Konduktivitas termal, Btu/jam ft ² .°F
k	:	Konstanta kinetika reaksi
R	:	Tatapan konstan gas
Fv	:	Laju alir, m ³ /jam
SG	:	<i>Specific gravity</i>
LMTD	:	<i>Long Mean Temperature Different</i> , °F

ABSTRAK

Meningkatnya kebutuhan bahan bakar penerbangan serta tuntutan penurunan emisi karbon mendorong pengembangan bahan bakar alternatif berbasis sumber daya terbarukan. Salah satu bahan bakar alternatif yang potensial adalah bioavtur yang dapat diproduksi dari minyak jelantah atau *Waste Cooking Oil* (WCO). Minyak jelantah dipilih sebagai bahan baku karena mengandung trigliserida dan asam lemak rantai panjang, seperti asam oleat, asam linoleat, dan asam palmitat, serta tidak bersaing langsung dengan kebutuhan pangan. Pada tugas akhir ini dilakukan prarancangan pabrik bioavtur dari minyak jelantah dengan kapasitas 210.000 ton/tahun. Proses produksi dilakukan melalui tahap pretreatment bahan baku untuk menstabilkan kualitas WCO sebelum masuk ke proses utama. Tahap ini bertujuan untuk mengurangi pengaruh variasi kualitas minyak jelantah, terutama terhadap kadar air, padatan, FFA, pengotor, serta komposisi asam lemak. Selanjutnya, WCO dan hidrogen dipanaskan hingga berada dalam fase uap sebelum masuk reaktor agar reaksi berlangsung lebih stabil, risiko perubahan fase mendadak dapat diminimalkan, dan pressure drop proses dapat dikendalikan. Proses utama terdiri dari hydrotreating atau hydrodeoxygenation menggunakan katalis NiMo/Al₂O₃, kemudian dilanjutkan dengan hydrocracking dan hydroisomerization menggunakan katalis Pt/SAPO-11 untuk menghasilkan fraksi hidrokarbon yang sesuai dengan karakteristik bahan bakar penerbangan. Reaksi berlangsung secara kontinu di dalam Fixed Bed Multitube Reactor pada suhu 405°C dan tekanan 30 atm. Kebutuhan bahan baku minyak jelantah sebesar 26.515,15 kg/jam dan hidrogen sebesar 641,15 kg/jam. Pabrik direncanakan berlokasi di Kawasan Sungai Ular, Kecamatan Secanggang, Kabupaten Langkat, Provinsi Sumatera Utara, dengan mempertimbangkan ketersediaan bahan baku, akses transportasi, kedekatan dengan Bandara Internasional Kualanamu dan Pelabuhan Belawan, ketersediaan utilitas, serta potensi tenaga kerja. Berdasarkan analisis ekonomi, diperoleh total biaya produksi sebesar Rp12.058.718.875.378,80 per tahun dengan total penjualan sebesar Rp13.264.590.762.916,70 per tahun. Keuntungan sebelum pajak yang diperoleh sebesar Rp1.205.871.887.537,88 per tahun, sedangkan keuntungan setelah pajak sebesar Rp940.580.072.279,55 per tahun. Berdasarkan hasil analisis teknis dan ekonomi tersebut, prarancangan pabrik bioavtur dari minyak jelantah ini memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai industri bahan bakar penerbangan berbasis energi terbarukan.

Kata kunci: Bioavtur, Minyak Jelantah, Hidrogen, *Hydroprocessing*, Evaluasi Ekonomi.

ABSTRACT

The increasing demand for aviation fuel and the urgency to reduce carbon emissions have encouraged the development of alternative fuels derived from renewable resources. One potential alternative fuel is bioavtur, which can be produced from waste cooking oil (WCO). Waste cooking oil was selected as the raw material because it contains triglycerides and long-chain fatty acids, such as oleic acid, linoleic acid, and palmitic acid, and does not directly compete with food resources. This final project presents a preliminary design of a bioavtur plant from waste cooking oil with a production capacity of 210,000 tons/year. The production process includes raw material pretreatment to stabilize the quality of WCO before entering the main process. This stage aims to reduce the effect of variations in waste cooking oil quality, particularly water content, solids, free fatty acids, impurities, and fatty acid composition. Furthermore, WCO and hydrogen are heated until they reach the vapor phase before entering the reactor so that the reaction can proceed more stably, the risk of sudden phase changes can be minimized, and process pressure drop can be controlled. The main process consists of hydrotreating or hydrodeoxygenation using a NiMo/Al₂O₃ catalyst, followed by hydrocracking and hydroisomerization using a Pt/SAPO-11 catalyst to produce hydrocarbon fractions that meet the characteristics of aviation fuel. The reaction is carried out continuously in a Fixed Bed Multitube Reactor at a temperature of 405°C and a pressure of 30 atm. The required waste cooking oil feed is 26,515.15 kg/hour, while the required hydrogen feed is 641.15 kg/hour. The plant is planned to be located in the Sungai Ular Area, Secanggang District, Langkat Regency, North Sumatra Province, considering raw material availability, transportation access, proximity to Kualanamu International Airport and Belawan Port, utility availability, and labor potential. Based on the economic analysis, the total production cost is Rp12,058,718,875,378.80 per year, with total annual sales of Rp13,264,590,762,916.70. The profit before tax is Rp1,205,871,887,537.88 per year, while the profit after tax is Rp940,580,072,279.55 per year. Based on the technical and economic analysis, the preliminary design of the bioavtur plant from waste cooking oil shows potential to be developed as a renewable aviation fuel industry.

Keywords: Bioavtur, Waste Cooking Oil, Hydrogen, Hydroprocessing, Economic Evaluation.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri penerbangan saat ini menghadapi tekanan global untuk menurunkan emisi karbon dan meningkatkan penggunaan energi terbarukan. Salah satu solusi yang berkembang adalah penggunaan bioavtur sebagai bahan bakar alternatif. Pemerintah Indonesia mendorong pencampuran bahan bakar nabati dalam avtur untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan menekan emisi karbon di sektor penerbangan. Penggunaan *biofuel* sebagai bahan bakar penerbangan memiliki potensi keberlanjutan yang baik dan dapat meningkatkan kontribusi *biofuel* pada sektor transportasi udara (IEA Bioenergy, 2024; Wang & Tao, 2016).

Bioavtur dapat diproduksi dari berbagai sumber biomassa, termasuk minyak jelantah atau *Waste Cooking Oil* (WCO). Pemanfaatan WCO sebagai bahan baku memiliki keuntungan lingkungan karena dapat mengurangi limbah minyak bekas sekaligus menyediakan sumber bahan bakar terbarukan. Proses produksi bioavtur dari WCO umumnya menggunakan *hydrotreating* yang mencakup hidrogenasi, penghilangan oksigen, *hydrocracking*, dan *hydroisomerization* untuk menghasilkan hidrokarbon sesuai spesifikasi avtur komersial (Chen & Wang, 2019; Verma *et al.*, 2023).

Penggunaan minyak jelantah atau WCO sebagai bahan baku bioavtur tidak hanya mendukung keberlanjutan energi, tetapi juga menawarkan nilai ekonomi

karena bahan baku berasal dari limbah dan relatif tersedia. Dengan demikian, pengembangan pabrik bioavtur berbasis minyak jelantah dapat mendukung ketahanan energi nasional dan mengurangi limbah minyak bekas (Chen & Wang, 2019).

1.2 Penentuan Kapasitas Pabrik

Salah satu hal penting dalam merancang suatu pabrik adalah menentukan kapasitas produksi yang optimal. Kapasitas produksi merupakan tingkat kemampuan suatu fasilitas atau unit untuk menerima bahan baku, memproses, dan menghasilkan produk dalam periode waktu tertentu. Penentuan kapasitas pabrik menjadi tahap dasar dalam perancangan pabrik kimia karena akan mempengaruhi rancangan peralatan, kebutuhan bahan baku, utilitas, dan analisis kelayakan ekonomi. Terdapat beberapa aspek yang menjadi dasar perhitungan kapasitas pabrik bioavtur, yaitu:

1.2.1 Jumlah Keberangkatan Pesawat

Salah satu pendekatan yang digunakan untuk menetapkan kapasitas pabrik adalah menganalisis jumlah keberangkatan pesawat di Bandara Kualanamu, Sumatera Utara. Data jumlah penerbangan dan aktivitas transportasi udara di Bandara Kualanamu mengacu pada publikasi Badan Pusat Statistik Provinsi Sumatera Utara (Badan Pusat Statistik Provinsi Sumatera Utara, 2024). Data tersebut ditunjukkan pada tabel di bawah ini:

Tabel 1.1 Jumlah Keberangkatan Pesawat

Tahun	Jumlah Keberangkatan
2019	24.287
2020	15.967

2021	15.188
2022	21.731
2023	21.824
Rata-rata ($\bar{x}$)	19.799

Sumber: Direktorat Jenderal Perhubungan Udara, Statistik Angkutan Udara (2023).

1.2.2 Kapasitas Tangki Pesawat

Selain jumlah keberangkatan, kapasitas pabrik juga ditinjau berdasarkan kebutuhan avtur pada setiap kapasitas tangki yang disesuaikan dengan jenis pesawat yang telah mendukung penggunaan bioavtur di Indonesia, yaitu Airbus A320 dan Boeing 737 yang ditunjukkan pada tabel dibawah ini:

Tabel 1.2 Jenis dan Kapasitas Tangki Pesawat

Jenis Pesawat	Kapasitas Tangki
Boeing 737	26.020
Airbus A320	27.200
Rata-rata ($\bar{x}$)	26.610

Sumber: boeing.com; airlines-uniform.com.

Kapasitas tangki rata-rata kedua jenis pesawat ini adalah 26.610 liter per pesawat. Nilai tersebut dihitung dari kapasitas tangki Boeing 737 sebesar 26.020 liter dan Airbus A320 sebesar 27.200 liter. Dengan memperhitungkan rata-rata jumlah keberangkatan dan kapasitas tangki pesawat, estimasi kebutuhan bioavtur dapat disesuaikan agar produksi pabrik mampu memenuhi permintaan operasional pesawat yang kompatibel dengan bioavtur.

Dengan mempertimbangkan data jumlah keberangkatan pesawat dan kapasitas tangki pada jenis pesawat Airbus A320 dan Boeing 737, maka kapasitas pabrik bioavtur ditentukan berdasarkan rata-rata jumlah keberangkatan pesawat dikali dengan rata-rata kapasitas tangki pesawat lalu dari hasil tersebut dikali dengan 50% dari kebutuhan bioavtur yang sudah menunjang pada kedua jenis pesawat tersebut. Dari hasil perhitungan, diperoleh:

$$\begin{aligned}
 \text{Kapasitas} &= (\text{Jumlah Keberangkatan Pesawat} \times \text{Kapasitas Tangki}) \times 50\% \\
 &= \left(\frac{19.799 \times 26.610}{2} \right) \\
 &= \left(\frac{263431017 \text{ liter/tahun} \times 0,8}{1000} \right) \\
 &= 210.745 \text{ ton/tahun}
 \end{aligned}$$

Table 1.3 Kapasitas Perusahaan Produksi Avtur

No	Tahun	Kapasitas (ton/tahun)
1	Neste	1.500.000
2	Enville/Eni	400.000
3	Repsol	250.000

Sumber: Neste Corporation; Enilive S.p.A.; Repsol S.A.; IATA.org.

Berdasarkan data produksi dan profil perusahaan energi yang memproduksi atau memasok avtur maupun bahan bakar penerbangan, kapasitas perancangan pabrik bioavtur ditetapkan sebesar 210.000 ton/tahun. Kapasitas tersebut masih berada di bawah kapasitas perusahaan energi besar, tetapi relevan sebagai rancangan awal untuk mendukung pengembangan

bioavtur nasional maupun global (BP p.l.c., 2026; Chevron Corporation, 2026; Shell plc, 2026; PT Pertamina (Persero), 2025).

Meskipun Indonesia telah memulai produksi bioavtur melalui Pertamina SAF di *Green Refinery* RU IV Cilacap, pengembangannya masih berada pada fase awal menuju komersialisasi yang lebih luas. Produksi dan pengiriman awal SAF menunjukkan bahwa teknologi bioavtur telah mulai diterapkan. Namun, skala distribusi, pasokan bahan baku, dan pemanfaatannya di sektor penerbangan nasional masih perlu diperluas. Oleh karena itu, pendirian pabrik bioavtur berkapasitas 210.000 ton/tahun memiliki kepentingan strategis untuk mendukung peningkatan kapasitas produksi SAF (*Sustainable Aviation Fuel*) di Indonesia serta mengurangi ketergantungan terhadap avtur berbasis fosil (PT Kilang Pertamina Internasional, 2023; Pertamina Patra Niaga, 2025).

1.3 Tinjauan Pustaka

1.3.1 *Waste Cooking Oil (WCO)*

Waste Cooking Oil (WCO) atau minyak jelantah merupakan limbah minyak nabati yang telah digunakan dalam proses penggorengan dan mengalami perubahan sifat akibat pemanasan berulang. WCO masih mengandung trigliserida dan asam lemak bebas dengan rantai karbon panjang sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku *biofuel*, termasuk bioavtur. Penggunaan WCO sebagai bahan baku memiliki keunggulan karena berasal dari limbah, tidak langsung bersaing dengan kebutuhan pangan, serta dapat mengurangi permasalahan lingkungan akibat pembuangan minyak bekas secara

tidak terkendali. Dalam proses produksi bioavtur, kandungan asam lemak pada WCO dapat dikonversi menjadi hidrokarbon melalui proses *hydroprocessing*, terutama melalui tahapan *hydrotreating*, *hydrocracking*, dan *hydroisomerization* (Chen & Wang, 2019; Verma *et al.*, 2023).

Komposisi WCO umumnya didominasi oleh asam lemak rantai C_{16} sampai C_{18} , seperti asam oleat, asam linoleat, asam palmitat, dan asam stearat. Rantai karbon tersebut sesuai untuk pembentukan hidrokarbon fraksi bahan bakar cair, sedangkan gugus oksigen pada asam lemak perlu dihilangkan agar produk yang dihasilkan memiliki karakter seperti bahan bakar avtur konvensional. Zhang *et al.* (2019) menjelaskan bahwa WCO dapat dikonversi menjadi bahan bakar hidrokarbon rentang bioavtur menggunakan katalis $NiMo/Al_2O_3$, dengan selektivitas hidrokarbon rentang bahan bakar jet yang dipengaruhi oleh struktur katalis, keasaman katalis, dan kondisi operasi reaksi. Oleh karena itu, WCO dapat dipandang sebagai bahan baku yang relevan untuk perancangan pabrik bioavtur berbasis limbah minyak (Zhang *et al.*, 2019).

1.3.2 Asam Oleat

Asam oleat dengan rumus molekul $C_{18}H_{34}O_2$ merupakan asam lemak tak jenuh tunggal yang banyak ditemukan dalam minyak nabati dan WCO. Senyawa ini memiliki satu ikatan rangkap pada rantai hidrokarbonnya sehingga memerlukan proses hidrogenasi untuk menjenuhkan ikatan rangkap sebelum dikonversi lebih lanjut menjadi hidrokarbon jenuh. Dalam proses pembuatan bioavtur, asam oleat berperan sebagai salah satu prekursor utama karena jumlah atom karbonnya berada pada rentang yang sesuai untuk menghasilkan

hidrokarbon bahan bakar. Pada tahap *hydrotreating*, asam oleat dapat mengalami reaksi hidrogenasi dan penghilangan oksigen melalui jalur *hydrodeoxygenation*, *decarbonylation*, atau *decarboxylation* sehingga menghasilkan n-parafin rantai panjang sebagai produk (Mäki-Arvela *et al.*, 2021).

Produk awal dari konversi asam oleat umumnya masih berupa hidrokarbon rantai lurus yang memiliki titik beku relatif tinggi. Kondisi tersebut belum ideal untuk bahan bakar penerbangan karena avtur harus memiliki kemampuan alir yang baik pada suhu rendah. Oleh sebab itu, n-parafin hasil *hydrotreating* perlu diproses lebih lanjut melalui *hydrocracking* untuk memecah rantai karbon menjadi rentang kerosin dan melalui *hydroisomerization* untuk membentuk iso-parafin bercabang. Pembentukan iso-parafin penting karena mampu memperbaiki sifat alir dingin dan menurunkan titik beku bioavtur (Chen *et al.*, 2020; Mäki-Arvela *et al.*, 2021).

1.3.3 Asam Linoleat

Asam linoleat dengan rumus molekul $C_{18}H_{32}O_2$ merupakan asam lemak tak jenuh ganda yang memiliki dua ikatan rangkap pada rantai karbonnya. Keberadaan dua ikatan rangkap menyebabkan asam linoleat lebih reaktif dibandingkan asam oleat, tetapi juga lebih mudah mengalami oksidasi selama penyimpanan bahan baku. Dalam produksi bioavtur, asam linoleat perlu mengalami hidrogenasi agar ikatan rangkap berubah menjadi ikatan tunggal sehingga struktur molekulnya menjadi lebih stabil. Setelah proses hidrogenasi, tahap penghilangan oksigen dapat berlangsung melalui jalur

hydrodeoxygenation, *decarbonylation*, atau *decarboxylation* untuk menghasilkan hidrokarbon jenuh rantai panjang (Mäki-Arvela *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2019).

Hidrokarbon jenuh yang terbentuk dari asam linoleat masih memerlukan proses penyesuaian panjang rantai agar berada pada fraksi bahan bakar jet. Proses *hydrocracking* berperan memutus rantai hidrokarbon panjang menjadi hidrokarbon yang lebih pendek, sedangkan proses *hydroisomerization* mengubah sebagian n-parafin menjadi iso-parafin. Kombinasi kedua proses tersebut diperlukan karena bioavtur tidak hanya membutuhkan rentang karbon yang sesuai, tetapi juga memerlukan sifat fisik yang memenuhi standar bahan bakar penerbangan, terutama titik beku dan kestabilan termal (Chen *et al.*, 2020; Verma *et al.*, 2023).

1.3.4 Asam Palmitat

Asam palmitat dengan rumus molekul $C_{16}H_{32}O_2$ merupakan asam lemak jenuh yang tidak memiliki ikatan rangkap pada rantai karbonnya. Sifat jenuh tersebut membuat asam palmitat relatif lebih stabil dibandingkan asam oleat dan asam linoleat. Dalam proses konversi WCO menjadi bioavtur, asam palmitat dapat berperan sebagai prekursor pembentukan hidrokarbon parafinik, terutama hidrokarbon C_{15} atau C_{16} bergantung pada jalur reaksi yang dominan. Melalui jalur *hydrodeoxygenation*, asam palmitat dapat menghasilkan n-heksadekana, sedangkan melalui jalur *decarbonylation* atau *decarboxylation* dapat menghasilkan hidrokarbon dengan jumlah atom karbon yang lebih pendek (Mäki-Arvela *et al.*, 2021).

Walaupun asam palmitat lebih stabil karena tidak memiliki ikatan rangkap, produk parafin lurus yang terbentuk dari senyawa ini tetap perlu mengalami upgrading agar sesuai dengan karakteristik bioavtur. n-parafin rantai panjang memiliki kecenderungan titik beku yang tinggi sehingga kurang sesuai digunakan langsung sebagai bahan bakar penerbangan. Oleh karena itu, proses *hydrocracking* dan *hydroisomerization* diperlukan untuk menghasilkan hidrokarbon rentang kerosin dan meningkatkan pembentukan iso-parafin. Tahap ini menjadi penting karena kualitas bioavtur sangat dipengaruhi oleh distribusi karbon dan struktur percabangan hidrokarbon yang terbentuk (Chen *et al.*, 2020; Verma *et al.*, 2023).

1.3.5 Hidrogen

Hidrogen atau H_2 merupakan reaktan penting dalam proses produksi bioavtur dari WCO melalui jalur *hydroprocessing*. Hidrogen berfungsi menjenuhkan ikatan rangkap pada asam lemak tak jenuh, menghilangkan oksigen dari struktur trigliserida atau asam lemak bebas, serta mendukung pembentukan hidrokarbon jenuh yang lebih stabil. Pada proses *hydrotreating*, H_2 bereaksi dengan gugus oksigen dalam bahan baku sehingga menghasilkan air sebagai salah satu produk samping melalui jalur *hydrodeoxygenation*. Selain itu, hidrogen juga membantu menekan pembentukan kokas dan menjaga kestabilan aktivitas katalis selama proses berlangsung (Chen & Wang, 2019; Verma *et al.*, 2023).

Ketersediaan dan rasio hidrogen terhadap minyak menjadi parameter penting dalam perancangan proses karena kebutuhan H_2 memengaruhi tingkat

konversi, selektivitas produk, serta biaya operasi. Verma *et al.* (2023) menunjukkan bahwa proses *hydrotreating* WCO menuju hidrokarbon rentang jet dilakukan pada tekanan hidrogen tinggi dengan katalis NiMo/Al₂O₃ dalam reaktor *fixed bed*. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa hidrogen tidak hanya berperan sebagai reaktan, tetapi juga sebagai komponen proses yang menentukan efektivitas penghilangan oksigen dan pembentukan hidrokarbon yang sesuai dengan fraksi bioavtur (Verma *et al.*, 2023).

1.3.6 Bioavtur

Bioavtur merupakan bahan bakar penerbangan berbasis sumber daya terbarukan yang dirancang untuk memiliki karakteristik mendekati avtur konvensional. Bahan bakar penerbangan harus memenuhi persyaratan ketat, seperti densitas, titik beku, titik nyala, kestabilan termal, dan komposisi hidrokarbon tertentu. Oleh karena itu, minyak nabati atau WCO tidak dapat digunakan secara langsung sebagai avtur, tetapi harus dikonversi menjadi hidrokarbon parafinik, iso-parafinik, sikloalkana, atau aromatik dalam kadar tertentu. Bioavtur yang bersifat *drop-in* lebih diutamakan karena dapat dicampurkan dengan avtur fosil dan digunakan pada infrastruktur penerbangan yang sudah tersedia (IEA Bioenergy, 2024; Wang & Tao, 2016).

Produksi bioavtur dari bahan baku lipid, seperti WCO, umumnya diarahkan untuk menghasilkan fraksi hidrokarbon pada rentang bahan bakar jet. Jalur ini dikenal sebagai *oil-to-jet* atau HEFA, yaitu proses konversi minyak, lemak, atau asam lemak menjadi hidrokarbon melalui reaksi hidrogenasi, penghilangan oksigen, perengkahan, isomerisasi, dan pemisahan

fraksi. Dalam konteks perancangan pabrik bioavtur berbahan baku WCO, tujuan utama proses adalah mengubah asam oleat, asam linoleat, dan asam palmitat menjadi hidrokarbon yang memiliki rentang karbon dan sifat fisik sesuai dengan kebutuhan bahan bakar penerbangan (Chen & Wang, 2019; Mäki-Arvela *et al.*, 2021).

1.3.7 Proses Pembuatan Bioavtur dari WCO dan H₂

a. Proses *Hydrotreating*

Proses pembuatan bioavtur dari WCO dan H₂ diawali dengan tahap persiapan bahan baku untuk mengurangi kandungan air, partikel padat, senyawa pengotor, serta komponen lain yang dapat menurunkan aktivitas katalis. Setelah itu, WCO dialirkan bersama hidrogen menuju unit *hydrotreating* pada temperatur dan tekanan tinggi dengan bantuan katalis logam, seperti NiMo, CoMo, Pd, atau katalis berbasis logam transisi lainnya. Pada tahap ini, trigliserida dan asam lemak bebas mengalami reaksi hidrogenasi dan penghilangan oksigen sehingga terbentuk hidrokarbon parafinik. Chen dan Wang (2019) menjelaskan bahwa WCO dapat dikonversi melalui *hydroprocessing* menjadi alkana lurus yang dapat digunakan sebagai bahan antara untuk produksi bahan bakar penerbangan setelah melalui tahap perengkahan dan isomerisasi (Chen & Wang, 2019).

Pada reaksi *hydrotreating*, oksigen dalam bahan baku dapat dihilangkan melalui tiga jalur utama, yaitu *hydrodeoxygenation*, *decarbonylation*, dan *decarboxylation*. Jalur *hydrodeoxygenation*

menghasilkan air sebagai produk samping, sedangkan jalur *decarbonylation* dan *decarboxylation* menghasilkan CO atau CO₂ dengan jumlah atom karbon produk yang lebih pendek dibandingkan bahan bakunya. Pemilihan katalis dan kondisi operasi akan memengaruhi jalur reaksi yang dominan serta distribusi produk hidrokarbon. Produk yang diperoleh dari tahap ini umumnya masih didominasi oleh n-parafin rantai panjang, sehingga belum sepenuhnya memenuhi karakter bioavtur dan perlu diproses lebih lanjut (Mäki-Arvela *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2019).

b. Proses *Hydrocracking* dan *Hydroisomerization*

Setelah tahap *hydrotreating*, produk yang dihasilkan umumnya masih berada pada rentang hidrokarbon panjang, seperti C15 sampai C18. Fraksi ini belum sepenuhnya sesuai sebagai bioavtur karena sebagian komponennya masih berada pada rentang *diesel* dan memiliki titik beku relatif tinggi. Oleh karena itu, proses *hydrocracking* diperlukan untuk memecah rantai hidrokarbon panjang menjadi rantai yang lebih pendek pada rentang kerosin, umumnya sekitar C8 sampai C16. Selanjutnya, proses *hydroisomerization* digunakan untuk mengubah n-parafin menjadi iso-parafin bercabang yang memiliki sifat alir dingin lebih baik. Kombinasi kedua tahap tersebut berperan penting dalam memperoleh produk yang lebih sesuai dengan spesifikasi bahan bakar penerbangan (Chen *et al.*, 2020; Verma *et al.*, 2023).

Dalam penelitian Verma *et al.* (2023), WCO berhasil dikonversi menjadi hidrokarbon rentang avtur menggunakan katalis NiMo/silika-alumina dalam reaktor fixed bed. Hasil optimum menunjukkan konversi WCO berada di rentang 90%-96,6% dengan selektivitas hidrokarbon rentang jet sebesar 55,6% pada suhu 420°C, LHSV 1 jam⁻¹, tekanan 10 MPa, dan rasio H₂/minyak sebesar 2200 NLgas/Lliquid. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa kombinasi WCO, H₂, katalis hidroproses, dan kondisi operasi yang tepat dapat menghasilkan fraksi hidrokarbon rentang kerosin. Temuan ini relevan untuk perancangan pabrik bioavtur karena memperlihatkan bahwa WCO dapat dijadikan bahan baku utama melalui jalur *hydrotreating* serta *hydrocracking/hydroisomerization* (Verma *et al.*, 2023). Konversi 90% digunakan karena masih berada dalam kisaran konversi tinggi pada penelitian hydroprocessing WCO. Ibrahim *et al.* (2023) melaporkan konversi optimum WCO sebesar 93% pada 400 °C, tekanan 50 bar, dan LHSV 1 h⁻¹. Sementara itu, Pt/SAPO-11 terbukti relevan untuk pembentukan produk isomer karena mendukung hydro-isomerisation dan branching hidrokarbon rantai lurus menjadi hidrokarbon bercabang.

1.3.8 Macam-macam Proses Pembuatan Bioavtur

a. *Alcohol-to-Jet* (ATJ)

Salah satu jalur produksi bioavtur adalah *Alcohol-to-Jet* (ATJ), yaitu proses konversi alkohol menjadi hidrokarbon bahan bakar penerbangan. Alkohol yang dapat digunakan antara lain etanol, butanol,

dan isobutanol yang dapat diperoleh dari biomassa lignoselulosa, gula, atau limbah pertanian. Secara umum, proses ATJ meliputi dehidrasi alkohol menjadi olefin, oligomerisasi untuk memperpanjang rantai karbon, hidrogenasi untuk menjenuhkan ikatan rangkap, serta fraksinasi untuk memperoleh komponen rentang avtur. Jalur ini memiliki potensi karena bahan baku alkohol dapat berasal dari sumber terbarukan, tetapi prosesnya membutuhkan beberapa tahapan katalitik sehingga efisiensi energi dan biaya produksi menjadi aspek penting dalam pengembangannya (Geleynse *et al.*, 2018; Wang & Tao, 2016).

b. *Gas-to-Jet* (GTJ)

Jalur *Gas-to-Jet* (GTJ) merupakan proses produksi bioavtur yang menggunakan gas sintesis atau *syngas* sebagai bahan antara. Pada rute ini, biomassa, limbah padat, atau bahan karbon terbarukan lainnya dikonversi terlebih dahulu menjadi *syngas* melalui proses gasifikasi. *Syngas* yang mengandung CO dan H₂ kemudian diproses melalui sintesis *Fischer-Tropsch* untuk menghasilkan hidrokarbon parafinik. Produk *Fischer-Tropsch* selanjutnya mengalami proses upgrading, seperti perengkahan, isomerisasi, dan fraksinasi, agar diperoleh fraksi hidrokarbon yang sesuai dengan bahan bakar jet. Keunggulan jalur GTJ terletak pada fleksibilitas bahan baku, sedangkan tantangannya terdapat pada kebutuhan teknologi gasifikasi, pemurnian *syngas*, dan investasi proses yang relatif besar (Wang & Tao, 2016).

c. *Sugar-to-Jet* (STJ)

Jalur *Sugar-to-Jet* (STJ) merupakan proses produksi bioavtur dari bahan baku gula melalui konversi biologis atau katalitik. Gula dapat difermentasi menjadi senyawa antara tertentu, kemudian diubah menjadi hidrokarbon melalui tahap pemurnian dan hidroproses. Salah satu produk dari jalur berbasis gula adalah *synthesized* iso-paraffins yang dapat digunakan sebagai komponen campuran bahan bakar penerbangan. Jalur STJ memiliki potensi karena bahan baku gula dapat berasal dari tanaman atau biomassa, tetapi penerapannya masih menghadapi tantangan pada skala produksi, efisiensi konversi, serta ketersediaan bahan baku yang tidak bersaing dengan kebutuhan pangan (IEA Bioenergy, 2024; Wang & Tao, 2016).

d. *Oil-to-Jet* (OTJ) atau HEFA

Jalur *Oil-to-Jet* (OTJ) atau HEFA merupakan proses produksi bioavtur dari minyak nabati, lemak hewani, dan minyak limbah seperti WCO. Rute ini melibatkan tahapan hidrogenasi, penghilangan oksigen, perengkahan, isomerisasi, dan pemisahan fraksi untuk menghasilkan hidrokarbon rentang avtur. Dibandingkan beberapa jalur lain, OTJ atau HEFA telah banyak dikembangkan karena bahan baku lipid memiliki struktur rantai karbon panjang yang relatif dekat dengan struktur hidrokarbon bahan bakar cair. WCO menjadi bahan baku yang menarik karena berasal dari limbah, memiliki biaya bahan baku yang lebih rendah dibandingkan minyak nabati segar, dan dapat dikonversi menjadi

bioavtur melalui teknologi hidroproses yang telah banyak dikaji (Chen & Wang, 2019; Verma *et al.*, 2023; Wang & Tao, 2016).

Berdasarkan berbagai jalur produksi bioavtur tersebut, proses berbasis WCO melalui *hydrotreating* dan *hydrocracking/hydroisomerization* dinilai sesuai untuk perancangan pabrik ini. Hal tersebut disebabkan oleh kandungan asam oleat, asam linoleat, dan asam palmitat dalam WCO yang dapat dikonversi menjadi hidrokarbon parafinik melalui reaksi dengan H_2 . Tahap *hydrotreating* berfungsi menghasilkan hidrokarbon jenuh melalui penghilangan oksigen, sedangkan tahap *hydrocracking* dan *hydroisomerization* berfungsi menyesuaikan rentang karbon dan struktur hidrokarbon agar memenuhi karakteristik bioavtur. Dengan demikian, pemilihan WCO dan H_2 sebagai bahan baku utama memiliki dasar teknis yang kuat serta relevan dengan pengembangan bahan bakar penerbangan berkelanjutan (Chen *et al.*, 2020; Mäki-Arvela *et al.*, 2021; Verma *et al.*, 2023).

1.3.9 Kegunaan Produk Bioavtur

Bioavtur merupakan bahan bakar penerbangan terbarukan yang digunakan sebagai alternatif atau campuran avtur konvensional. Produk ini dirancang agar memiliki karakteristik yang sesuai dengan kebutuhan mesin pesawat, seperti nilai kalor tinggi, kestabilan termal, titik beku rendah, dan sifat pembakaran yang baik. Bioavtur juga termasuk bahan bakar *drop-in*, sehingga dapat digunakan bersama avtur fosil tanpa memerlukan perubahan besar pada mesin pesawat maupun infrastruktur distribusi. Oleh karena itu, bioavtur

menjadi salah satu solusi penting untuk mengurangi ketergantungan sektor penerbangan terhadap bahan bakar fosil (Wang & Tao, 2016).

Selain sebagai bahan bakar pesawat, bioavtur memiliki nilai lingkungan karena dapat diproduksi dari bahan baku terbarukan dan limbah, seperti Waste Cooking Oil (WCO). Pemanfaatan WCO sebagai bahan baku bioavtur dapat meningkatkan nilai guna limbah minyak sekaligus mengurangi potensi pencemaran lingkungan. Melalui proses *hydrotreating*, *hydrocracking*, dan *hydroisomerization*, senyawa asam lemak dalam WCO dapat dikonversi menjadi hidrokarbon rentang avtur yang lebih ramah lingkungan. Dengan demikian, bioavtur tidak hanya berfungsi sebagai bahan bakar penerbangan, tetapi juga mendukung pengembangan energi terbarukan dan pengurangan emisi karbon pada sektor transportasi udara (Chen & Wang, 2019; Verma *et al.*, 2023).

1.4 Tinjauan Kinetika dan Termodinamika

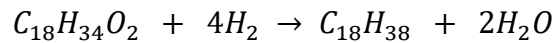
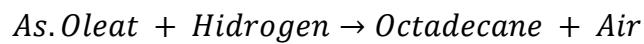
1.4.1 Tinjauan Termodinamika Reaktor-01 (*Hydrothreating*)

Tinjauan secara termodinamika ditujukan untuk mengetahui sifat reaksi (endotermis/eksotermis) dan reaksi berlangsung secara spontan atau tidak, serta arah reaksi (*reversible/irreversible*). Penentuan sifat reaksi eksotermis atau endotermis dapat ditentukan dengan perhitungan panas pembentukan standar (ΔH°_f) dan energi gibbs (ΔG°_f) pada tekanan 30 atm dan suhu 673,15 K dari reaktan dan produk. Nilai ΔH°_f dan ΔG°_f ditinjau dari segi termodinamika dengan harga-harga ΔH°_f dan ΔG°_f masing-masing komponen pada suhu 400°C (673,15 K) dapat dilihat pada Tabel berikut:

Tabel 1.4 Data ΔH°_f dan ΔG°_f Per Komponen

Komponen	ΔH°_f (kJ/mol)	ΔG°_f (kJ/mol)
$C_{18}H_{34}O_2$	-729,3036445	446,1178067
$C_{18}H_{32}O_2$	-597,567456	499,3051638
$C_{16}H_{32}O_2$	-779,2033595	320,1901014
H_2	11,00545	14,03237
$C_{18}H_{38}$	-481,9581795	784,4766676
$C_{16}H_{34}$	-434,5118355	687,0205126
H_2O	-229,5141	-199,0912
$C_{17}H_{34}$	-328,5458228	771,7685156
$C_{17}H_{32}$	-156,3953672	858,4486062
$C_{15}H_{32}$	-410,1576769	645,9162756
CO_2	-377,2904	-383,6097
$C_{17}H_{36}$	-458,100612	736,2753877
CO	-99,32434	-156,631

Sumber: Aspen Plus V15; Yaws (1999).

b. Reaksi Hydrodeoxygenation

$$\Delta H^\circ_{673,15} = \Delta H^\circ_{f, \text{produk}} - \Delta H^\circ_{f, \text{reaktan}} \dots \dots \dots (1.1)$$

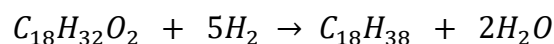
$$\Delta H^\circ_{673,15} = \Delta H^\circ_f [(C_{18}H_{38} + 2H_2O) - (C_{18}H_{34}O_2 + 4H_2)] \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta H^\circ_{673,15} = (-481958,1795) + (-459028,2) - ((-729303,6445) + (44021,8))$$

kJ/kmol

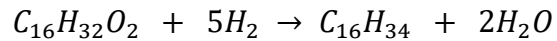
$$\Delta H^\circ_{673,15} = (-940986,3795) - (-685281,8445) \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta H^\circ_{673,15} = -255704,5350 \text{ kJ/kmol}$$



Mengacu pada rumus (1.1) maka diperoleh hasil $\Delta H^\circ_{673,15}$ untuk reaksi diatas adalah sebesar:

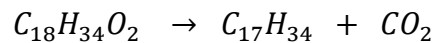
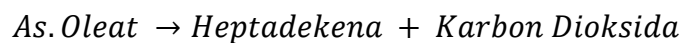
$$\Delta H^{\circ}_{673,15} = -398446,1735 \text{ kJ/kmol}$$



Mengacu pada rumus (1.1) maka diperoleh hasil $\Delta H^{\circ}_{673,15}$ untuk reaksi diatas adalah sebesar:

$$\Delta H^{\circ}_{673,15} = -147353,0260 \text{ kJ/kmol}$$

c. Reaksi *Decarboxylation*



$$\Delta H^{\circ}_{673,15} = \Delta H^{\circ}_{f, \text{produk}} - \Delta H^{\circ}_{f, \text{reaktan}} \dots \dots \dots (1.2)$$

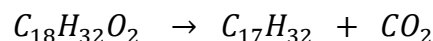
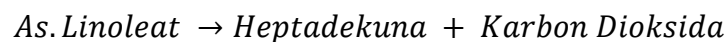
$$\Delta H^{\circ}_{673,15} = \Delta H^{\circ}_{f} [(C_{17}H_{34} + CO_2) - (C_{18}H_{32}O_2)] \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta H^{\circ}_{673,15} = (-328545,8228) + (-377290,4) - ((-729303,6445) + (44021,8))$$

kJ/kmol

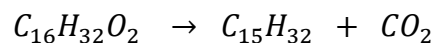
$$\Delta H^{\circ}_{673,15} = (-705836,2228) - (-729303,6445) \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta H^{\circ}_{673,15} = 23467,4217 \text{ kJ/kmol}$$



Mengacu pada rumus (1.2) maka diperoleh hasil $\Delta H^{\circ}_{673,15}$ untuk reaksi diatas adalah sebesar:

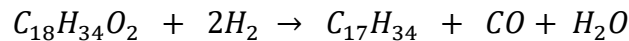
$$\Delta H^{\circ}_{673,15} = 63881,6889 \text{ kJ/kmol}$$



Mengacu pada rumus (1.2) maka diperoleh hasil $\Delta H^{\circ}_{673,15}$ untuk reaksi diatas adalah sebesar:

$$\Delta H^{\circ}_{673,15} = -8244,7174 \text{ kJ/kmol}$$

d. Reaksi *Decarbonylation*



As. Oleat + Hidrogen → Heptadekena + Karbon Monoksida + Air

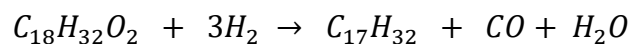
$$\Delta H^{\circ}_{673,15} = \Delta H^{\circ}_{f, \text{produk}} - \Delta H^{\circ}_{f, \text{reaktan}} \dots \dots \dots (1.3)$$

$$\Delta H^{\circ}_{673,15} = \Delta H^{\circ}_{f} [(C_{17}H_{34} + CO + H_2O) - (C_{18}H_{34}O_2 + 2H_2)] \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta H^{\circ}_{673,15} = (-458100,612) + (-99324,34) + (-459,0282) - ((-729303,6445) + (22010,9)) \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta H^{\circ}_{673,15} = (-1016453,1520) - (-707292,7445) \text{ kJ/kmol}$$

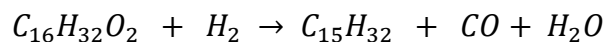
$$\Delta H^{\circ}_{673,15} = -309160,4075 \text{ kJ/kmol}$$



As. Linoleat + Hidrogen → Heptadekuna + Karbon Monoksida + Air

Mengacu pada rumus (1.3) maka diperoleh hasil $\Delta H^{\circ}_{673,15}$ untuk reaksi diatas adalah sebesar

$$\Delta H^{\circ}_{673,15} = -451902,0460 \text{ kJ/kmol}$$



As. Palmitat + Hidrogen → Pentadekana + Karbon Monoksida + Air

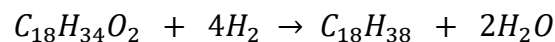
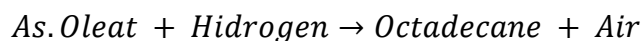
Mengacu pada rumus (1.3) maka diperoleh hasil $\Delta H^{\circ}_{673,15}$ untuk reaksi diatas adalah sebesar:

$$\Delta H^{\circ}_{673,15} = -381948,2109 \text{ kJ/kmol}$$

Dari hasil perhitungan diatas, diperoleh harga $\Delta H^{\circ}_{673,15}$ pada semua reaksi bernilai negatif, maka reaksi dalam proses ini bersifat eksotermis atau reaksi yang melepaskan/mengeluarkan energi selama reaksi, yang artinya reaksi memberikan energi keluar terhadap lingkungannya. Sehingga perlu adanya pengontrol suhu berupa pendingin.

Perhitungan nilai energi gibbs digunakan untuk mengetahui reaksi dapat berlangsung spontan atau tidak. Harga $\Delta G^{\circ}_{673,15}$ masing-masing reaksi dapat dilihat pada persamaan dibawah ini:

a. Reaksi *Hydrodeoxygenation*



$$\Delta G^{\circ}_{673,15} = \Delta G^{\circ}_{f, \text{produk}} - \Delta G^{\circ}_{f, \text{reaktan}} \dots\dots\dots (1.4)$$

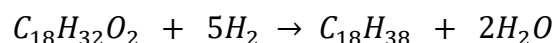
$$\Delta G^{\circ}_{673,15} = \Delta G^{\circ}_{f} [(C_{18}H_{38} + 2H_2O) - (C_{18}H_{34}O_2 + 4H_2)] \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta G^{\circ}_{673,15} = (784476,6676) + (-398182,4) - (446117,8067) + (56129,48)$$

$$\text{kJ/kmol}$$

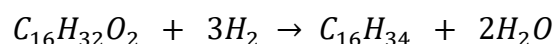
$$\Delta G^{\circ}_{673,15} = (386294,2676) - (502247,2867) \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta G^{\circ}_{673,15} = -115953,0190 \text{ kJ/kmol}$$



Mengacu pada rumus (1.4) maka diperoleh hasil $\Delta G^{\circ}_{673,15}$ untuk reaksi diatas adalah sebesar:

$$\Delta G^{\circ}_{673,15} = -183172,7461 \text{ kJ/kmol}$$

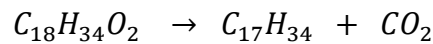
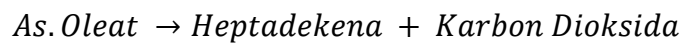




Mengacu pada rumus (1.4) maka diperoleh hasil $\Delta G^{\circ}_{673,15}$ untuk reaksi diatas adalah sebesar:

$$\Delta G^{\circ}_{673,15} = -73449,0988 \text{ kJ/kmol}$$

b. Reaksi *Decarboxylation*



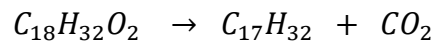
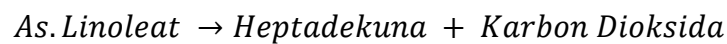
$$\Delta G^{\circ}_{673,15} = \Delta G^{\circ}_{f, \text{produk}} - \Delta G^{\circ}_{f, \text{reaktan}} \dots \dots \dots (1.5)$$

$$\Delta G^{\circ}_{673,15} = \Delta G^{\circ}_{f} [(C_{17}H_{34} + CO_2) - (C_{18}H_{32}O_2)] \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta G^{\circ}_{673,15} = ((771768,5156) + (-383609,7) - (446117,8067)) \text{ kJ/kmol}$$

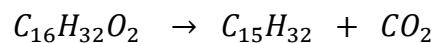
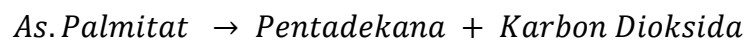
$$\Delta G^{\circ}_{673,15} = (388158,8156) - (446117,8067)) \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta G^{\circ}_{673,15} = -57958,9911 \text{ kJ/kmol}$$



Mengacu pada rumus (1.5) maka diperoleh hasil $\Delta G^{\circ}_{673,15}$ untuk reaksi diatas adalah sebesar:

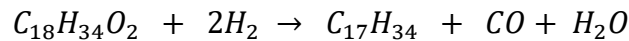
$$\Delta G^{\circ}_{673,15} = -24466,2576 \text{ kJ/kmol}$$



Mengacu pada rumus (1.5) maka diperoleh hasil $\Delta G^{\circ}_{673,15}$ untuk reaksi diatas adalah sebesar:

$$\Delta G^{\circ}_{673,15} = -57883,5258 \text{ kJ/kmol}$$

c. Reaksi *Decarbonylation*



As. Oleat + Hidrogen → Heptadekena + Karbon Monoksida + Air

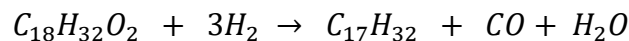
$$\Delta G^{\circ}_{673,15} = \Delta G^{\circ}_{f, \text{produk}} - \Delta G^{\circ}_{f, \text{reaktan}} \dots \dots \dots (1.6)$$

$$\Delta G^{\circ}_{673,15} = \Delta H^{\circ}_f [(C_{17}H_{34} + CO + H_2O) - (C_{18}H_{34}O_2 + 2H_2)] \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta G^{\circ}_{673,15} = (736273,3877) + (-156631) + (-199091,2) - ((446117,8067) + (28064,74)) \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta G^{\circ}_{673,15} = (380553,1877) - (474182,5467) \text{ kJ/kmol}$$

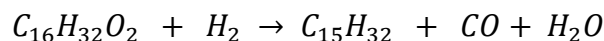
$$\Delta G^{\circ}_{673,15} = -93629,3589 \text{ kJ/kmol}$$



As. Linoleat + Hidrogen → Heptadekuna + Karbon Monoksida + Air

Mengacu pada rumus (1.6) maka diperoleh hasil $\Delta G^{\circ}_{673,15}$ untuk reaksi diatas adalah sebesar:

$$\Delta G^{\circ}_{673,15} = -160849,0860 \text{ kJ/kmol}$$



As. Palmitat + Hidrogen → Pentadekana + Karbon Monoksida + Air

Mengacu pada rumus (1.6) maka diperoleh hasil $\Delta G^{\circ}_{673,15}$ untuk reaksi diatas adalah sebesar:

$$\Delta G^{\circ}_{673,15} = -44028,3958 \text{ kJ/kmol}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, terlihat bahwa harga $\Delta G^{\circ}_{673,15}$ bernilai negatif, maka reaksi dapat berlangsung dengan spontan ke arah produk, sehingga energi yang dibutuhkan sedikit.

Penentuan reaksi berjalan irreversible ditinjau dari konstanta kesetimbangan reaksi (K). Nilai K dapat ditentukan menggunakan persamaan di bawah ini (Smith *et al.*, 2001):

$$\ln K_{298,15} = - \frac{\Delta G^\circ}{RT} \dots \dots \dots (1.7)$$

Berdasarkan data $\Delta H^\circ_{673,15}$ dan $\Delta G^\circ_{673,15}$ yang sudah didapatkan, maka dapat dihitung nilai K pada suhu 400°C (673,15 K) sebagai berikut:

a. Reaksi *Hydrodeoxygenation* (HDO)

$$\ln K_{673,15} = - \frac{\Delta G^\circ}{RT}$$

$$K_{673,15} = \exp \left(- \frac{-124191,621 \text{ kJ/mol}}{(8,314 \times 10^{-3}) \times (673,15 \text{ K})} \right)$$

$$K_{673,15} = 4,359 \times 10^9$$

b. Reaksi *Decarboxilation* (DCX)

$$\ln K_{673,15} = - \frac{\Delta G^\circ}{RT}$$

$$K_{673,15} = \exp \left(- \frac{-46769,591 \text{ kJ/mol}}{(8,314 \times 10^{-3}) \times (673,15 \text{ K})} \right)$$

$$K_{673,15} = 4,267 \times 10^3$$

c. Reaksi *Decarbonylation* (DCO)

$$\ln K_{673,15} = - \frac{\Delta G^\circ}{RT}$$

$$K_{673,15} = \exp \left(- \frac{-99502,280 \text{ kJ/mol}}{(8,314 \times 10^{-3}) \times (673,15 \text{ K})} \right)$$

$$K_{673,15} = 5,286 \times 10^7$$

Harga konstanta kesetimbangan reaksi (K) > 1, maka reaksi tersebut berlangsung secara searah (*irreversible*) dan ke arah kanan (produk).

1.4.2 Tinjauan Kinetika Reaktor-01 (*Hydrothreating*)

Reaksi pembentukan bioavtur dari minyak jelantah berlangsung secara eksotermis. Dimana Persamaan reaksi yang digunakan:

- a. Reaksi HDO (*hydrodeoxygenation*)

$$-r = k'_{HDO} \cdot C_A$$

- b. Reaksi DCX (*decarboxylation*)

$$-r = k'_{DCX} \cdot C_A$$

- c. Reaksi DCO (*decarbonylation*)

$$-r = k'_{DCO} \cdot C_A$$

Dengan:

r = laju reaksi ($\text{m}^3/\text{kmol}/\text{jam}$)

k_{HDO} = konstanta laju reaksi *hydrodeoxygenation* ($\text{m}^3/\text{kmol}/\text{jam}$)

k_{DCX} = konstanta laju reaksi *decarboxylation* ($\text{m}^3/\text{kmol}/\text{jam}$)

k_{DCO} = konstanta laju reaksi *decarbonylation* ($\text{m}^3/\text{kmol}/\text{jam}$)

C_A = konsentrasi WCO (*waste cooking oil*) (kmol/m^3)

Tinjauan kinetika dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh perubahan temperatur terhadap kecepatan reaksi. Berdasarkan penelitian Žula *et al.* (2023), konstanta kecepatan reaksi pada reaksi HDO (*hydrodeoxygenation*), DCX (*decarboxylation*), dan DCO (*decarbonylation*) pada temperatur 523 K tercantum sebagai berikut:

$$k_{523_{HDO}} = 3,0 \times 10^3 \text{min}^{-1}$$

$$k_{523_{DCX}} = 4,3 \times 10^{-2} \text{min}^{-1}$$

$$k_{523_{DCO}} = 18 \text{min}^{-1}$$

Berdasarkan persamaan Arrhenius tersebut, maka konstanta kecepatan reaksi pada suhu 400°C (673,15 K) dalam proses *hydrotreating* adalah sebagai berikut:

$$k_{673_{HDO}} = k_{523} \exp \left[-\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \right]$$

$$k_{673_{HDO}} = k_{523} \exp \left[-\frac{93000}{8,314} \left(\frac{1}{673} - \frac{1}{523} \right) \right]$$

$$k_{673_{HDO}} = 3,53 \times 10^5 \text{min}^{-1}$$

$$k_{673_{DCX}} = k_{523} \exp \left[-\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \right]$$

$$k_{673_{DCX}} = k_{523} \exp \left[-\frac{156000}{8,314} \left(\frac{1}{673} - \frac{1}{523} \right) \right]$$

$$k_{673_{DCX}} = 1,279 \times 10^2 \text{min}^{-1}$$

$$k_{673_{DCO}} = k_{523} \exp \left[-\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \right]$$

$$k_{673_{DCO}} = k_{523} \exp \left[-\frac{114000}{8,314} \left(\frac{1}{673} - \frac{1}{523} \right) \right]$$

$$k_{673_{DCO}} = 6,19 \times 10^3 \text{min}^{-1}$$

1.4.3 Tinjauan Termodinamika Reaktor-02 (*Hydrocracking/Isomerization*)

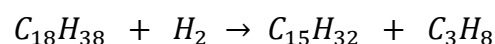
Tinjauan secara termodinamika ditujukan untuk mengetahui sifat reaksi (endotermis/eksotermis) dan reaksi berlangsung secara spontan atau tidak, serta arah reaksi (*reversible/irreversible*). Penentuan sifat reaksi eksotermis atau endotermis dapat ditentukan dengan perhitungan panas pembentukan standar (ΔH°_f) dan energi gibbs (ΔG°_f) pada tekanan 30 atm dan suhu 673,15 K dari reaktan dan produk. Nilai ΔH°_f dan ΔG°_f ditinjau dari segi termodinamika dengan harga-harga ΔH°_f dan ΔG°_f masing-masing komponen pada suhu 400°C (673,15 K) dapat dilihat pada Tabel berikut:

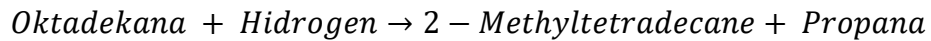
Table 1.5 Data ΔH°_f dan ΔG°_f Per Komponen

Komponen	ΔH°_f (kJ/mol)	ΔG°_f (kJ/mol)
H ₂	11,00545	14,03237
C ₃ H ₈	-64,76102	79,12911
H ₂ O	-229,5141	-199,0912
C ₅ H ₁₂	-89,29582	153,4114
C ₆ H ₁₄	-97,94644	193,7709
C ₈ H ₁₈	-115,7301	273,0046
C ₉ H ₂₀	-126,512	315,8449
C ₁₀ H ₂₂	-137,9027	351,3398
C ₁₂ H ₂₆	-168,0828	431,7152
C ₁₅ H ₃₂	-183,9014	545,143
C ₁₆ H ₃₄	-190,7253	587,9729
C ₁₇ H ₃₂	86,23674	757,0966
C ₁₇ H ₃₄	-76,30414	664,5462
C ₁₇ H ₃₆	-198,6896	627,3835
C ₁₈ H ₃₈	-206,7517	666,5354
C ₁₆ H ₃₂ O ₂	-532,0336	246,4248
C ₁₈ H ₃₂ O ₂	-364,9811	364,6322
C ₁₈ H ₃₄ O ₂	-500,7535	294,5436

Sumber: Aspen Plus V15; Yaws (1999).

Reaksi:





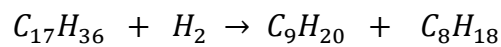
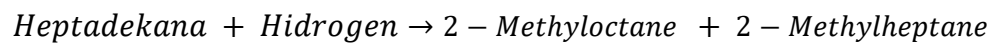
$$\Delta H^{\circ}_{673,15} = \Delta H^{\circ}_{f, \text{produk}} - \Delta H^{\circ}_{f, \text{reaktan}} \dots \dots \dots (1.9)$$

$$\Delta H^{\circ}_{673,15} = \Delta H^{\circ}_{f} [(C_{15}H_{32} + C_3H_8) - (C_{18}H_{38} + H_2)] \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta H^{\circ}_{673,15} = (-183901,4) + (-64761,02) - ((-206751,7) + (11005,45)) \text{ kJ/kmol}$$

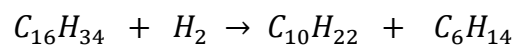
$$\Delta H^{\circ}_{673,15} = (-248662,42) - (-195746,25)) \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta H^{\circ}_{673,15} = -52916,17 \text{ kJ/kmol}$$



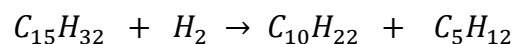
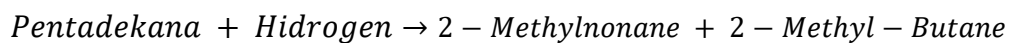
Mengacu pada rumus (1.9) maka diperoleh hasil $\Delta H^{\circ}_{673,15}$ untuk reaksi diatas adalah sebesar:

$$\Delta H^{\circ}_{673,15} = -54557,95 \text{ kJ/kmol}$$



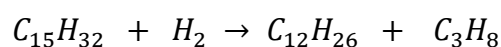
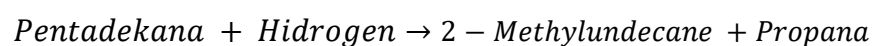
Mengacu pada rumus (1.9) maka diperoleh hasil $\Delta H^{\circ}_{673,15}$ untuk reaksi diatas adalah sebesar:

$$\Delta H^{\circ}_{673,15} = -56129,29 \text{ kJ/kmol}$$



Mengacu pada rumus (1.9) maka diperoleh hasil $\Delta H^{\circ}_{673,15}$ untuk reaksi diatas adalah sebesar:

$$\Delta H^{\circ}_{673,15} = -54302,57 \text{ kJ/kmol}$$



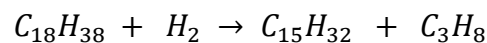
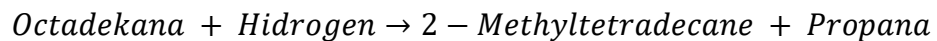
Mengacu pada rumus (1.9) maka diperoleh hasil $\Delta H^\circ_{673,15}$ untuk reaksi diatas adalah sebesar:

$$\Delta H^\circ_{673,15} = -59947,87 \text{ kJ/kmol}$$

Dari hasil perhitungan diatas, diperoleh harga $\Delta H^\circ_{673,15}$ pada semua reaksi bernilai negatif, maka reaksi dalam proses ini bersifat eksotermis atau reaksi yang melepaskan/mengeluarkan energi selama reaksi, yang artinya reaksi memberikan energi keluar terhadap lingkungannya. Sehingga perlu adanya pengontrol suhu berupa pendingin.

Perhitungan nilai energi gibbs digunakan untuk mengetahui reaksi dapat berlangsung spontan atau tidak. Harga $\Delta G^\circ_{673,15}$ dapat dilihat pada persamaan dibawah ini:

Reaksi:



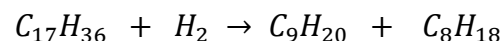
$$\Delta G^\circ_{673,15} = \Delta G^\circ_{f, \text{produk}} - \Delta G^\circ_{f, \text{reaktan}} \dots\dots\dots (1.10)$$

$$\Delta G^\circ_{673,15} = \Delta G^\circ_f [(C_{15}H_{32} + C_3H_8) - (C_{18}H_{38} + H_2)] \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta G^\circ_{673,15} = (545143) + (79129,11) - (666535,4) + (14032,37) \text{ kJ/kmol}$$

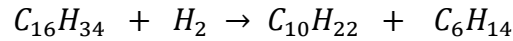
$$\Delta G^\circ_{673,15} = (624272,11) - (680567,77) \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta G^\circ_{673,15} = -56295,66, \text{ kJ/kmol}$$



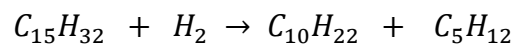
Mengacu pada rumus (1.10) maka diperoleh hasil $\Delta G^\circ_{673,15}$ untuk reaksi diatas adalah sebesar:

$$\Delta G^{\circ}_{673,15} = -52566,37 \text{ kJ/kmol}$$



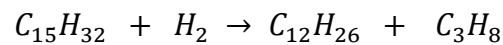
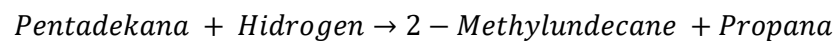
Mengacu pada rumus (1.10) maka diperoleh hasil $\Delta G^{\circ}_{673,15}$ untuk reaksi diatas adalah sebesar:

$$\Delta G^{\circ}_{673,15} = -56894,57 \text{ kJ/kmol}$$



Mengacu pada rumus (1.10) maka diperoleh hasil $\Delta G^{\circ}_{673,15}$ untuk reaksi diatas adalah sebesar:

$$\Delta G^{\circ}_{673,15} = -54424,17 \text{ kJ/kmol}$$



Mengacu pada rumus (1.10) maka diperoleh hasil $\Delta G^{\circ}_{673,15}$ untuk reaksi diatas adalah sebesar:

$$\Delta G^{\circ}_{673,15} = -48331,06 \text{ kJ/kmol}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, terlihat bahwa harga $\Delta G^{\circ}_{673,15}$ bernilai negatif, maka reaksi dapat berlangsung dengan spontan, sehingga energi yang dibutuhkan sedikit.

Penentuan reaksi berjalan *reversible* ditinjau dari konstanta kesetimbangan reaksi (K). Nilai K dapat ditentukan menggunakan persamaan di bawah ini (Smith *et al.*, 2001):

$$\ln K_{673,15} = - \frac{\Delta G^{\circ}}{RT} \dots \dots \dots (1.10)$$

Berdasarkan data $\Delta H^\circ_{673,15}$ dan $\Delta G^\circ_{673,15}$ yang sudah didapatkan, maka dapat dihitung nilai K pada suhu 400°C (673,15 K) sebagai berikut:

$$\ln K_{298,15} = - \frac{\Delta G^\circ}{RT}$$

$$K_{298,15} = \exp \left(- \frac{-53,702366 \text{ kJ/mol}}{(8,314 \times 10^{-3}) \times (673,15 \text{ K})} \right)$$

$$K_{298,15} = 1,47 \times 10^4$$

Harga konstanta kesetimbangan reaksi (K) > 1, maka reaksi tersebut berlangsung secara searah (*irreversible*) dan ke arah kanan (produk).

1.4.4 Tinjauan Kinetika Reaktor-02 (*Hydrocracking dan Isomerization*)

Reaksi pembentukan bioavtur dari minyak jelantah berlangsung secara eksotermis. Dimana Persamaan reaksi yang digunakan:

$$-r_A = k' \cdot C_A$$

Dengan:

r = laju reaksi (m³/kmol/jam)

k = konstanta laju reaksi (m³/kmol/jam)

C_A = konsentrasi WCO (*waste cooking oil*) (kmol/m³)

Tinjauan kinetika dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh perubahan temperatur terhadap kecepatan reaksi. Berdasarkan penelitian Salamah *et al.* (2025), konstanta kecepatan reaksi pada temperatur 723,15 K tercantum sebagai berikut:

$$k = 2,76 \times 10^{-1} \text{ hr}^{-1}$$

$$k_{673} = k_{723} \exp \left[- \frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \right]$$

$$k_{673} = k_{723} \exp \left[- \frac{37874,8}{8,314} \left(\frac{1}{673} - \frac{1}{723} \right) \right]$$

$$k_{673} = 1,73 \times 10^{-1} \text{hr}^{-1}$$

BAB II

PERANCANGAN PRODUK

2.1 Spesifikasi Produk

2.1.1 Bioavtur

a. Sifat Fisik

Rumus molekul : Tidak memiliki rumus molekul tunggal karena berupa campuran hidrokarbon, terutama fraksi C₈-C₁₆ parafin dan isoparafin

Bentuk dan warna : Cair, jernih hingga agak kekuningan

Berat molekul : Bervariasi sesuai komposisi fraksi hidrokarbon

Rentang titik didih : Sekitar 150-300 °C untuk fraksi kerosin/bahan bakar jet

Titik beku : Maksimum - 47 °C untuk spesifikasi Jet A-1 setelah blending

Densitas : Sekitar 775-840 kg/m³ pada 15 °C untuk spesifikasi Jet A-1

Titik nyala : Minimum 38 °C untuk Jet A-1

Kelarutan dalam air : Tidak larut dalam air

Bau : Khas bahan bakar hidrokarbon ringan

Kemurnian : Diarahkan memenuhi ASTM D7566 sebagai *synthetic blending component* dan ASTM D1655 setelah *blending*

b. Sifat Kimia

1. Bioavtur merupakan campuran hidrokarbon parafinik dan isoparafinik dengan kandungan sulfur, nitrogen, dan oksigen yang rendah karena atom oksigen pada asam lemak dihilangkan selama proses hidrideoksigenasi.
2. Bioavtur bersifat mudah terbakar sehingga harus dijauhkan dari panas, percikan api, nyala terbuka, dan sumber pengapian lain.
3. Bioavtur relatif stabil pada kondisi penyimpanan normal, tetapi dapat mengalami oksidasi apabila terpapar udara, panas, dan cahaya dalam waktu lama.
4. Bioavtur memiliki sifat hidrofobik dan tidak bercampur dengan air sehingga keberadaan air bebas harus dikendalikan untuk mencegah gangguan mutu bahan bakar.
5. Kualitas bioavtur dipengaruhi oleh distribusi karbon, rasio normal-parafin/isoparafin, titik beku, viskositas, titik nyala, serta kandungan pengotor seperti air, sedimen, sulfur, dan sisa oksigenat.

Spesifikasi bioavtur dalam rancangan ini diarahkan pada kerangka mutu bahan bakar jet sintetis. ASTM D7566 mengatur aviation turbine fuel yang mengandung hidrokarbon sintetis, sedangkan bahan bakar yang telah disertifikasi dan dilepas berdasarkan ASTM D7566

dapat diperlakukan sebagai bahan bakar turbin penerbangan ASTM D1655. Untuk Jet A-1, parameter penting yang dikendalikan antara lain titik nyala minimum 38 °C dan titik beku maksimum -47 °C (ASTM International, 2022, 2025).

c. Keselamatan Bahan

1. Penanganan

- a. Gunakan alat pelindung diri seperti sarung tangan tahan bahan kimia, kacamata keselamatan, pelindung wajah, dan pakaian kerja antistatis.
- b. Hindari kontak langsung dengan kulit dan mata serta hindari menghirup uap atau kabut bahan bakar.
- c. Tangani bioavtur pada area berventilasi baik dan jauhkan dari sumber panas, nyala api, percikan, serta permukaan panas.
- d. Gunakan sistem grounding dan bonding saat pemindahan bahan bakar untuk mencegah bahaya listrik statis.
- e. Jangan makan, minum, atau merokok pada area kerja yang menangani bioavtur.

2. Penyimpanan

- a. Simpan dalam tangki atau wadah tertutup yang kompatibel dengan bahan bakar hidrokarbon.
- b. Tempatkan pada area sejuk, kering, berventilasi baik, dan terlindung dari panas berlebih serta sinar matahari langsung.

- c. Jauhkan dari oksidator kuat dan bahan kimia yang tidak kompatibel.
- d. Pastikan tangki penyimpanan dilengkapi sistem pencegahan kebocoran, *grounding*, ventilasi, serta proteksi kebakaran.
- e. Lakukan pemeriksaan berkala terhadap kandungan air, sedimen, dan potensi kontaminasi mikrobiologis.

2.2 spesifikasi Bahan Baku dan Bahan Pendukung

2.2.1 Minyak Jelantah/*Waste Cooking Oil* (WCO)

a. Sifat Fisik

Rumus molekul	: Tidak memiliki rumus molekul tunggal karena merupakan campuran trigliserida, digliserida, monogliserida, dan asam lemak bebas
Bentuk dan warna	: Cair kental, kuning kecokelatan hingga cokelat gelap
Berat molekul	: Bervariasi sesuai komposisi asam lemak penyusun minyak
Titik didih	: Tidak memiliki titik didih tunggal dan dapat mengalami dekomposisi pada temperatur tinggi
Titik beku	: Bervariasi sesuai komposisi asam lemak dan tingkat kejenuhan
<i>Specific gravity</i>	: Sekitar 0,90-0,93 pada 20-25 °C
Kelarutan dalam air	: Tidak larut dalam air

Bau	: Khas minyak bekas penggorengan, dapat berbau tengik
Kemurnian	: Disesuaikan dengan hasil pretreatment; bebas padatan kasar, air bebas, dan pengotor berlebih

b. Sifat Kimia

1. Minyak jelantah atau WCO mengandung trigliserida dan asam lemak bebas yang dapat dikonversi menjadi hidrokarbon melalui reaksi *hydrodeoxygenation*, *decarboxylation*, *decarbonylation*, *hydrocracking*, dan *hydroisomerization*.
2. Kandungan asam lemak bebas, air, padatan, senyawa polar, serta logam dapat meningkat akibat proses penggorengan berulang.
3. Ikatan rangkap pada asam lemak tidak jenuh, terutama asam oleat dan asam linoleat, mudah mengalami oksidasi apabila terpapar udara, panas, dan cahaya.
4. WCO bersifat hidrofobik dan tidak bercampur dengan air, tetapi dapat membawa air terdispersi atau emulsi yang harus dihilangkan sebelum proses reaksi.
5. Komposisi WCO sangat dipengaruhi oleh jenis minyak awal, jenis bahan pangan yang digoreng, temperatur, lama penggunaan, dan sistem pengumpulan bahan baku.

Dalam rancangan pabrik bioavtur, WCO dipilih karena mengandung fraksi lipid yang dapat diproses melalui jalur HEFA.

Jalur ini mengubah trigliserida dan asam lemak menjadi hidrokarbon rentang bahan bakar jet melalui reaksi berbasis hidrogen dan katalis

c. Keselamatan Bahan

1. Penanganan

- a. Gunakan sarung tangan, kaca mata pelindung, dan pakaian kerja untuk mencegah kontak langsung dengan bahan yang telah terkontaminasi.
- b. Hindari pemanasan berlebih karena WCO dapat menghasilkan asap dan produk degradasi termal.
- c. Tangani tumpahan segera karena minyak dapat menyebabkan permukaan lantai menjadi licin.
- d. Lakukan penyaringan awal untuk menghilangkan padatan makanan, pasir, dan kontaminan kasar.
- e. Hindari kontak dengan sumber oksidator kuat.

2. Penyimpanan

- a. Simpan dalam tangki tertutup untuk mengurangi kontak dengan udara, air, dan kontaminan lingkungan.
- b. Letakkan pada area sejuk dan terlindung dari sinar matahari langsung.
- c. Lakukan pemisahan air bebas secara berkala untuk mencegah hidrolisis dan penurunan mutu bahan baku.
- d. Gunakan sistem first in first out untuk menghindari penurunan mutu akibat penyimpanan terlalu lama.

- e. Pastikan tangki dilengkapi drain, ventilasi, serta akses sampling untuk pengendalian kualitas.

1.2.2 Asam Oleat ($C_{18}H_{34}O_2$)

a. Sifat Fisik

Rumus molekul	: $C_{18}H_{34}O_2$
Bentuk dan warna	: Cairan berminyak, tidak berwarna hingga kuning pucat
Berat molekul	: 282,47 gram/mol
Titik didih	: Sekitar 360 °C
Titik beku	: Sekitar 13-14 °C
<i>Specific gravity</i>	: Sekitar 0,89 pada 25 °C
Kelarutan dalam air	: Sangat sukar larut dalam air, larut dalam pelarut organik
Bau	: Khas lemak/minyak
Kemurnian	: Disesuaikan dengan komposisi WCO dan data analisis bahan baku

b. Sifat Kimia

2. Asam oleat merupakan asam lemak tidak jenuh tunggal dengan satu ikatan rangkap pada rantai karbonnya.

3. Asam oleat dapat mengalami hidrogenasi menjadi asam stearat atau mengalami hidrodeoksigenasi menjadi hidrokarbon rantai panjang.
4. Ikatan rangkap pada asam oleat membuat senyawa ini lebih mudah teroksidasi dibandingkan asam lemak jenuh.
5. Asam oleat dapat bereaksi dengan basa membentuk garam oleat dan dapat membentuk ester melalui reaksi esterifikasi dengan alkohol.
6. Dalam proses bioavtur, asam oleat berkontribusi pada pembentukan hidrokarbon C_{17} - C_{18} yang selanjutnya dapat diisomerisasi dan di-cracking menjadi fraksi bioavtur.

Sifat fisik asam oleat mengacu pada data senyawa terbuka yang tersedia pada PubChem, sedangkan perannya dalam produksi bioavtur berkaitan dengan keberadaan asam lemak tidak jenuh pada bahan baku lipid.

c. Keselamatan Bahan

1. Penanganan

- a. Gunakan sarung tangan dan kacamata keselamatan untuk menghindari kontak dengan kulit dan mata.
- b. Hindari inhalasi kabut atau aerosol apabila bahan dipanaskan atau disemprotkan.
- c. Jauhkan dari oksidator kuat karena dapat mempercepat degradasi oksidatif.

- d. Gunakan ventilasi yang memadai pada area kerja.
- e. Cuci tangan setelah penanganan bahan.

2. Penyimpanan

- a. Simpan dalam wadah tertutup rapat di tempat sejuk dan kering.
- b. Lindungi dari cahaya langsung, panas, dan kontak udara berlebihan.
- c. Jauhkan dari oksidator kuat dan bahan reaktif.
- d. Gunakan wadah yang bersih untuk mencegah kontaminasi logam yang dapat mempercepat oksidasi.
- e. Lakukan pemeriksaan warna dan bau sebagai indikasi awal terjadinya oksidasi atau ketengikan.

1.2.3 Asam Linoleat ($C_{18}H_{32}O_2$)

a. Sifat Fisik

Rumus molekul : $C_{18}H_{32}O_2$

Bentuk dan warna : Cairan berminyak, tidak berwarna hingga kuning pucat

Berat molekul : 280,45 gram/mol

Titik didih : Sekitar 229-230 °C pada tekanan rendah

Titik beku : Sekitar -5 °C

Specific gravity : Sekitar 0,90 pada 25 °C

Kelarutan dalam air : Sangat sukar larut dalam air; larut dalam pelarut organik

Bau : Khas lemak/minyak

Kemurnian : Disesuaikan dengan komposisi WCO dan data analisis bahan baku

b. Sifat Kimia

1. Asam linoleat merupakan asam lemak tidak jenuh ganda dengan dua ikatan rangkap pada rantai karbonnya.
2. Asam linoleat lebih rentan mengalami oksidasi dibandingkan asam oleat karena memiliki jumlah ikatan rangkap yang lebih banyak.
3. Senyawa ini dapat mengalami hidrogenasi, oksidasi, esterifikasi, dan hidrodeoksigenasi.
4. Dalam proses hidrodeoksigenasi, gugus karboksilat dan atom oksigen pada asam linoleat dihilangkan sehingga terbentuk hidrokarbon rantai panjang.
5. Keberadaan asam linoleat pada WCO perlu diperhatikan karena tingkat ketidakjenuhan bahan baku berpengaruh terhadap kebutuhan hidrogen dan stabilitas bahan.

Data sifat fisik asam linoleat mengacu pada PubChem.

Secara proses, semakin tinggi kandungan asam lemak tidak jenuh,

semakin besar kebutuhan hidrogenasi untuk menjenuhkan ikatan rangkap sebelum atau selama pembentukan hidrokarbon

c. Keselamatan Bahan

1. Penanganan

- a. Gunakan APD standar berupa sarung tangan, kacamata keselamatan, dan jas laboratorium atau pakaian kerja
- b. Hindari kontak langsung dengan kulit dan mata.
- c. Hindari paparan panas, cahaya, dan udara berlebihan untuk mencegah oksidasi.
- d. Jangan menghirup aerosol atau kabut yang terbentuk selama pemanasan.
- e. Tangani bahan dengan praktik higienis industri yang baik.

2. Penyimpanan

- a. Simpan dalam wadah tertutup rapat dan terlindung dari cahaya.
- b. Tempatkan pada area sejuk, kering, dan berventilasi baik.
- c. Jauhkan dari oksidator kuat.
- d. Minimalkan ruang kosong dalam wadah untuk mengurangi kontak dengan oksigen.
- e. Gunakan sistem penyimpanan yang mencegah kontaminasi air dan logam.

1.2.4 Asam Palmitat ($C_{16}H_{32}O_2$)

a. Sifat Fisik

Rumus molekul	: $C_{16}H_{32}O_2$
Bentuk dan warna	: Padatan putih hingga kekuningan, bertekstur seperti lilin
Berat molekul	: 256,42 gram/mol
Titik didih	: Sekitar 351 °C
Titik leleh	: Sekitar 62-63 °C
<i>Specific gravity</i>	: Sekitar 0,85 pada temperatur di atas titik leleh
Kelarutan dalam air	: Tidak larut dalam air; larut dalam pelarut organik panas
Bau	: Khas lemak atau hampir tidak berbau
Kemurnian	: Disesuaikan dengan komposisi WCO dan data analisis bahan baku

b. Sifat Kimia

1. Asam palmitat merupakan asam lemak jenuh sehingga tidak memiliki ikatan rangkap pada rantai karbonnya.
2. Asam palmitat relatif lebih stabil terhadap oksidasi dibandingkan asam oleat dan asam linoleat.
3. Senyawa ini dapat mengalami esterifikasi dengan alkohol dan netralisasi dengan basa membentuk garam palmitat.
4. Dalam proses hidrodoksigenasi, asam palmitat dapat dikonversi menjadi hidrokarbon C_{15} - C_{16} melalui jalur dekarboksilasi/dekarbonilasi atau hidrodoksigenasi.

5. Kandungan asam palmitat berkontribusi terhadap pembentukan n-parafin yang perlu diisomerisasi agar sifat alir dingin bioavtur memenuhi spesifikasi.

Sifat fisik asam palmitat disusun berdasarkan data PubChem. Sebagai asam lemak jenuh, asam palmitat memiliki stabilitas oksidatif lebih tinggi, tetapi produk parafin lurus nya tetap perlu dikendalikan melalui hidroisomerisasi agar titik beku fraksi bioavtur dapat memenuhi spesifikasi.

c. Keselamatan Bahan

1. Penanganan

- a. Gunakan sarung tangan, kaca mata keselamatan, dan masker debu apabila bahan berbentuk serbuk.
- b. Hindari pembentukan debu dan hindari kontak dengan mata.
- c. Tangani bahan jauh dari sumber panas berlebih.
- d. Gunakan ventilasi lokal bila dilakukan pemanasan atau pelelehan bahan.
- e. Cuci tangan setelah penanganan bahan.

2. Penyimpanan

- a. Simpan pada wadah tertutup di tempat sejuk dan kering.
- b. Jauhkan dari oksidator kuat.
- c. Hindari kelembapan dan kontaminasi debu asing.
- d. Jaga area penyimpanan tetap bersih untuk mencegah kontaminasi bahan baku.

- e. Simpan terpisah dari bahan yang mudah bereaksi atau menghasilkan panas.

1.2.5 Hidrogen (H_2)

a. Sifat Fisik

Rumus molekul	: H_2
Bentuk dan warna	: Gas, tidak berwarna
Berat molekul	: 2,016 gram/mol
Titik didih	: -252,9 °C
Titik beku	: -259,2 °C
<i>Specific gravity</i>	: Sekitar 0,069 terhadap udara
Kelarutan dalam air	: Sangat rendah
Bau	: Tidak berbau
Kemurnian	: Disesuaikan dengan kebutuhan proses hidrogenasi/hidrodeoksigenasi

b. Sifat Kimia

1. Hidrogen merupakan gas pereduksi yang digunakan dalam reaksi hidrogenasi, hidrodeoksigenasi, dan hidroisomerisasi.
2. Hidrogen sangat mudah terbakar dan dapat membentuk, campuran eksplosif dengan udara pada rentang konsentrasi tertentu.

3. Hidrogen memiliki molekul kecil sehingga berpotensi bocor melalui celah yang sangat kecil pada sistem perpipaan dan peralatan.
4. Pada temperatur dan tekanan tinggi, hidrogen dapat memengaruhi material logam tertentu sehingga pemilihan material peralatan harus diperhatikan.
5. Kemurnian hidrogen penting karena pengotor seperti CO, CO₂, H₂S, air, dan oksigen dapat menurunkan kinerja katalis atau meningkatkan risiko keselamatan proses.

Hidrogen menjadi bahan baku penting dalam proses HEFA karena diperlukan untuk menjenuhkan ikatan rangkap, menghilangkan oksigen dari asam lemak, dan membentuk hidrokarbon parafinik. Data fisik hidrogen mengacu pada PubChem dan lembar keselamatan bahan terbuka.

c. Keselamatan Bahan

1. Penanganan

- a. Gunakan sistem tertutup, detektor hidrogen, ventilasi memadai, serta peralatan listrik tahan ledakan.
- b. Jauhkan dari api terbuka, percikan, permukaan panas, dan oksidator kuat.
- c. Lakukan pemeriksaan kebocoran secara berkala menggunakan metode yang aman dan tidak menggunakan nyala api.

- d. Pastikan sistem perpipaan, *valve*, kompresor, dan reaktor sesuai untuk layanan hidrogen bertekanan.
- e. Operator harus mengikuti prosedur izin kerja panas, isolasi energi, dan prosedur darurat hidrogen.

2. Penyimpanan

- a. Simpan dalam tabung atau sistem penyimpanan bertekanan yang sesuai standar keselamatan gas.
- b. Tempatkan tabung pada area terbuka atau berventilasi baik dan terlindung dari panas.
- c. Pisahkan dari oksigen, oksidator kuat, dan gas mudah terbakar lain yang tidak kompatibel.
- d. Pastikan tabung terikat kuat dan dilengkapi pelindung *valve*.
- e. Gunakan sistem *relief* dan prosedur *purge inert* sebelum perawatan peralatan.

1.2.6 Katalis NiMo

a. Sifat Fisik

Komposisi	:Katalis berbasis nikel-molibdenum, umumnya didukung pada alumina, zeolit, silika-alumina, atau material berpori lainnya
Bentuk dan warna	:Padatan serbuk, pelet, atau ekstrudat; abu-abu hingga hitam

Berat molekul	: Tidak memiliki berat molekul tunggal karena berupa material katalis padat multikomponen
Titik leleh	: Tidak berlaku sebagai senyawa tunggal
Densitas curah	: Bervariasi menurut bentuk, ukuran partikel, dan jenis support
Kelarutan dalam air	: Tidak larut dalam air
Bau	: Tidak berbau
Kemurnian	: Disesuaikan dengan spesifikasi vendor katalis dan kebutuhan proses

b. Sifat Kimia

1. Katalis NiMo berfungsi dalam reaksi hidrideoksigenasi, hidrogenasi, dan *hydrocracking* senyawa lipid menjadi hidrokarbon.
2. Fase aktif NiMo dapat memfasilitasi pemutusan ikatan C-O dan penghilangan oksigen dalam bentuk H₂O, CO, atau CO₂.
3. Aktivitas katalis dipengaruhi oleh luas permukaan, distribusi pori, keasaman *support*, dispersi logam, serta kondisi sulfidasi atau aktivasi katalis.
4. Katalis dapat mengalami deaktivasi akibat *coke*, air, logam, fosfor, sabun, senyawa sulfur berlebih, atau kontaminan lain dari WCO.

5. Katalis bekas harus diperlakukan sebagai limbah padat terkontaminasi logam dan hidrokarbon.

Penggunaan katalis NiMo pada konversi WCO menjadi fraksi *bio-jet* telah dilaporkan pada penelitian terbuka, antara lain pada sistem NiMo/Al₂O₃ yang digunakan untuk *hydroconversion* WCO menjadi *bio-jet fuel*.

c. Keselamatan Bahan

1. Penanganan

- a. Gunakan masker debu, sarung tangan, kacamata keselamatan, dan pakaian kerja saat menangani katalis padat.
- b. Hindari menghirup debu katalis karena dapat mengandung senyawa nikel dan molibdenum.
- c. Hindari kontak langsung dengan kulit dan mata.
- d. Gunakan peralatan tertutup saat pengisian atau pengeluaran katalis dari reaktor.
- e. Katalis bekas perlu didinginkan, diinertisasi, dan ditangani sesuai prosedur limbah bahan berbahaya.

2. Penyimpanan

- a. Simpan dalam wadah tertutup, kering, dan terlindung dari kelembapan.
- b. Jauhkan dari asam kuat, basa kuat, oksidator kuat, serta kontaminan yang dapat merusak katalis.

- c. Hindari kerusakan mekanik pada pelet atau ekstrudat katalis.
- d. Simpan sesuai rekomendasi vendor untuk menjaga aktivitas katalis.
- e. Pisahkan katalis baru dan katalis bekas untuk mencegah kontaminasi silang.

1.2.7 Katalis Pt/SAPO-11

a. Sifat Fisik

Komposisi	: Platina terdispersi pada molecular sieve SAPO-11 berbasis silikoaluminofosfat
Bentuk dan warna	: Padatan serbuk, pelet, atau ekstrudat; putih keabuan hingga abu-abu
Berat molekul	: Tidak memiliki berat molekul tunggal karena berupa material katalis multikomponen
Titik leleh	: Tidak berlaku sebagai senyawa tunggal
Densitas curah	: Bervariasi menurut ukuran partikel dan metode preparasi
Kelarutan dalam air	: Tidak larut dalam air
Bau	: Tidak berbau
Kemurnian	: Disesuaikan dengan kadar Pt, rasio Si/Al/P, dan spesifikasi vendor

b. Sifat Kimia

1. Pt/SAPO-11 merupakan katalis bifungsional yang menggabungkan fungsi logam platina dan situs asam SAPO-11.
2. Fungsi logam membantu hidrogenasi/dehidrogenasi, sedangkan situs asam SAPO-11 mendukung reaksi hidroisomerisasi dan hydrocracking ringan.
3. Katalis ini digunakan untuk meningkatkan percabangan hidrokarbon sehingga sifat alir dingin dan titik beku bioavtur menjadi lebih baik.
4. Aktivitas katalis dipengaruhi oleh dispersi Pt, kekuatan asam, ukuran pori SAPO-11, temperatur, tekanan hidrogen, dan laju alir umpan.
5. Katalis dapat mengalami deaktivasi akibat *coke*, air, nitrogen, logam, atau pengotor lain yang terbawa dari bahan baku.

Hidroisomerisasi n-alkana merupakan tahap penting untuk menghasilkan bioavtur bermutu tinggi karena percabangan hidrokarbon membantu menurunkan titik beku. Studi terbuka tentang Pt/SAPO-11 menunjukkan relevansi katalis ini dalam produksi *bio-aviation kerosene*.

c. Keselamatan Bahan

1. Penanganan
 - a. Gunakan sarung tangan, kacamata keselamatan, masker debu, dan pakaian kerja.
 - b. Hindari pembentukan dan inhalasi debu katalis.

- c. Tangani katalis dengan hati-hati karena Pt merupakan logam bernilai tinggi dan aktivitas katalis dapat turun akibat kontaminasi.
- d. Hindari kontak katalis dengan air, minyak kotor, senyawa sulfur berlebih, dan logam berat sebelum digunakan.
- e. Katalis bekas harus diinertisasi dan dikelola sesuai prosedur limbah katalis.

2. Penyimpanan

- a. Simpan pada wadah asli yang tertutup rapat dan kering.
- b. Lindungi dari kelembapan, debu, dan kontaminan kimia.
- c. Jauhkan dari asam kuat, basa kuat, oksidator kuat, dan bahan yang dapat merusak struktur katalis.
- d. Hindari getaran atau tekanan mekanik yang dapat memecah pelet katalis.
- e. Simpan pada area aman dengan kontrol inventaris karena mengandung logam mulia.

2.3 Pengendalian Kualitas

Pengendalian kualitas merupakan upaya untuk memastikan bahwa mutu bahan baku, bahan pendukung, proses produksi, dan produk akhir tetap sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan. Pada prarancangan pabrik bioavtur dari minyak jelantah/WCO, pengendalian kualitas dilakukan untuk menjaga kontinuitas operasi, mencegah kerusakan katalis, mengurangi risiko keselamatan, serta memastikan bioavtur dan nafta yang dihasilkan memiliki karakteristik sesuai kebutuhan industri.

Tiga aspek utama yang perlu diperhatikan adalah pengendalian kualitas bahan baku, pengendalian proses produksi, dan pengendalian kualitas produk.

2.3.1 Pengendalian Kualitas Bahan Baku

Bahan baku merupakan faktor yang sangat menentukan keberhasilan proses produksi dan mutu produk akhir. Oleh karena itu, WCO, hidrogen, katalis, dan adsorben harus melalui pemeriksaan awal sebelum digunakan. Pengujian bahan baku bertujuan memastikan bahwa bahan yang masuk ke unit proses memenuhi persyaratan teknis, tidak membawa kontaminan berlebih, dan tidak menyebabkan deaktivasi katalis maupun gangguan operasi.

Pada WCO, parameter pengendalian kualitas yang perlu diperiksa meliputi kadar air, kadar padatan, angka asam atau *free fatty acid* (FFA), densitas, viskositas, angka iod, angka penyabunan, warna, bau, kandungan logam, fosfor, sulfur, nitrogen, serta profil asam lemak. Pemeriksaan profil asam lemak dapat dilakukan dengan GC-FID atau GC-MS untuk mengetahui proporsi asam oleat, asam linoleat, asam palmitat, dan asam lemak lain. Kandungan air dan padatan harus dikendalikan karena dapat mempercepat deaktivasi katalis, membentuk emulsi, dan mengganggu stabilitas operasi.

Pada hidrogen, pengendalian kualitas difokuskan pada kemurnian gas dan keberadaan pengotor seperti oksigen, air, CO, CO₂, H₂S, dan hidrokarbon ringan. Gas hidrogen dengan pengotor tinggi dapat memengaruhi aktivitas katalis dan meningkatkan risiko keselamatan proses. Pada katalis NiMo dan Pt/SAPO-11, pengujian yang perlu diperhatikan meliputi bentuk fisik, ukuran partikel, kekuatan mekanik, luas permukaan, kadar logam aktif, kadar air, dan

sertifikat analisis dari pemasok. Pada zeolit 13X dan karbon aktif, pengujian difokuskan pada kadar air, ukuran partikel, luas permukaan, kapasitas adsorpsi, dan kondisi fisik adsorben.

Secara umum, parameter yang perlu diperhatikan dalam pengendalian kualitas bahan baku adalah sebagai berikut:

- a. Kemurnian bahan dan kesesuaian dengan *certificate of analysis*.
- b. Kadar air, padatan tersuspensi, dan sedimen.
- c. Komposisi asam lemak dan kadar FFA pada WCO.
- d. Kandungan pengotor seperti sulfur, nitrogen, fosfor, logam, sabun, dan senyawa polar.
- e. Kemurnian hidrogen dan keberadaan gas pengotor.
- f. Kondisi fisik, luas permukaan, ukuran partikel, dan kapasitas katalis/adsorben.

2.3.2 Pengendalian Proses Produksi

Pengendalian proses produksi bertujuan memastikan seluruh tahapan berjalan sesuai kondisi operasi yang dirancang sehingga produk akhir memiliki kualitas yang stabil. Dalam pabrik bioavtur dari WCO, proses utama meliputi *pretreatment* WCO, hidrideoksigenasi/hidrogenasi menggunakan katalis NiMo, hidroisomerisasi atau *hydrocracking* ringan menggunakan katalis Pt/SAPO-11, pemisahan fraksi melalui distilasi, serta tahap *polishing* menggunakan zeolit 13X dan karbon aktif. Setiap tahap membutuhkan pengendalian suhu, tekanan, laju alir, rasio hidrogen terhadap umpan, level cairan, dan kualitas aliran produk.

a. Pengendalian Suhu (*Temperature Control*)

Suhu merupakan variabel penting karena memengaruhi laju reaksi, konversi WCO, pembentukan *coke*, selektivitas fraksi bioavtur, serta umur katalis. Temperatur pada reaktor hidrodoksigenasi dan hidroisomerisasi dikendalikan menggunakan *temperature transmitter*, *thermocouple*/RTD, dan *control loop* berbasis PID. Kenaikan suhu berlebih harus dicegah karena dapat meningkatkan *hydrocracking* berlebihan, pembentukan gas ringan, dan deaktivasi katalis.

b. Pengendalian Tekanan (*Pressure Control*)

Tekanan proses harus dikendalikan terutama pada unit yang menggunakan hidrogen. *Pressure transmitter*, *pressure control valve*, *relief valve*, dan *rupture disc* digunakan untuk menjaga tekanan operasi tetap aman. Tekanan yang terlalu rendah dapat menurunkan efektivitas hidrogenasi, sedangkan tekanan terlalu tinggi meningkatkan risiko keselamatan peralatan.

c. Pengendalian Aliran (*Flow Control*)

Laju alir WCO, hidrogen, recycle gas, dan aliran antar unit dikendalikan menggunakan *flow meter* dan *control valve*. Rasio hidrogen terhadap umpan harus dijaga agar reaksi hidrogenasi dan hidrodoksigenasi berlangsung cukup, tetapi tidak menyebabkan pemborosan hidrogen. Ketidakstabilan laju alir dapat menurunkan selektivitas produk dan menyebabkan fluktuasi beban pada unit pemisahan.

d. Pengendalian Level (*Level Control*)

Level cairan pada tangki umpan, separator, *reboiler*, kolom distilasi, dan tangki produk harus dikendalikan menggunakan *level transmitter* dan *control valve*. Pengendalian level diperlukan untuk mencegah *flooding*, kekosongan pompa, *carry over* cairan ke sistem gas, serta gangguan neraca massa.

e. Pengendalian *Pretreatment* WCO

Pretreatment WCO mencakup penyaringan, pemisahan air, pengurangan padatan, dan pengeringan. Parameter yang dikendalikan meliputi ukuran padatan, kadar air, temperatur pemanasan, laju alir, dan tekanan filtrasi. Tahap ini penting karena air, padatan, logam, dan senyawa polar dapat mempercepat deaktivasi katalis serta menurunkan kualitas produk.

f. Pengendalian Reaksi Hidrodeoksigenasi dan Hidrogenasi

Pada R-01 dengan katalis $\text{NiMo}/\text{Al}_2\text{O}_3$, variabel yang dikendalikan meliputi suhu, tekanan hidrogen, rasio H_2/WCO , *space velocity*, distribusi aliran, serta beda tekanan sepanjang *bed* katalis. Pemantauan beda tekanan penting untuk mendeteksi plugging akibat padatan, *coke*, atau kerusakan katalis. Analisis gas keluar juga diperlukan untuk memantau pembentukan H_2O , CO , CO_2 , dan hidrokarbon ringan.

g. Pengendalian Hidroisomerisasi dan *Hydrocracking* Ringan

Pada R-02 dengan menggunakan katalis Pt/SAPO-11, pengendalian diarahkan untuk memperoleh percabangan hidrokarbon yang cukup tanpa menghasilkan *cracking* berlebihan. Parameter utama yang dikendalikan adalah suhu, tekanan, laju alir hidrogen, *space velocity*, dan komposisi hidrokarbon masuk. Tahap ini menentukan titik beku, viskositas, dan distribusi karbon bioavtur.

h. Pengendalian Fraksinasi

Fraksinasi dilakukan untuk memisahkan gas ringan, nafta, fraksi bioavtur, dan fraksi berat. Variabel yang dikendalikan meliputi temperatur kolom, tekanan kolom, *reflux ratio*, laju *boil-up*, *level reboiler*, *level reflux drum*, dan *cut point* produk. Pengendalian fraksinasi sangat menentukan apakah fraksi bioavtur berada pada rentang karbon dan rentang distilasi yang diinginkan.

i. Sistem Kontrol Terintegrasi

Seluruh parameter proses dikendalikan melalui sistem kontrol terintegrasi seperti DCS atau PLC yang terhubung dengan *Human Machine Interface* (HMI). Sistem alarm dan *interlock* dipasang untuk mendeteksi penyimpangan suhu, tekanan, level, aliran, kandungan hidrogen, dan kondisi darurat. Pada area hidrogen dan hidrokarbon ringan, detektor gas, sistem ventilasi, *flame detector*, dan *emergency shutdown system* perlu disediakan untuk mengurangi risiko kebakaran dan ledakan.

2.3.3 Pengendalian Kualitas Produk

Pengendalian kualitas produk dilakukan untuk memastikan bahwa bioavtur dan nafta yang dihasilkan memenuhi spesifikasi teknis dan aman untuk disimpan maupun digunakan lebih lanjut. Pemeriksaan produk dilakukan secara fisik dan kimia melalui pengambilan sampel pada tangki produk, outlet kolom fraksinasi, serta setelah *unit polishing*. Hasil pengujian menjadi dasar penerimaan produk, *recycle*, *blending*, atau *reprocessing*.

Pada produk bioavtur, parameter yang perlu diuji meliputi densitas, titik beku, titik nyala, viskositas, rentang distilasi, nilai kalor, kandungan sulfur, kandungan air, sedimen, angka asam, stabilitas oksidasi, stabilitas termal, smoke point, kandungan aromatik, kandungan oksigenat sisa, serta distribusi hidrokarbon C₈-C₁₆. Pengujian dapat dilakukan menggunakan metode ASTM yang relevan dan analisis kromatografi gas untuk memastikan distribusi komponen hidrokarbon. Kualitas bioavtur harus diarahkan agar memenuhi spesifikasi ASTM D7566 sebagai bahan bakar jet sintetis dan ASTM D1655 setelah proses blending (ASTM International, 2022, 2025).

Pada produk nafta, parameter yang perlu diuji meliputi densitas, rentang distilasi, tekanan uap, kandungan sulfur, kandungan air, warna, bau, gum, dan komposisi hidrokarbon ringan. Karena nafta lebih mudah menguap dibandingkan bioavtur, pengendalian titik nyala, tekanan uap, dan sistem penyimpanan menjadi penting untuk menjamin keselamatan.

Agar kualitas produk konsisten, bahan baku harus lolos pemeriksaan awal, proses produksi harus berjalan dalam batas operasi yang terkendali, serta produk akhir harus melewati pengujian laboratorium sebelum dinyatakan

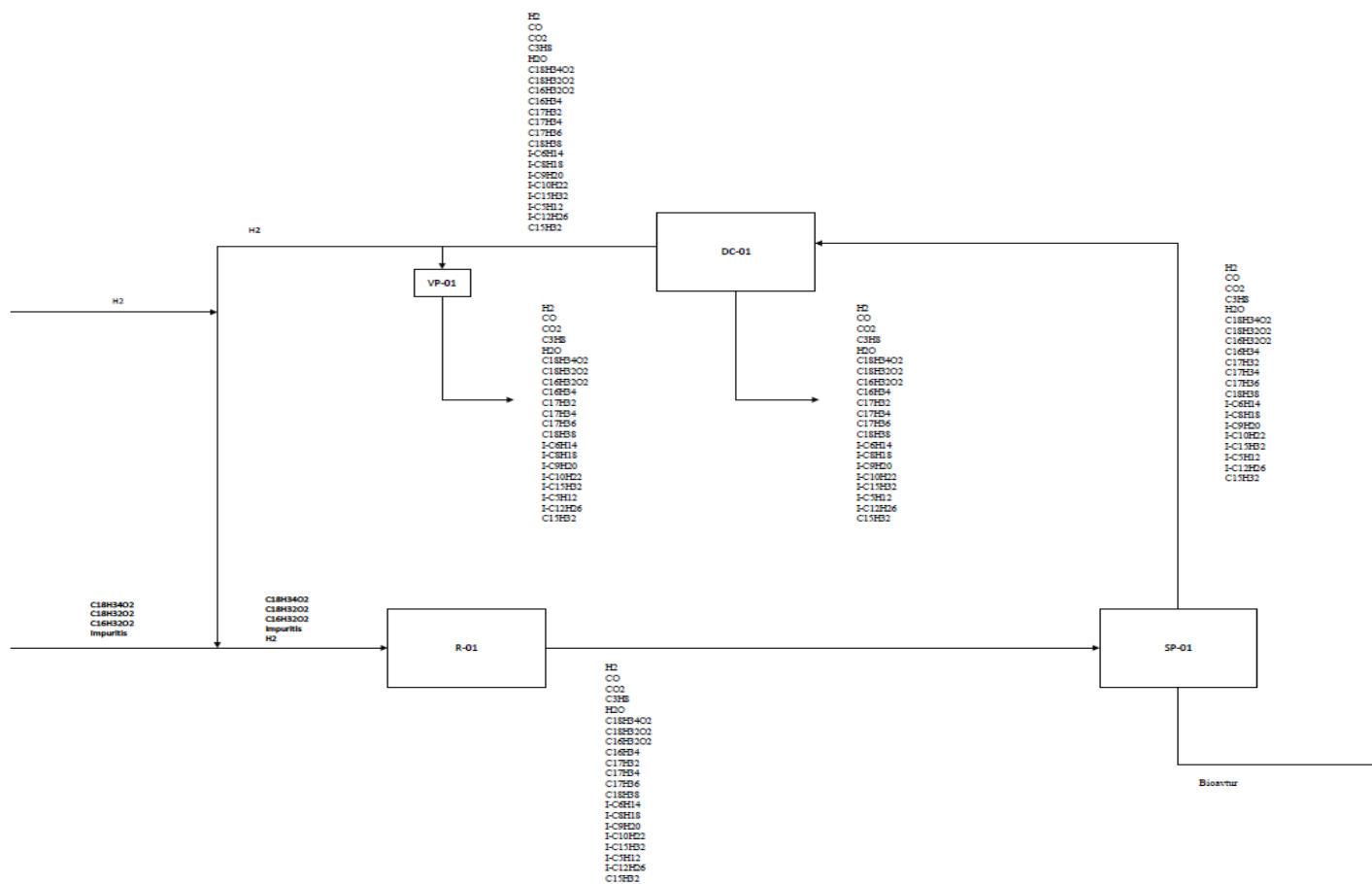
layak. Apabila produk tidak memenuhi spesifikasi, tindakan korektif dapat dilakukan melalui *blending*, recycle ke unit fraksinasi, perbaikan kondisi operasi, regenerasi adsorben, atau penggantian katalis sesuai hasil evaluasi teknis.

BAB III

PERANCANGAN PROSES

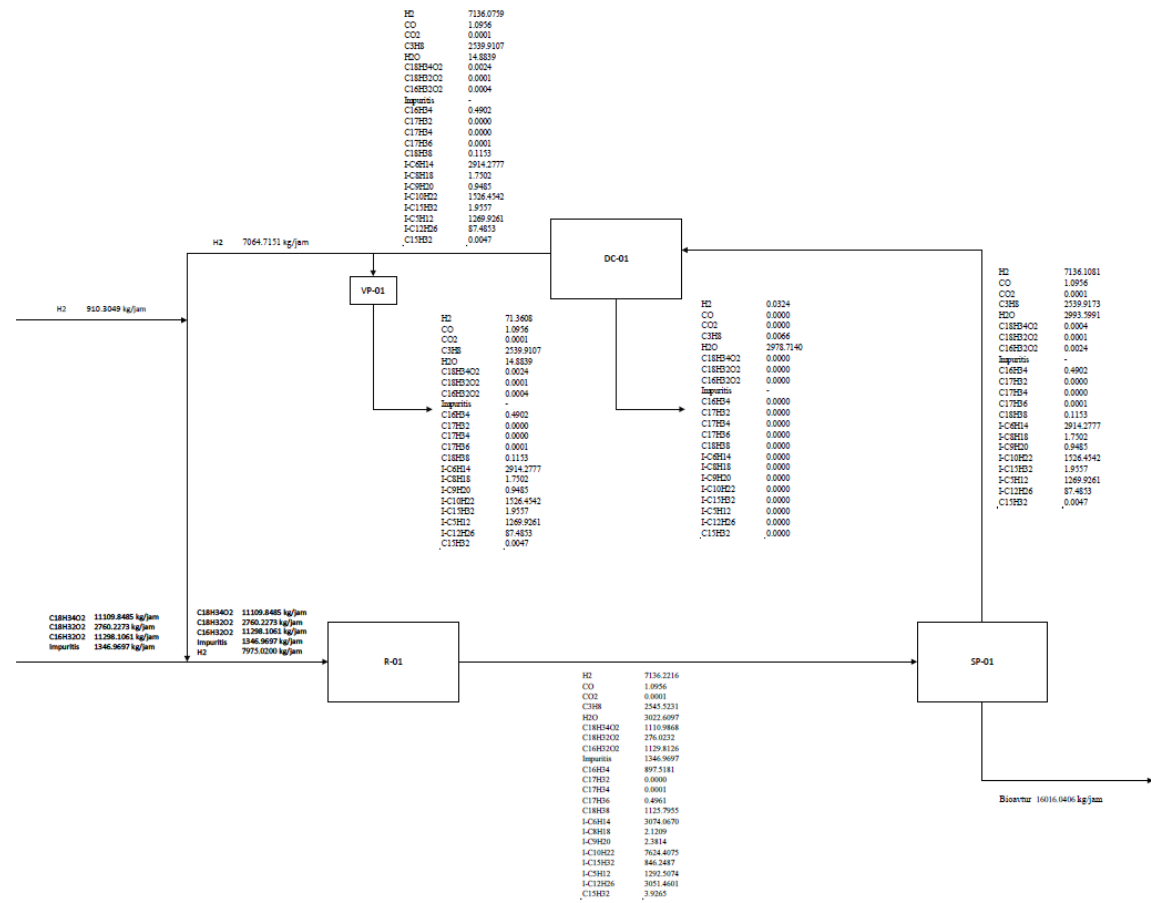
3.1 Diagram Alir Proses dan Material

3.1.1 Diagram Alir Kualitatif



Gambar 3.1 Diagram Alir Kualitatif

3.1.2 Diagram Alir Kuantitatif



Gambar 3.2 Diagram Alir Kuantitatif

3.2 Uraian Proses

Proses pembuatan bioavtur dari minyak jelantah dilakukan dengan mereaksikan minyak jelantah dan hidrogen pada kondisi operasi tertentu. Bahan baku utama yang digunakan adalah *waste cooking oil* atau WCO yang terdiri dari komponen oleat, linoleat, palmitat, serta impuritas. Selain WCO, bahan lain yang digunakan adalah gas hidrogen.

Pabrik bioavtur ini dirancang dengan kapasitas produksi sebesar 210.000 ton/tahun. Secara umum, proses pembuatan bioavtur dari minyak jelantah terdiri dari dua tahap reaksi utama. Tahap pertama berlangsung pada Reaktor (R-01), yaitu proses penghilangan oksigen dari komponen WCO dengan bantuan hidrogen. Pada tahap ini terjadi reaksi *hydrodeoxygenation*, *decarboxylation*, dan *decarbonylation* menggunakan katalis NiMo/Al₂O₃. Tahap kedua berlangsung pada Reaktor (R-02). Pada reaktor ini terjadi reaksi *hydrocracking* terhadap hidrokarbon hasil proses sebelumnya. Reaksi ini memecah hidrokarbon rantai panjang menjadi hidrokarbon dengan rantai yang lebih pendek. Penggunaan katalis Pt/SAPO-11 menyebabkan sebagian produk hidrokarbon yang awalnya berupa *n-paraffin* berubah menjadi *iso-paraffin*. Pembentukan *iso-paraffin* ini diperlukan agar produk lebih sesuai sebagai komponen bioavtur.

Secara keseluruhan, proses pembuatan bioavtur dari minyak jelantah dapat dibagi menjadi tiga tahap utama, yaitu:

- a. Tahap Persiapan Bahan Baku
- b. Tahap Pembentukan Produk
- c. Tahap Pemurnian Produk

3.2.1 Tahap Persiapan Bahan Baku

Tahap persiapan bahan baku diawali dengan penyimpanan waste cooking oil (WCO) di dalam Tangki Penyimpanan WCO (T-01) pada suhu 30°C dan tekanan 1 atm. WCO tersebut merupakan bahan baku utama yang mengandung senyawa trigliserida dan asam lemak, serta impuritas yang terbawa dari proses penggunaan minyak sebelumnya.

Dari T-01, WCO dialirkan menuju Pompa (P-01) untuk menaikkan tekanan dari 1 atm menjadi 30 atm. Kenaikan tekanan ini dilakukan agar kondisi tekanan aliran WCO sesuai dengan kebutuhan operasi reaktor. Setelah keluar dari P-01, aliran WCO dialirkan menuju Heat Exchanger (H-01) dan Heat Exchanger (H-02). Kedua alat tersebut berfungsi sebagai pemanas awal untuk menaikkan suhu WCO sebelum masuk ke tahap pemanasan utama. Pemanasan awal ini dilakukan agar beban pemanasan pada furnace dapat berkurang dan kondisi umpan lebih mendekati kondisi operasi reaktor.

Sementara itu, hidrogen disimpan di dalam Tangki Hidrogen (T-02) pada suhu 30°C dan tekanan 20 atm. Hidrogen dari T-02 dialirkan menuju Kompresor (C-01) untuk menaikkan tekanannya dari 20 atm menjadi 30 atm. Setelah tekanannya sesuai, hidrogen segar dialirkan menuju mixing point untuk dicampurkan dengan aliran hidrogen recycle yang berasal dari tahap pemisahan gas. Pencampuran hidrogen segar dan hidrogen recycle dilakukan untuk memenuhi kebutuhan hidrogen pada reaksi di dalam reaktor.

Aliran hidrogen hasil pencampuran kemudian dipanaskan melalui Heat Exchanger (H-03). Setelah melalui H-03, aliran hidrogen bersama aliran WCO

yang telah dipanaskan dialirkan menuju Furnace (FH-01). Kedua aliran tersebut masuk ke FH-01 melalui jalur yang berbeda. Pada FH-01, suhu umpan dinaikkan hingga mencapai suhu operasi reaktor. Pemanasan pada furnace juga menyebabkan umpan berada dalam fase uap sehingga lebih sesuai untuk berlangsungnya reaksi di dalam reaktor.

Setelah keluar dari FH-01, aliran WCO dan hidrogen dicampurkan pada Mixing Point (MP-02). Akibat adanya pressure drop pada peralatan sebelumnya, tekanan campuran umpan dapat mengalami penurunan hingga sekitar 29 atm. Oleh karena itu, campuran umpan kemudian dialirkan menuju Kompresor (C-02) untuk menaikkan kembali tekanannya menjadi 30 atm. Setelah suhu dan tekanan campuran umpan sesuai dengan kondisi operasi, aliran tersebut dialirkan menuju Reaktor (R-01).

3.2.2 Tahap Pembentukan Produk

Tahap pembentukan produk berlangsung di dalam Reaktor (R-01). Pada reaktor ini, WCO direaksikan dengan hidrogen pada suhu dan tekanan operasi yang telah ditentukan. Proses yang terjadi di dalam reaktor meliputi reaksi hydrotreating, hydrodeoxygenation, hydrocracking, dan hydroisomerization. Reaksi-reaksi tersebut berlangsung dengan bantuan katalis berbasis logam dan asam, sehingga senyawa pada WCO dapat dikonversi menjadi hidrokarbon yang berada pada rentang fraksi bahan bakar.

Reaksi hydrotreating berfungsi untuk memperbaiki kualitas umpan dengan bantuan hidrogen, terutama melalui penjumlahan ikatan rangkap dan pengurangan senyawa pengotor. Reaksi hydrodeoxygenation berperan dalam menghilangkan

oksigen dari senyawa WCO dengan bantuan hidrogen, sehingga oksigen yang terkandung di dalam umpan dapat berubah menjadi air. Selain itu, oksigen juga dapat terlepas melalui reaksi decarboxylation dalam bentuk karbon dioksida (CO_2) dan melalui reaksi decarbonylation dalam bentuk karbon monoksida (CO).

Selain penghilangan oksigen, di dalam R-01 juga terjadi reaksi hydrocracking. Reaksi ini berfungsi untuk memecah hidrokarbon rantai panjang menjadi hidrokarbon rantai lebih pendek. Pemecahan rantai karbon tersebut penting karena produk yang diharapkan berada pada rentang fraksi bahan bakar yang lebih ringan, khususnya fraksi bioavtur. Di samping itu, reaksi hydroisomerization juga dapat terjadi secara bersamaan. Reaksi ini menyebabkan sebagian hidrokarbon rantai lurus berubah menjadi hidrokarbon bercabang atau iso-paraffin. Pembentukan iso-paraffin diperlukan karena bioavtur tidak hanya membutuhkan rentang jumlah atom karbon yang sesuai, tetapi juga struktur hidrokarbon yang mendukung sifat alir, kestabilan, dan kualitas bahan bakar.

Produk keluaran dari R-01 masih berada pada suhu tinggi dan tekanan sekitar 29 atm akibat adanya penurunan tekanan selama proses. Produk tersebut kemudian dialirkan menuju Expansion Valve (EV-01) untuk menurunkan tekanan dari sekitar 29 atm menjadi 1 atm. Penurunan tekanan ini dilakukan agar kondisi produk sesuai dengan kebutuhan operasi pada tahap pemisahan berikutnya.

Setelah melewati EV-01, produk reaktor didinginkan secara bertahap menggunakan tiga cooler, yaitu Cooler (CL-01), Cooler (CL-02), dan Cooler (CL-03). Pendinginan bertahap dilakukan agar suhu produk dapat diturunkan secara lebih terkontrol hingga mencapai kondisi operasi separator, yaitu sekitar 35°C pada

tekanan 1 atm. Pada kondisi tersebut, komponen gas dan komponen cair dalam produk dapat dipisahkan dengan lebih baik di dalam Separator (SP-01).

3.2.3 Tahap Pemurnian Produk

Produk hasil reaksi yang telah didinginkan kemudian masuk ke Separator (SP-01) pada suhu sekitar 35°C dan tekanan 1 atm. Di dalam SP-01, produk dipisahkan menjadi dua aliran utama, yaitu aliran atas berupa fase gas dan aliran bawah berupa fase cair. Pemisahan ini dilakukan berdasarkan perbedaan fase antara komponen ringan, hidrogen yang tidak bereaksi, gas hasil samping, serta komponen hidrokarbon cair.

Aliran atas SP-01 berupa fase gas yang mengandung hidrogen yang tidak bereaksi, gas ringan, serta kemungkinan uap air yang masih terbawa. Aliran gas ini kemudian dialirkan menggunakan Blower (B-01). Blower digunakan untuk membantu mengalirkan gas menuju peralatan berikutnya karena tekanan operasi sistem pada bagian ini relatif rendah. Setelah itu, aliran gas masuk ke *Decanter* (DC-01). Pada DC-01, air yang terkondensasi dipisahkan dari aliran gas. Air hasil pemisahan dialirkan menuju Unit Pengolahan Limbah (UPL), sedangkan aliran gas dari bagian atas KOD-01 dialirkan menuju Purging Valve (PV-01).

Pada PV-01, aliran gas dibagi menjadi dua jalur, yaitu aliran purge dan aliran recycle. Aliran purge dialirkan menuju flare atau Unit Pengolahan Limbah untuk membuang gas-gas yang tidak digunakan kembali dalam proses. Pembuangan sebagian aliran gas ini diperlukan untuk mencegah akumulasi komponen ringan, CO, CO₂, dan impuritas lain di dalam sistem recycle. Sementara itu, aliran yang masih mengandung hidrogen dengan kemurnian tinggi dialirkan

kembali sebagai hidrogen recycle. Aliran hidrogen recycle tersebut kemudian dikembalikan menuju Mixing Point (MP-01) untuk dicampurkan dengan hidrogen segar dari T-02. Dengan adanya aliran recycle, kebutuhan hidrogen segar dapat dikurangi sehingga proses menjadi lebih efisien.

Aliran bawah SP-01 berupa fase cair yang mengandung produk utama berupa bioavtur. Aliran cair ini keluar dari separator pada suhu sekitar 35°C dan tekanan 1 atm. Selanjutnya, aliran tersebut dialirkan menggunakan Pompa (P-02). Pompa ini berfungsi sebagai pompa transfer untuk mengalirkan produk cair dari separator menuju tangki penyimpanan. Setelah melewati P-02, produk cair dialirkan menuju Tangki Penyimpanan Bioavtur (T-03).

Dengan demikian, proses ini menghasilkan bioavtur sebagai produk utama. Hidrogen yang masih dapat digunakan dikembalikan ke proses sebagai aliran recycle, sedangkan air, gas yang tidak digunakan, dan komponen ringan lainnya dialirkan menuju flare atau Unit Pengolahan Limbah. Proses revisi ini lebih sederhana dibandingkan rancangan sebelumnya karena tahap reaksi dilakukan dalam satu reaktor dan tahap pemisahan produk dilakukan menggunakan satu separator utama.

3.3 Spesifikasi Alat

3.3.1 Spesifikasi Reaktor, *Furnace*, *Purging*

1. Reaktor-01 (*Hydrotreating*)

Tabel 3.1 Spesifikasi Reaktor-01

Spesifikasi Umum	
Kode	R-01

Fungsi	Mereaksikan Minyak Jelantah menjadi senyawa hidrokarbon parafinik dengan gas hidrogen H ₂ menggunakan katalis NiMo/Al ₂ O ₃
Jenis	<i>Fixed Bed Multitube Reactor</i>
Mode Operasi	Kontinyu
Jumlah	1
Harga	\$415.980,00
Kondisi Operasi	
Suhu, °C	405
Tekanan, atm	30
Kondisi Proses	Eksotermis
Konstruksi dan Material	
Bahan Konstruksi	<i>Stainless Steel tipe SA 316 Grade C</i>
Diameter (ID) shell, m	0,99
Tebal shell, in	0,00405
Tinggi total, m	7,34
Jenis head	<i>Elliptical Flanged and Dished Head</i>
Spesifikasi khusus	
Jenis katalis	NiMo/Al ₂ O ₃
Bentuk katalis	Silinder
Ukuran katalis, mm	1,6
Tinggi tumpukan, m	7
Porositas	0,55
WHSV, /jam	21,76
Pressure drop di sepanjang tumpukan katalis, atm	2,51
Dimensi Tube	
Bahan konstruksi	<i>Stainless SA 285 Grade C</i>
Diameter, (ID) in	0,74
Panjang, m	7
Jumlah	800
Tipe	<i>Triangular Pitch</i>
Ukuran pitch, in	1,3125
Jenis coolant	Dowtherm A
Kebutuhan coolant, kg/jam	8146,60

2. Reaktor-02 (*Hydrocracking/Isomerisasi*)

Tabel 3.2 Spesifikasi Reaktor-02

Spesifikasi Umum	
Kode	R-02
Fungsi	Memecah hidrokarbon rantai panjang output R-01 menjadi fraksi yang lebih ringan dalam rentang avtur, sedangkan proses isomerisasi mengubah n-parafin menjadi iso-parafin dengan bantuan katalis Pt/SAPO-11
Jenis	<i>Fixed Bed Multitube Reactor</i>
Mode Operasi	Kontinyu
Jumlah	1
Harga	\$795.000,00
Kondisi Operasi	
Suhu, °C	405
Tekanan, atm	30
Kondisi Proses	Eksotermis
Konstruksi dan Material	
Bahan Konstruksi	<i>Stainless Steel tipe SA 316 Grade C</i>
Diameter (ID) shell, m	1,7
Tebal shell, in	0,00635
Tinggi total, m	6,305
Jenis head	<i>Elliptical Flanged and Dished Head</i>
Spesifikasi khusus	
Jenis katalis	Pt/SAPO - 11
Bentuk katalis	Silinder
Ukuran katalis, mm	1,5
Tinggi tumpukan, m	6
Porositas	0,4
WHSV, /jam	7,1948
Pressure drop di sepanjang tumpukan katalis, atm	0,54
Dimensi Tube	
Bahan konstruksi	<i>Stainless SA 285 Grade C</i>
Diameter, (ID) in	1,94
Panjang, m	6
Jumlah	460
Tipe	<i>Triangular Pitch</i>
Ukuran <i>pitch</i> , in	2,975
Jenis <i>coolant</i>	Dowtherm A
Kebutuhan <i>coolant</i> , kg/jam	4180,60

3. Furnace (FH-01)

Tabel 3.3 Spesifikasi Furnace-01

Kode	FH-01	
Fungsi	Memanaskan komponen WCO dan H ₂ dari 250 °C dan 130 °C menuju 405 °C sebelum masuk ke dalam R-01	
Jumlah	1	
Tipe	Fire Box Furnace	
Bahan Kontruksi	Sainles Steel 304	
Harga	\$690.700,00	
Kondisi Operasi		
Tekanan	30	atm
Suhu Masuk	260	°C
Suhu Keluar	400	°C
Dimensi Furnace		
Panjang	4,876	m
Lebar	0,177	m
Tinggi	3,556	m
Volume	3,083	m ³
Dimensi Stack		
ID	0,579	m
Tinggi	4,291	m
Isolasi		
Bahan Isolasi	Kaolin Insulating Brick	
Tebal Isolasi	0,122	in

4. *Purging Valve* (VP-01)Tabel 3.4 Spesifikasi *Purging Valve*-01

Kode	VP-01	
Fungsi	Membuang gas pengotor ke sistem <i>flare</i>	
Jumlah	1	
Tipe	<i>Globe control valve</i>	
Bahan Kontruksi	<i>Commercial Steel</i>	

Harga	\$52.000,00	
Kondisi Operasi		
Tekanan	1	atm
Suhu	35	°C
Spesifikasi <i>Purging Valve</i>		
Massa Purge	2,3419	kg/s
Densitas Purge	2,1298	kg/m³
Luas bukaan ekuivalen	0,0259	m²
Diameter bukaan ekuivalen	181,5323	mm

3.3.2 Spesifikasi Alat Pemisah dan Alat Pendukung

1. Separator (SP-01)

Tabel 3.5 Spesifikasi Separator-01

Kode	SP-01	
Fungsi	Memisahkan fase gas dan fase liquid fraksi bioavtur dari <i>output</i> reaktor (R-01)	
Jenis	<i>Two-Phase Gas-Liquid Separator</i>	
Jumlah	1 alat	
Material	<i>Stainless Steel</i> tipe 316	
Harga	\$231.300,00	
Kondisi Operasi		
Tekanan	1	atm
Suhu	35	°C
<i>Shell</i>		
Diameter Luar	4,5	in
Tebal	0,625	in
Tinggi	4,2058	m
<i>Head</i>		
Tebal	1	in
Tinggi	0,1493	m

2. *Decanter* (DC-01)

Tabel 3.6 Spesifikasi *Decanter-01*

Kode	DC-01	
Fungsi	Memisahkan air (H ₂ O) dengan fraksi gas hidrokarbon hasil keluaran atas separator (SP-01)	
Jenis	Horizontal Cylinder Vessel	
Jumlah	1 alat	
Material	<i>Stainless Steel</i> tipe 316	
Harga	\$191.800,00	
Kondisi Operasi		
Tekanan	1	atm
Suhu	35	°C
<i>Shell</i>		
Diameter	1,4060	m
Tebal	0,25	in
Panjang	4,2516	m
<i>Head</i>		
Jenis	<i>Torispherical Dished Head</i>	
Tebal	0,25	in
Tinggi	0,28609	m

3.3.3 Spesifikasi Alat Penyimpanan Bahan Baku dan Produk

1. Tangki Penyimpanan WCO (*Waste Cooking Oil*)

Tabel 3.7 Spesifikasi Tangki Penyimpanan *Waste Cooking Oil-01*

Nama Alat	Tangki-01
Kode	T-01
Fungsi	Menyimpan kebutuhan WCO
Waktu Penyimpanan	14 hari
Fase	Liquid
Jenis	Tangki silinder tegak dengan dasar datar (<i>flat bottom</i>) dan atap (<i>head</i>) berbentuk <i>Thorispherical</i>
Material Konstruksi	<i>Carbon Steel SA-283 grade C</i>
Tipe Atap Tangki	<i>Torispherical</i>
Tekanan, atm	1
Suhu, °C	30
Kapasitas Tangki, kg	8909090,909
Volume Tangki, m ³	2614,07334
Volume <i>Head</i> , m ³	840,5374298
Volume Total, m ³	3.455

Diameter Standar Tangki, m	21,3
Tinggi Standar Tangki, m	7,3
Course Plate	4
Tebal <i>Shell</i> , in	2,75
Tebal <i>Bottom</i> , in	2,75
Tebal <i>Head</i> , in	2,25
Tinggi <i>Head</i> , in	146
Tinggi Total Tangki, in	434
Diameter Pipa Pengisian, in	21
Diameter Pipa Pengeluaran, in	5,761
Jumlah	6
Harga	\$2.225.301,00

2. Tangki Penyimpanan H₂

Tabel 3.8 Spesifikasi Tangki Penyimpanan Hidrogen-02

Nama Alat	Tangki-02
Kode	T-02
Fungsi	Menyimpan kebutuhan H ₂
Waktu Penyimpanan	14 hari
Fase	Gas
Jenis	Tangki Bola (<i>Spherical Tank</i>)
Material Konstruksi	<i>Carbon Steel SA-283 grade C</i>
Tekanan, atm	20
Suhu, °C	30
Diameter, m	41,759
Tinggi Tangki, m	27,839
Tebal <i>shell</i> , in	9,674
Volume, m ³	38109,83044
Jumlah	6
Harga	\$16.775.345,00

3. Tangki Penyimpanan Bioavtur

Tabel 3.9 Spesifikasi Tangki Penyimpanan Bioavtur

Nama Alat	Tangki-03
Kode	T-03
Fungsi	Menyimpan Produk Bioavtur
Waktu Penyimpanan	14 hari
Fase	Liquid

Jenis	Tangki silinder tegak dengan dasar datar (<i>flat bottom</i>) dan atap (<i>head</i>) berbentuk <i>Thorispherical</i>
Material Konstruksi	<i>Carbon Steel SA-283 grade C</i>
Tipe Atap Tangki	<i>Torispherical</i>
Tekanan, atm	1
Suhu, °C	35
Kapasitas Tangki, kg	2823181,613
Volume Tangki, m ³	6481,834914
Volume <i>Head</i> , m ³	1777,874501
Volume Total, m ³	8.260
Diameter Standar Tangki, m	27,4
Tinggi Standar Tangki, m	11
Course Plate	6
Tebal <i>Shell</i> , in	1,5
Tebal <i>Bottom</i> , in	1,5
Tebal <i>Head</i> , in	1,25
Tinggi <i>Head</i> , in	186
Tinggi Total Tangki, in	618
Diameter Pipa Pengisian, in	31
Diameter Pipa Pengeluaran, in	2,9
Jumlah	1
Harga	\$2.454.763,00

4. Tangki Penampung Sementara

Tabel 3.10 Spesifikasi Tangki Penampung Sementara

Nama Alat	Tangki-04
Kode	T-04
Fungsi	Penyimpanan sementara produk bioavtur jika belum sesuai spek yang mana akan di <i>recycle</i> kembali
Waktu Penyimpanan	14 hari
Fase	Liquid
Jenis	Tangki silinder tegak dengan dasar datar (<i>flat bottom</i>) dan atap (<i>head</i>) berbentuk <i>Thorispherical</i>
Material Konstruksi	<i>Carbon Steel SA-283 grade C</i>
Tipe Atap Tangki	<i>Torispherical</i>
Tekanan, atm	1
Suhu, °C	35

Kapasitas Tangki, kg	2823181,613
Volume Tangki, m ³	6481,834914
Volume <i>Head</i> , m ³	1777,874501
Volume Total, m ³	8.260
Diameter Standar Tangki, m	27,4
Tinggi Standar Tangki, m	11
Course Plate	6
Tebal <i>Shell</i> , in	1,5
Tebal <i>Bottom</i> , in	1,5
Tebal <i>Head</i> , in	1,25
Tinggi <i>Head</i> , in	186
Tinggi Total Tangki, in	618
Diameter Pipa Pengisian, in	31
Diameter Pipa Pengeluaran, in	2,9
Jumlah	1
Harga	\$2.454.763,00

3.3.4 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan

1. Kompresor (C-01)

Tabel 3.11 Spesifikasi Kompresor-01

Kode	C-01
Fungsi	Untuk menaikkan tekanan gas H ₂ dari 20 atm menjadi 30 atm
Jenis	<i>Centrifugal Compressor</i>
Kondisi Operasi	
Suhu, °C	30
Tekanan, atm	30
Spesifikasi Kompresor	
Jumlah stage	2
Rc per stage	1,5
Daya, kW	195,1276
Daya, Hp	261,6704
Daya Motor, Hp	300
Jumlah	1
Harga	\$154.126,00

2. Kompresor (C-02)

Tabel 3.12 Spesifikasi Kompresor-02

Kode	C-02
Fungsi	Untuk mengalirkan fluida output MP-02 menuju reaktor (R-01)
Jenis	<i>Centrifugal Compressor</i>
Kondisi Operasi	
Suhu, °C	405
Tekanan, atm	30
Spesifikasi Kompresor	
Jumlah stage	1
Rc per stage	1
Daya, kW	138,1468
Daya, Hp	185,2578
Daya Motor, Hp	215
Jumlah	1
Harga	\$121.738,00

3. Kompresor (C-03)

Tabel 3.13 Spesifikasi Kompresor-03

Kode	C-03
Fungsi	Untuk menaikkan tekanan gas H2 <i>recycle</i> dari 10 atm menjadi 30 atm
Jenis	<i>Centrifugal Compressor</i>
Kondisi Operasi	
Suhu, °C	35
Tekanan, atm	30
Spesifikasi Kompresor	
Jumlah stage	2
Rc per stage	1,03
Daya, kW	177,12
Daya, Hp	237,52
Daya Motor, Hp	300
Jumlah	1
Harga	\$49.452,00

4. *Pump* (P-01)

Tabel 3.14 Spesifikasi *Pump-01*

Kode	P-01
Fungsi	Mengalirkan dan menaikkan tekanan campuran palmitic, oleic, dan linoleic acid menuju tekanan operasi 30 atm
Jenis	<i>Multi-Stage Centrifugal Pump</i>
Impeller	<i>Radial Flow Impellers</i>
Material bahan	<i>Stainless Steel 316</i>
Jumlah	1
Harga	\$52.000,00
Spesifikasi Pompa	
Kapasitas, m ³ /jam	33,3754
NPS, in	4
Sch. Number	40
ID, in	4,026
OD, in	4,5
Flow Number Area, in ²	12,7302
Dimensi Daya	
<i>Friction head, m</i>	2,7462
Efisiensi pompa	0,5722
Jumlah stage	7
Head per stage, m	52,9290
Daya pompa, Hp	65,3970
Daya motor, Hp	75
Kecepatan putar, rpm	3500

5. *Pump (P-02)*Tabel 3.24 Spesifikasi *Pump-02*

Kode	P-02
Fungsi	Mengalirkan produk Bioavtur dari (SP-01) menuju Tangki Bioavtur (T-03)
Jenis	<i>Single-Stage Centrifugal Pump</i>
Material bahan	<i>Stainless Steel 316</i>
Jumlah	1
Harga	\$4.600,00
Spesifikasi Pompa	
Kapasitas, m ³ /jam	29,05
NPS, in	3

Sch. Number	80
ID, in	2,9
OD, in	3,5
Flow Number Area, in ²	6,61
Dimensi Daya	
Daya pompa, Hp	0,5460
Daya motor, Hp	0,75
Kecepatan putar, rpm S	3500

6. *Pump* (P-03)

Tabel 3.25 Spesifikasi *Pump-03*

Kode	P-03
Fungsi	Mengalirkan produk Bioavtur dari (T-03) menuju Tangki Penyimpan Sementara Produk Bioavtur (T-04)
Jenis	<i>Single-Stage Centrifugal Pump</i>
Material bahan	<i>Stainless Steel 316</i>
Jumlah	1
Harga	\$4.600,00
Spesifikasi Pompa	
Kapasitas, m ³ /jam	20,05
NPS, in	3
Sch. Number	80
ID, in	2,9
OD, in	3,5
Flow Number Area, in ²	6,61
Dimensi Daya	
Daya pompa, Hp	0,5440
Daya motor, Hp	0,75
Kecepatan putar, rpm	3500

7. *Pump* (P-04)

Tabel 3.15 Spesifikasi *Pump-04*

Kode	P-04
------	------

Fungsi	Mengalirkan produk Bioavtur dari (T-04) menuju Aliran Proses dari Output Tangki WCO (T-01)
Jenis	<i>Single-Stage Centrifugal Pump</i>
Material bahan	<i>Stainless Steel 316</i>
Jumlah	1
Harga	\$4.600,00
Spesifikasi Pompa	
Kapasitas, m ³ /jam	20,05
NPS, in	3
Sch. Number	80
ID, in	2,9
OD, in	3,5
Flow Number Area, in ²	6,61
Dimensi Daya	
Daya pompa, Hp	0,5450
Daya motor, Hp	0,75
Kecepatan putar, rpm	3500

8. *Expansion Valve* (EV-01)

Tabel 3.16 Spesifikasi *Expansion Valve*-01

Kode	EV-01
Fungsi	Mengalirkan dan menurunkan tekanan keluaran (H-04) menuju (CL-01) dari 30 atm menjadi 20 atm
Jenis	<i>Golbe Valve Open</i>
Material Bahan	<i>Commercial Steel</i>
Kondisi Operasi	
Suhu, °C	416
Tekanan, atm	29
Spesifikasi <i>Expansion Valve</i>	
Kapasitas, kg/jam	34490,172
ID, in	12,09
OD, in	12,75
<i>Flow Rate Per Pipe, in³</i>	115
<i>Equivalent Length, ft</i>	170
Jumlah	1
Harga	\$52.000,00

3.3.5 Spesifikasi Alat Penukar Panas

1. Heater-01

Kode : H-01

Fungsi : Menaikkan suhu keluaran (P-01) menuju (H-02)

Jenis : *Shell and Tube*

Tabel 3.17 *Operation Condition Heater-01*

<i>Operation Condition</i>				
<i>Position</i>	<i>Shell</i>		<i>Tube</i>	
<i>Fluid</i>	<i>Steam</i>		<i>WCO</i>	
<i>Fluid type</i>	<i>Hot</i>		<i>Cold</i>	
	<i>In</i>	<i>Out</i>	<i>In</i>	<i>Out</i>
<i>Liquid Flowrate, lb/hr</i>			58455,9	58455,9
<i>Vapor Flowrate, lb/hr</i>	11023,1	11023,1		
<i>Temperature, °C</i>	250	249,5	31	130
<i>Pressure, atm</i>	39,2	39,2	30	29

Tabel 3.18 *Mechanical Design Heater-01*

<i>Mechanical Design</i>			
<i>Shell</i>		<i>Tube</i>	
<i>Length, ft</i>	20	<i>Length, ft</i>	20
<i>Passes</i>	2	<i>Passes</i>	1
<i>ID, in</i>	28,5	<i>OD, in</i>	0,75
<i>Baffle Space, in</i>	14,27	<i>Number</i>	217
		<i>A, ft²</i>	220,7096
		<i>BWG</i>	16
		<i>Pitch, in</i>	0,9375
$\Delta P_{cal} / \Delta P_{allow}$, psi	0,260 / <10	$\Delta P_{cal} / \Delta P_{allow}$, psi	0,353 / <10
Rd_{cal} / Rd_{min} hr.ft².F/Btu	0,0118 / 0,0060	Rd_{cal} / Rd_{min} hr.ft².F/Btu	0,0118 / 0,0060

2. Heater-02

Kode : H-02

Fungsi : Menaikkan suhu keluaran (H-01) menuju (FH-01)

Jenis : *Shell and Tube*

Tabel 3.19 *Operation Condition Heater-02*

<i>Operation Condition</i>				
<i>Position</i>	<i>Shell</i>		<i>Tube</i>	
<i>Fluid</i>	<i>Dowtherm A</i>		<i>WCO</i>	
<i>Fluid type</i>	<i>Hot</i>		<i>Cold</i>	
	<i>In</i>	<i>Out</i>	<i>In</i>	<i>Out</i>
<i>Liquid Flowrate, lb/hr</i>			55486,3	55486,3
<i>Vapor Flowrate, lb/hr</i>	44092,5	44092,5		
<i>Temperature, °C</i>	300	254	130	250
<i>Pressure, atm</i>	1	1	29,97	29,94

Tabel 3.20 *Mechanical Design Heater-02*

<i>Mechanical Design</i>			
<i>Shell</i>		<i>Tube</i>	
<i>Length, ft</i>	20	<i>Length, ft</i>	20
<i>Passes</i>	2	<i>Passes</i>	1
<i>ID, in</i>	28,5	<i>OD, in</i>	0,75
<i>Baffle Space, in</i>	14,27	<i>Number</i>	130
		<i>A, ft²</i>	454,391
		<i>BWG</i>	16
		<i>Pitch, in</i>	0,9375
$\Delta P_{cal} / \Delta P_{allow}, \text{psi}$	0,369 / <10	$\Delta P_{cal} / \Delta P_{allow}, \text{psi}$	0,476 / <10
Rd_{cal} / Rd_{min} hr.ft².F/Btu	0,0067 / 0,0060	Rd_{cal} / Rd_{min} hr.ft².F/Btu	0,0067 / 0,0060

3. Heater-03

Kode : H-03

Fungsi : Menaikkan suhu *out Mixing Point* (MP-01) menuju (FH-01)

Jenis : *Shell and Tube*

Tabel 3.21 *Operation Condition Heater-03*

<i>Operation Condition</i>				
<i>Position</i>	<i>Shell</i>		<i>Tube</i>	
<i>Fluid</i>	<i>Dowtherm A</i>		<i>H₂</i>	
<i>Fluid type</i>	<i>Hot</i>		<i>Cold</i>	
	<i>In</i>	<i>Out</i>	<i>In</i>	<i>Out</i>
<i>Liquid Flowrate, lb/hr</i>				
<i>Vapor Flowrate, lb/hr</i>	77161,8	77161,8	17581,89	17581,89
<i>Temperature, °C</i>	300	257	197	250
<i>Pressure, atm</i>	1	1	30	29,96

Tabel 3.22 *Mechanical Design Heater-03*

<i>Mechanical Design</i>			
<i>Shell</i>		<i>Tube</i>	
<i>Length, ft</i>	20	<i>Length, ft</i>	20
<i>Passes</i>	2	<i>Passes</i>	1
<i>ID, in</i>	28,5	<i>OD, in</i>	0,75
<i>Baffle Space, in</i>	14,27	<i>Number</i>	130
		<i>A, ft²</i>	514,690
		<i>BWG</i>	16
		<i>Pitch, in</i>	0,9375
$\Delta P_{cal} / \Delta P_{allow}$, psi	0,369 / <10	$\Delta P_{cal} / \Delta P_{allow}$, psi	0,476 / <10
Rd_{cal} / Rd_{min} hr.ft ² .F/Btu	0,0067 / 0,0060	Rd_{cal} / Rd_{min} hr.ft ² .F/Btu	0,0067 / 0,0060

4. Cooler-01

Kode : CL-01

Fungsi : Menurunkan suhu keluaran (EV-01) menuju (CL-02)

Jenis : *Shell and Tube*

Tabel 3.23 Operation Condition Cooler-01

<i>Operation Condition</i>				
<i>Position</i>	<i>Shell</i>		<i>Tube</i>	
<i>Fluid</i>	<i>Effluent R-01</i>		<i>Cooling Water</i>	
<i>Fluid type</i>	<i>Hot</i>		<i>Cold</i>	
	<i>In</i>	<i>Out</i>	<i>In</i>	<i>Out</i>
<i>Liquid Flowrate, lb/hr</i>			110231	110231
<i>Vapor Flowrate, lb/hr</i>	73068,3	73068,3		
<i>Temperature, °C</i>	412,69	280	25	90
<i>Pressure, atm</i>	1	1	1	1

Tabel 3.24 Mechanical Design Cooler-01

<i>Mechanical Design</i>			
<i>Shell</i>		<i>Tube</i>	
<i>Length, ft</i>	20	<i>Length, ft</i>	20
<i>Passes</i>	2	<i>Passes</i>	1
<i>ID, in</i>	28,5	<i>OD, in</i>	0,75
<i>Baffle Space, in</i>	14,27	<i>Number</i>	54
		<i>A, ft²</i>	309,878
		<i>BWG</i>	16
		<i>Pitch, in</i>	0,9375
$\Delta P_{cal} / \Delta P_{allow}, \text{psi}$	0,450 / <10	$\Delta P_{cal} / \Delta P_{allow}, \text{psi}$	0,476 / <10
Rd_{cal} / Rd_{min} <i>hr.ft².F/Btu</i>	0,0025 / 0,0004	Rd_{cal} / Rd_{min} <i>hr.ft².F/Btu</i>	0,0025 / 0,0004

5. Cooler-02

Kode : CL-02

Fungsi : Menurunkan suhu keluaran (CL-01) menuju (CL-03)

Jenis : *Shell and Tube*

Tabel 3.25 Operation Condition Cooler-02

<i>Operation Condition</i>

<i>Position</i>	<i>Shell</i>		<i>Tube</i>	
<i>Fluid</i>	<i>Effluent R-01</i>		<i>Cooling Water</i>	
<i>Fluid type</i>	<i>Hot</i>		<i>Cold</i>	
	<i>In</i>	<i>Out</i>	<i>In</i>	<i>Out</i>
<i>Liquid Flowrate, lb/hr</i>			110231	110231
<i>Vapor Flowrate, lb/hr</i>	73068,3	73068,3		
<i>Temperature, °C</i>	280	130	25	96
<i>Pressure, atm</i>	1	1	1	1

Tabel 3.26 Mechanical Design Cooler-02

<i>Mechanical Design</i>			
<i>Shell</i>		<i>Tube</i>	
<i>Length, ft</i>	20	<i>Length, ft</i>	20
<i>Passes</i>	2	<i>Passes</i>	1
<i>ID, in</i>	28,5	<i>OD, in</i>	0,75
<i>Baffle Space, in</i>	14,27	<i>Number</i>	95
		<i>A, ft²</i>	621,183
		<i>BWG</i>	16
		<i>Pitch, in</i>	0,9375
$\Delta P_{cal} / \Delta P_{allow}, \text{psi}$	0,188 / <10	$\Delta P_{cal} / \Delta P_{allow}, \text{psi}$	0,894 / <10

6. Cooler-03

Kode : CL-03

Fungsi : Menurunkan suhu keluaran (CL-02) menuju (SP-01)

Jenis : *Shell and Tube*

Tabel 3.27 Operation Condition Cooler-03

<i>Operation Condition</i>				
<i>Position</i>	<i>Shell</i>		<i>Tube</i>	
<i>Fluid</i>	<i>Effluent R-01</i>		<i>Cooling Water</i>	
<i>Fluid type</i>	<i>Hot</i>		<i>Cold</i>	
	<i>In</i>	<i>Out</i>	<i>In</i>	<i>Out</i>
<i>Liquid Flowrate, lb/hr</i>			110231	110231
<i>Vapor Flowrate, lb/hr</i>	73068,3	73068,3		
<i>Temperature, °C</i>	130	35	25	30

<i>Pressure, atm</i>	1	1	1	1
----------------------	---	---	---	---

Tabel 3.28 *Mechanical Design Cooler-03*

<i>Mechanical Design</i>			
<i>Shell</i>		<i>Tube</i>	
<i>Length, ft</i>	20	<i>Length, ft</i>	20
<i>Passes</i>	2	<i>Passes</i>	1
<i>ID, in</i>	28,5	<i>OD, in</i>	0,75
<i>Baffle Space, in</i>	14,27	<i>Number</i>	95
		<i>A, ft²</i>	761,183
		<i>BWG</i>	16
		<i>Pitch, in</i>	0,9375
$\Delta P_{cal} / \Delta P_{allow}, \text{psi}$	0,188 / <10	$\Delta P_{cal} / \Delta P_{allow}, \text{psi}$	0,894 / <10
Rd_{cal} / Rd_{min} hr.ft ² .F/Btu	0,0055 / 0,0004	Rd_{cal} / Rd_{min} hr.ft ² .F/Btu	0,0055 / 0,0004

3.4 Neraca Massa

3.4.1 Neraca Massa *Mixing Point* (MP-01)

Tabel 3.29 Neraca Massa *Mixing Point-01*

No	Komponen	Masuk (kg/jam)		Keluar (kg/jam)
		Arus 10	Arus 2	Arus 3
1	H ₂	7064,7151	-	-
2	H ₂	-	910,3049	7975,0200
Total Setiap Arus		7064,7151	910,3049	7975,0200
Total		7975,0200		7975,0200

3.4.2 Neraca Massa Reaktor *Hydrotreating* (R-01)

Tabel 3.30 Neraca Massa Reaktor *Hydrotreating*

No	Komponen	Masuk (kg/jam)	Keluar (kg/jam)
		Arus 4	Arus 5
1	H ₂	7975,0200	7136,2216
2	CO	-	1,0956

3	CO ₂	-	0,0001
4	C ₃ H ₈	-	2545,5231
5	H ₂ O	7975,0200	3022,6097
6	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	11109,8485	1110,9868
7	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	2760,2273	276,0232
8	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	11298,1061	1129,8126
9	Impuritis	1346,9697	1346,9697
10	C ₁₆ H ₃₄	-	897,5181
11	C ₁₇ H ₃₂	-	0,0000
12	C ₁₇ H ₃₄	-	0,0001
13	C ₁₇ H ₃₆	-	0,4961
14	C ₁₈ H ₃₈	-	1125,7955
15	I-C ₆ H ₁₄	-	3074,0670
16	I-C ₈ H ₁₈	-	2,1209
17	I-C ₉ H ₂₀	-	2,3814
18	I-C ₁₀ H ₂₂	-	7624,4075
19	I-C ₁₅ H ₃₂	-	846,2487
20	I-C ₅ H ₁₂	-	1292,5074
21	I-C ₁₂ H ₂₆	-	3051,4601
22	C ₁₅ H ₃₂	-	3,9265
Total Setiap Arus		34490,1715	34490,1715
Total		34490,1715	

3.4.3 Neraca Massa Separator (SP-01)

Tabel 3.31 Neraca Massa Separator-01

No	Komponen	Masuk (kg/jam)	Keluar (kg/jam)	
		Arus 5	Arus 6	Arus 11
1	H ₂	7136,2216	7136,1081	-
2	CO	1,0956	1,0956	-
3	CO ₂	0,0001	0,0001	-
4	C ₃ H ₈	2545,5231	2539,9173	-
5	H ₂ O	3022,6097	2993,5991	-
6	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	1110,9868	0,0004	-
7	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	276,0232	0,0001	-
8	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	1129,8126	0,0024	-
9	Impuritis	1346,9697	-	-

10	C ₁₆ H ₃₄	897,5181	0,4902	-
11	C ₁₇ H ₃₂	0,0000	0,0000	-
12	C ₁₇ H ₃₄	0,0001	0,0000	-
13	C ₁₇ H ₃₆	0,4961	0,0001	-
14	C ₁₈ H ₃₈	1125,7955	0,1153	-
15	I-C ₆ H ₁₄	3074,0670	2914,2777	-
16	I-C ₈ H ₁₈	2,1209	1,7502	-
17	I-C ₉ H ₂₀	2,3814	0,9485	-
18	I-C ₁₀ H ₂₂	7624,4075	1526,4542	-
19	I-C ₁₅ H ₃₂	846,2487	1,9557	-
20	I-C ₅ H ₁₂	1292,5074	1269,9261	-
21	I-C ₁₂ H ₂₆	3051,4601	87,4853	-
22	C ₁₅ H ₃₂	3,9265	0,0047	-
23	Bioavtur	-	-	16016,0406
Total Setiap Arus		34490,1715	18474,1309	16016,0406
Total		34490,1715	34490,1715	

3.4.4 Neraca Massa *Decanter* (DC-01)

Tabel 3.32 Neraca Massa *Decanter*-01

No	Komponen	Masuk (kg/jam)	Keluar (kg/jam)	
		Arus 6	Arus 7	Arus 8
1	H ₂	7136,1081	0,0324	7136,0759
2	CO	1,0956	-	1,0956
3	CO ₂	0,0001	-	0,0001
4	C ₃ H ₈	2539,9173	-	2539,9107
5	H ₂ O	2993,5991	2978,7140	14,8839
6	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	0,0004	-	0,0024
7	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	0,0001	-	0,0001
8	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	0,0024	-	0,0004
9	Impuritis	-	-	-
10	C ₁₆ H ₃₄	0,4902	-	0,4902
11	C ₁₇ H ₃₂	-	-	-
12	C ₁₇ H ₃₄	-	-	-
13	C ₁₇ H ₃₆	0,0001	-	0,0001
14	C ₁₈ H ₃₈	0,1153	-	0,1153
15	I-C ₆ H ₁₄	2914,2777	-	2914,2777

16	I-C ₈ H ₁₈	1,7502	-	1,7502
17	I-C ₉ H ₂₀	0,9485	-	0,9485
18	I-C ₁₀ H ₂₂	1526,4542	-	1526,4542
19	I-C ₁₅ H ₃₂	1,9557	-	1,9557
20	I-C ₅ H ₁₂	1269,9261	-	1269,9261
21	I-C ₁₂ H ₂₆	87,4853	-	87,4853
22	C ₁₅ H ₃₂	0,0047	-	0,0047
23	Bioavtur	-	-	-
Total Setiap Arus		18474,1309	2978,7529	15495,3771
Total		18474,1309	18474,1309	

3.4.5 Neraca Massa *Purge Valve* (PV-01)

Tabel 3.33 Neraca Massa *Purge Valve*-01

No	Komponen	Masuk (kg/jam)	Keluar (kg/jam)	
		Arus 8	Arus 9	Arus 10
1	H ₂	7136,0759	71,3608	7064,7151
2	CO	1,0956	1,0956	-
3	CO ₂	0,0001	0,0001	-
4	C ₃ H ₈	2539,9173	2539,9173	-
5	H ₂ O	14,8839	14,8839	-
6	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	0,0024	0,0024	-
7	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	0,0001	0,0001	-
8	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	0,0004	0,0004	-
9	Impuritis	-	-	-
10	C ₁₆ H ₃₄	0,4902	0,4902	-
11	C ₁₇ H ₃₂	-	-	-
12	C ₁₇ H ₃₄	-	-	-
13	C ₁₇ H ₃₆	0,0001	0,0001	-
14	C ₁₈ H ₃₈	0,1153	0,1153	-
15	I-C ₆ H ₁₄	2914,2777	2914,2777	-
16	I-C ₈ H ₁₈	1,7502	1,7502	-
17	I-C ₉ H ₂₀	0,9485	0,9485	-
18	I-C ₁₀ H ₂₂	1526,4542	1526,4542	-
19	I-C ₁₅ H ₃₂	1,9557	1,9557	-
20	I-C ₅ H ₁₂	1269,9261	1269,9261	-
21	I-C ₁₂ H ₂₆	87,4853	87,4853	-

22	C ₁₅ H ₃₂	0,0047	0,0047	-
23	Bioavtur	-	-	-
Total Setiap Arus		15495,3771	8430,6620	7064,7151
Total		15495,3771	15495,3771	

3.4.6 Neraca Massa *Mixing Point* (MP-02)

Tabel 3.34 Neraca Massa *Mixing Point*-02

No	Komponen	Masuk (kg/jam)		Keluar (kg/jam)
		Arus 1	Arus 3	Arus 4
1	H ₂	-	7975,0200	7975,0200
2	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	11109,8485	-	11109,8485
3	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	2760,2273	-	2760,2273
4	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	11298,1061	-	11298,1061
5	Impuritis	1346,9697	-	1346,9697
Total Setiap Arus		26515,1515	7975,0200	34490,1715
Total		34490,1715		34490,1715

3.5 Neraca Panas

3.5.1 Neraca Panas Reaktor *Hydrotreating* (R-01)

Tabel 3.35 Neraca Panas Reaktor *Hydrotreating*

No	Komponen	Input ΔH in (kj/jam)	Output ΔH out (kj/jam)
1	Q in	71.882	-
2	Q out	-	165.213
3	Q Reaksi	-	452.403,00
4	Q Pendingin	545.733,66	-
Total		617.615,98	617.615,98

3.5.2 Neraca Panas Separator (SP-01)

Tabel 3.36 Neraca Panas Separator-01

No	Komponen	Q input	Q output
----	----------	---------	----------

1	Fase Cair	669333,51	669333,51
2	Fase Gas	8506,64	8506,64
Total		677840,15	677840,15

3.5.3 Neraca Panas *Decanter* (DC-01)

Tabel 3.37 Neraca Panas *Decanter*-01

No	Komponen	Q input	Q output
1	Input	47208,39	-
2	Atas	-	46598,91
3	Bawah	-	609,48
Total		3963,68	47208,39

BAB IV

PERANCANGAN PABRIK

4.1 Lokasi Pabrik

Penentuan lokasi pabrik menjadi salah satu aspek penting dalam perancangan pabrik karena berpengaruh terhadap kelancaran kegiatan produksi, distribusi, dan operasional suatu perusahaan. Lokasi yang tepat dapat membantu menekan biaya operasional dan meningkatkan efisiensi proses produksi. Sebaliknya, kesalahan dalam menentukan lokasi pabrik dapat menimbulkan berbagai permasalahan, seperti tingginya biaya transportasi, kesulitan dalam memperoleh tenaga kerja yang kompeten, serta keterbatasan akses terhadap bahan baku yang dibutuhkan dalam proses produksi.

Pemilihan lokasi pendirian pabrik merupakan keputusan penting karena beberapa faktor utama. Pertama, lokasi yang strategis dapat meningkatkan efisiensi biaya operasional dengan mengurangi biaya transportasi bahan baku maupun produk jadi, biaya tenaga kerja, serta biaya utilitas. Kedua, lokasi yang berdekatan dengan pasar sasaran akan mempermudah proses distribusi produk dan memungkinkan perusahaan untuk merespons permintaan konsumen secara lebih cepat dan efektif. Ketiga, kedekatan dengan sumber bahan baku dapat mengurangi biaya pengangkutan serta menjamin ketersediaan pasokan bahan baku secara berkelanjutan. Keempat, ketersediaan tenaga kerja yang terampil dengan tingkat upah yang kompetitif sangat diperlukan untuk mendukung kelancaran kegiatan operasional pabrik. Selain itu, tersedianya infrastruktur yang memadai, seperti

jaringan jalan, pelabuhan, dan bandara, juga menjadi faktor penting dalam menunjang kegiatan logistik serta distribusi produk perusahaan.

Berdasarkan pertimbangan tersebut, pabrik bioavtur dengan kapasitas produksi sebesar 210.000 ton/tahun direncanakan didirikan di Kawasan Sungai Ular, Kecamatan Secanggang, Kabupaten Langkat, Provinsi Sumatera Utara. Lokasi ini dipilih karena dinilai mendukung kebutuhan operasional pabrik, terutama dari segi akses bahan baku, distribusi produk, ketersediaan infrastruktur, dan kelancaran kegiatan produksi. Lokasi merujuk pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Lokasi Pabrik Bioavtur

Adapun keuntungan dipilihnya lokasi di Kawasan Sungai Ular adalah adanya faktor-faktor berikut:

4.1.1 Faktor Primer Penentuan Lokasi Pabrik

Dalam penentuan lokasi pendirian pabrik, faktor primer merupakan aspek-aspek dasar yang memiliki pengaruh paling besar terhadap keberlangsungan operasional serta tingkat keuntungan perusahaan. Faktor-faktor primer ini secara langsung mempengaruhi kelancaran proses produksi, efisiensi biaya operasional,

dan distribusi produk. Oleh karena itu, faktor primer umumnya memiliki bobot pertimbangan yang lebih besar dibandingkan dengan faktor sekunder dan sering kali menjadi penentu utama dalam pengambilan keputusan lokasi pendirian pabrik.

Beberapa faktor primer yang perlu dipertimbangkan dalam penentuan lokasi pabrik antara lain sebagai berikut.

a. Ketersediaan Bahan Baku

Minyak jelantah (*waste cooking oil*) merupakan bahan baku utama dalam produksi bioavtur. Ketersediaan minyak jelantah di wilayah Sumatera Utara dan sekitarnya tergolong cukup potensial, sehingga dapat mendukung keberlangsungan pasokan bahan baku untuk proses produksi. Salah satu pertimbangan dalam pemilihan lokasi pabrik bioavtur di Kawasan Sungai Ular, Kecamatan Secanggang, Kabupaten Langkat, Provinsi Sumatera Utara adalah kedekatannya dengan penyedia bahan baku utama, yaitu PT Medan Bioenergy Nusantara yang berada di Provinsi Sumatera Utara. Kedekatan lokasi tersebut mempermudah proses distribusi minyak jelantah, menekan biaya transportasi, dan membantu menjaga kontinuitas pasokan bahan baku.

Selain minyak jelantah, bahan penunjang yang dibutuhkan dalam proses produksi bioavtur adalah hidrogen (H_2). Kebutuhan hidrogen untuk pabrik bioavtur ini diperoleh dari PT Samator Indo Gas Tbk dan Air Liquide Indonesia sebagai penyedia gas industri. Dengan adanya dukungan pasokan

bahan baku utama dan bahan penunjang tersebut, proses produksi bioavtur dapat berjalan secara berkelanjutan dan optimal.

b. Pemasaran

Aspek pemasaran merupakan salah satu pertimbangan penting dalam pemilihan lokasi pendirian pabrik bioavtur. Kedekatan lokasi pabrik dengan pasar sasaran diperlukan untuk menekan biaya distribusi, memperlancar pengiriman produk, serta meningkatkan efisiensi rantai pasok. Pendirian pabrik di Kawasan Sungai Ular, Kecamatan Secanggang, Kabupaten Langkat, Provinsi Sumatera Utara, memiliki keuntungan dari sisi akses pemasaran karena wilayah tersebut terhubung dengan pusat kegiatan ekonomi dan jalur transportasi utama di Sumatera Utara. Produk bioavtur yang dihasilkan direncanakan untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar penerbangan, khususnya melalui jalur distribusi menuju Bandar Udara Internasional Kualanamu di Kabupaten Deli Serdang sebagai salah satu pusat transportasi udara utama di wilayah Sumatera Utara.

Selain kedekatan dengan pasar utama, ketersediaan sarana transportasi dan infrastruktur distribusi juga menjadi faktor pendukung dalam pemasaran produk. Infrastruktur tersebut berperan dalam menunjang kelancaran pengangkutan produk, baik untuk kebutuhan pasar domestik maupun peluang pemasaran ke luar negeri. Produk samping berupa nafta juga memiliki potensi pasar tersendiri, sehingga dapat memberikan tambahan nilai ekonomis terhadap proses produksi bioavtur secara keseluruhan.

Pemasaran yang dilakukan bertujuan untuk memenuhi kebutuhan bioavtur di Indonesia.

c. Tenaga Kerja

Ketersediaan tenaga kerja menjadi salah satu aspek penting yang perlu dipertimbangkan dalam pendirian pabrik bioavtur. Tenaga kerja berperan dalam menunjang kelancaran kegiatan operasional pabrik, baik pada tahap produksi, pengawasan proses, pemeliharaan peralatan, maupun kegiatan pendukung lainnya. Kebutuhan tenaga kerja pada industri bioavtur umumnya dapat dipenuhi dari lulusan sekolah menengah kejuruan, diploma, dan sarjana yang memiliki keahlian serta kompetensi di bidang teknik dan industri.

Kabupaten Langkat, khususnya Kawasan Sungai Ular, memiliki jumlah penduduk yang relatif besar sehingga berpotensi menyediakan tenaga kerja yang sesuai dengan kebutuhan pabrik. Selain itu, keberadaan kawasan industri di wilayah Sungai Ular dan daerah sekitarnya juga menjadi faktor pendukung karena dapat mempermudah perolehan tenaga kerja yang telah memiliki pengalaman di bidang industri. Dengan demikian, lokasi tersebut dinilai memiliki potensi yang memadai dari aspek ketersediaan tenaga kerja untuk mendukung kegiatan operasional pabrik bioavtur..

d. Utilitas

Ketersediaan utilitas merupakan faktor penting dalam menunjang kelancaran operasional suatu industri. Utilitas yang diperlukan dalam proses produksi bioavtur meliputi penyediaan air, energi listrik, dan bahan bakar

untuk mendukung berbagai kegiatan operasional pabrik. Keberadaan utilitas yang memadai menjadi salah satu pertimbangan dalam pemilihan lokasi pabrik karena berpengaruh terhadap kontinuitas proses produksi.

Air bersih menjadi salah satu kebutuhan utama dalam kegiatan industri, baik untuk keperluan proses produksi, sistem pendinginan, maupun kebutuhan domestik di area pabrik. Wilayah Kecamatan Secanggang, Kabupaten Langkat, memiliki potensi sumber air yang dapat dimanfaatkan, salah satunya berasal dari Sungai Ular. Air dari sumber tersebut dapat digunakan sebagai air baku setelah melalui proses pengolahan terlebih dahulu agar memenuhi standar kualitas air yang dibutuhkan dalam operasional pabrik.

Selain air, kebutuhan energi listrik untuk operasional pabrik dapat dipenuhi melalui jaringan Perusahaan Listrik Negara (PLN) yang telah menjangkau wilayah Kabupaten Langkat dan kawasan industri di sekitarnya. Pasokan listrik tersebut digunakan untuk mengoperasikan peralatan proses, sistem kontrol, serta fasilitas pendukung lainnya di dalam pabrik. Untuk menjaga keberlangsungan operasi apabila terjadi gangguan pada pasokan listrik utama, pabrik juga perlu dilengkapi dengan generator sebagai sumber listrik cadangan.

Berdasarkan ketersediaan sumber air, pasokan energi listrik, serta fasilitas pendukung lainnya, wilayah Sungai Ular, Kecamatan Secanggang, Kabupaten Langkat, Provinsi Sumatera Utara, dinilai mampu memenuhi kebutuhan utilitas yang diperlukan dalam operasional pabrik bioavtur.

e. Letak Geografis

Secara geografis, titik lokasi ini terletak pada koordinat $98^{\circ}55'39.08''$ Bujur Timur dan $3^{\circ}34'09.81''$ Lintang Utara, yang secara administratif berada di wilayah Provinsi Sumatera Utara. Wilayah ini memiliki kondisi topografi yang bervariasi, di mana sebagian besar areanya merupakan dataran rendah yang relatif landai dan subur, serta membentang ke arah pesisir timur Sumatera yang berbatasan tidak jauh dengan perairan Selat Malaka. Sebagian besar kawasan dataran rendah di wilayah ini merupakan area yang sangat potensial untuk pengembangan kawasan industri, perdagangan, dan sektor perkebunan.

Kawasan yang berada di sekitar titik koordinat ini memiliki lokasi yang sangat strategis karena merupakan bagian dari pusat pertumbuhan ekonomi utama di Pulau Sumatera. Posisinya sangat diuntungkan karena berdekatan dengan infrastruktur berskala internasional, seperti Bandara Internasional Kualanamu dan Pelabuhan Belawan. Kondisi geografis ini memberikan keuntungan besar dalam mendukung mobilitas dan kegiatan logistik, mempermudah distribusi bahan baku maupun produk jadi, baik untuk memenuhi kebutuhan pasar domestik maupun untuk menunjang aktivitas ekspor dan impor lainnya.

f. Transportasi

Transportasi merupakan salah satu faktor penting dalam penentuan lokasi pabrik bioavtur karena berpengaruh terhadap kelancaran pengadaan bahan baku dan pendistribusian produk. Pabrik yang berlokasi di Kawasan

Sungai Ular, Kecamatan Secanggang, Kabupaten Langkat, Sumatera Utara memiliki akses transportasi yang mendukung, baik melalui jalur darat, laut, maupun udara.

Jalur darat digunakan untuk pengangkutan bahan baku minyak jelantah dari pemasok menuju pabrik, serta distribusi bioavtur ke wilayah sekitar seperti Langkat, Binjai, Medan, dan Deli Serdang. Distribusi melalui jalur darat dapat dilakukan menggunakan mobil tangki melalui jalan utama dan jaringan jalan tol di Sumatera Utara, seperti ruas Medan–Binjai, Belawan–Medan–Tanjung Morawa, serta Medan–Kualanamu–Tebing Tinggi. Jaringan transportasi ini mempermudah pengiriman produk menuju kawasan perkotaan, kawasan industri, dan bandara tujuan pemasaran

Jalur laut mendukung distribusi bioavtur ke luar wilayah Sumatera Utara atau antarpulau. Pengiriman produk dapat dilakukan melalui Pelabuhan Belawan sebagai salah satu akses logistik utama di Sumatera Utara.

Jalur udara berkaitan dengan kedekatan lokasi pabrik terhadap Bandara Internasional Kualanamu sebagai salah satu tujuan pemasaran bioavtur. Keberadaan bandara ini mendukung penyaluran produk untuk kebutuhan bahan bakar penerbangan.

4.1.2 Faktor Sekunder Penentuan Lokasi Pabrik

a. Perluasan Area Unit

Pendirian pabrik perlu mempertimbangkan kemungkinan perluasan area produksi sebagai antisipasi terhadap peningkatan

permintaan produk pada masa mendatang. Oleh karena itu, pemilihan lokasi harus didukung oleh ketersediaan lahan yang memadai untuk pengembangan fasilitas produksi. Wilayah Sungai Ular, Kecamatan Secanggang, Kabupaten Langkat, masih memiliki lahan yang relatif luas dan cukup datar sehingga memungkinkan perluasan area pabrik apabila kapasitas produksi perlu ditingkatkan.

b. Peraturan Pemerintah

Pemerintah mewajibkan setiap kegiatan industri memiliki izin usaha yang sah serta memenuhi persyaratan administratif dan teknis sebelum pabrik didirikan dan dioperasikan. Pendirian pabrik harus memenuhi ketentuan peraturan pemerintah yang berlaku, terutama yang berkaitan dengan perizinan, tata ruang, lingkungan hidup, dan keselamatan kerja. Selain itu, pendirian juga harus mematuhi peraturan mengenai analisis dampak lingkungan, pengelolaan limbah, serta penerapan standar keselamatan dan kesehatan kerja.

c. Lingkungan Masyarakat Sekitar

Dalam mendirikan suatu pabrik, kondisi sosial masyarakat di sekitar lokasi juga perlu menjadi pertimbangan. Masyarakat di wilayah Sungai Ular, Kecamatan Secanggang pada umumnya memiliki sikap yang cukup terbuka terhadap kegiatan industri yang dapat memberikan dampak positif bagi perekonomian daerah. Keberadaan pabrik diharapkan dapat membuka lapangan pekerjaan baru bagi masyarakat sekitar serta mendorong pertumbuhan ekonomi lokal. Selain itu, aspek

keamanan dan kenyamanan lingkungan juga perlu diperhatikan agar keberadaan industri tetap selaras dengan kehidupan masyarakat setempat.

d. Prasarana Pendukung

Prasarana pendukung merupakan salah satu faktor yang perlu dipertimbangkan dalam penentuan lokasi pendirian pabrik. Fasilitas seperti sarana kesehatan, pendidikan, tempat ibadah, layanan perbankan, serta kawasan perumahan sangat diperlukan untuk menunjang kehidupan sosial para tenaga kerja. Wilayah Sungai Ular, Kabupaten Langkat telah dilengkapi dengan berbagai fasilitas umum yang memadai untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Keberadaan fasilitas pendukung ini diharapkan dapat memberikan kenyamanan bagi tenaga kerja serta mendukung kelancaran kegiatan operasional pabrik.

4.2 Tata Letak Pabrik (*Plant Layout*)

Tata letak pabrik atau *layout plant* merupakan pengaturan seluruh kedudukan fasilitas yang terdapat di dalam area pabrik, yang mencakup fasilitas perkantoran atau administrasi, peralatan proses, tempat penyimpanan bahan baku dan produk, unit pendukung proses, fasilitas karyawan, serta area lain yang menunjang kegiatan produksi pabrik. Perancangan tata letak pabrik harus dilakukan dengan sebaik mungkin agar kegiatan operasional produksi dapat berjalan secara efektif dan optimal dari segi ekonomi. Selain itu, faktor keamanan, keselamatan, dan kenyamanan kerja harus diperhatikan guna melindungi seluruh aset yang

dimiliki pabrik. Secara garis besar, tata letak pabrik dibagi menjadi beberapa bagian utama, di antaranya sebagai berikut

4.3.2 Daerah Administrasi dan Perkantoran

Daerah administrasi atau perkantoran merupakan pusat kegiatan administrasi dan keuangan pabrik. Area ini digunakan untuk mengelola perencanaan, pengendalian, serta pengurusan dokumen yang berkaitan dengan operasional pabrik. Penempatan daerah administrasi dirancang terpisah dari area proses untuk menciptakan lingkungan kerja yang aman dan nyaman.

4.3.3 Daerah Proses

Daerah proses merupakan area utama tempat berlangsungnya kegiatan operasional produksi. Area ini meliputi penempatan peralatan proses, area penyimpanan bahan baku dan produk, serta ruang pengendalian (*control room*) untuk memantau jalannya proses.

4.3.4 Daerah Instalasi dan Utilitas

Daerah instalasi dan utilitas berfungsi sebagai penyedia kebutuhan penunjang proses produksi. Fasilitas pada area ini meliputi sistem penyediaan air, *steam* pemanas, air pendingin, listrik, dan bahan bakar.

4.3.5 Daerah Keamanan

Daerah keamanan merupakan area yang disiapkan untuk mendukung sistem keselamatan pabrik. Area ini digunakan untuk penyimpanan peralatan keselamatan dan penanggulangan keadaan darurat. Peralatan yang tersedia antara lain alat pemadam kebakaran dan perlengkapan keselamatan lainnya. Penempatan daerah keamanan dirancang agar mudah diakses pada saat terjadi kondisi darurat.

4.3.6 Daerah Fasilitas Umum

Daerah fasilitas umum disediakan untuk memenuhi kebutuhan dan menunjang kenyamanan karyawan. Fasilitas yang terdapat pada area ini meliputi pusat kesehatan, tempat ibadah, kantin, dan area parkir. Keberadaan fasilitas umum bertujuan untuk meningkatkan kesejahteraan tenaga kerja. Dengan demikian, produktivitas dan kenyamanan kerja karyawan dapat terjaga.

4.3.7 Daerah Pengolahan Limbah

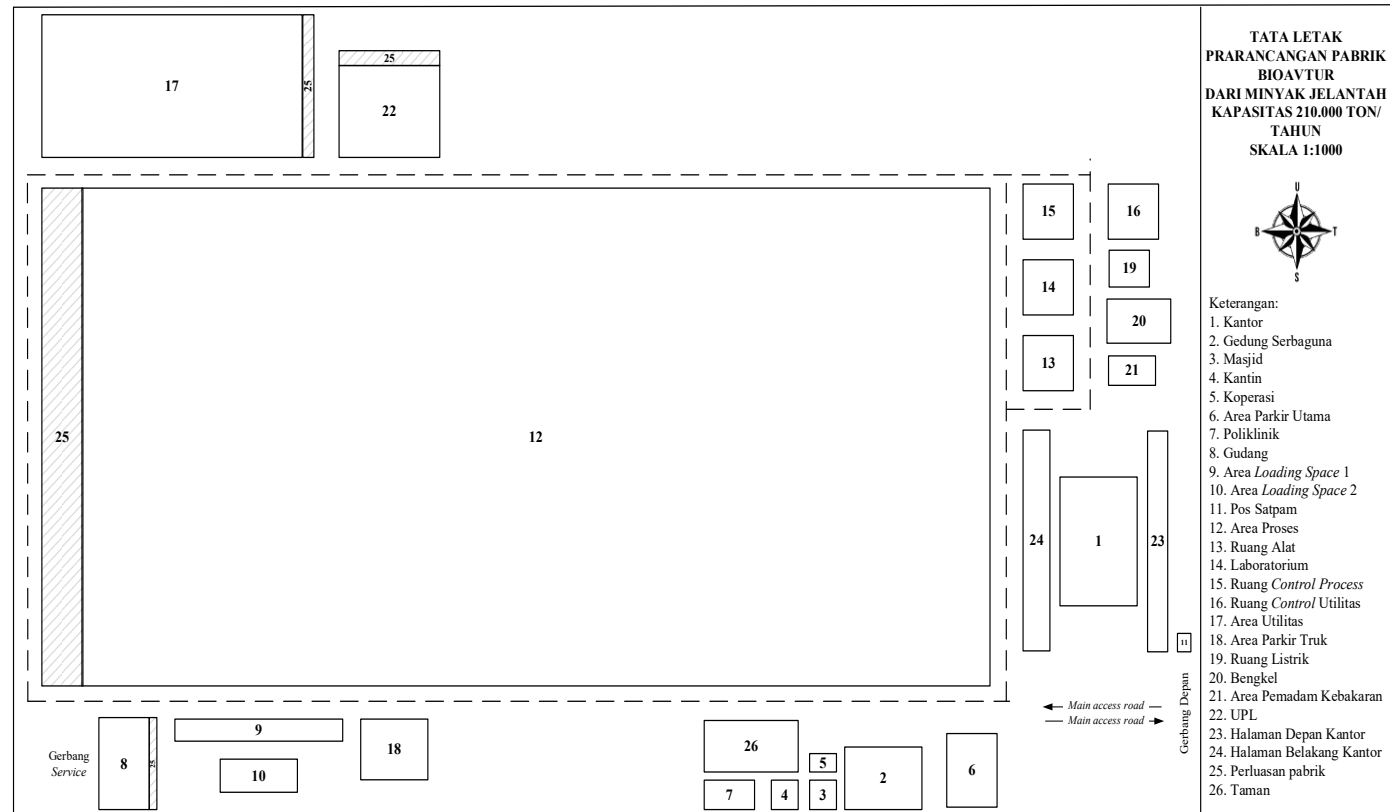
Daerah pengolahan limbah berfungsi untuk menangani limbah yang dihasilkan dari kegiatan produksi pabrik. Pengolahan limbah dilakukan sesuai dengan ketentuan dan standar lingkungan yang berlaku. Area ini dirancang untuk meminimalkan dampak negatif limbah terhadap lingkungan sekitar. Perincian luas tanah dan bangunan pabrik, dijelaskan pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Luas Tanah dan Bangunan Pabrik

Kode	Lokasi	Panjang (m)	Lebar (m)	Luas (m ²)
1	Kantor	38,5	25,3	974,1
2	Gedung serbaguna	25,3	18,7	473,1
3	Masjid	11	8,8	96,8
4	Kantin	8,8	8,8	77,4
5	Koperasi	8,8	5,5	48,4
6	Area parkir utama	22	16,5	363
7	Poliklinik	16,5	8,8	145,2
8	Gudang	27,5	16,5	453,7
9	Area Loading Space 1	55	6,6	363
10	Area Loading Space 2	25,3	9,9	250,5
11	Pos Satpam	5,5	4,4	24,2
12	Area proses	297,6	148,82	44297,3
13	Ruang alat	16,5	16,5	272,2
14	Laboratorium	16,5	16,5	272,2
15	Ruang control process	16,5	16,5	272,2
16	Ruang control utilitas	16,5	16,5	272,2

17	Area utilitas	85,3	42,65	3637,3
18	Area parkir truk	22	18,15	399,3
19	Ruang listrik	13,2	11	145,2
20	Bengkel	20,9	13,2	275,8
21	Area pemadam kebakaran	15,4	8,8	135,5
22	UPL	33	27,5	907,5
23	Halaman depan kantor	66	6,6	435,6
24	Halaman belakang kantor	66	8,8	580,8
25	Perluasan Pabrik	62,7	25,3	1586,3
26	Taman	30,8	15,4	474,3
27	Jalan	1161,6	8	9292,7
Total Luas Bangunan				56.593,15
Total Luas Tanah				66.526,25

Pengaturan tata letak pabrik bertujuan untuk mengatur dan memaksimalkan area kerja serta segala fasilitas yang dimiliki oleh pabrik, untuk dapat mencapai nilai produksi yang ekonomis dan aman dalam proses produksi. Berikut tata letak pabrik asam perasetat tertera pada Gambar 4.2 disertai dengan keterangan sesuai urutan Tabel 4.1.



Gambar 4.2 Layout Pabrik Bioavtur

Skala 1 : 1000

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

Dalam perancangan tata letak peralatan proses pada pabrik bioavtur, terdapat beberapa aspek penting yang perlu diperhatikan agar proses produksi dapat berlangsung secara efisien, aman, dan ekonomis. Beberapa faktor yang menjadi pertimbangan dalam perancangan tata letak tersebut antara lain sebagai berikut:

4.3.1 Aliran Bahan Baku dan Produk

Pengaturan aliran bahan baku dan produk harus disesuaikan dengan urutan proses produksi yang telah dirancang. Pengaliran bahan yang mengikuti alur proses secara sistematis dapat memberikan keuntungan secara ekonomi serta mendukung kelancaran operasional pabrik. Selain itu, pengaturan aliran yang baik juga dapat meningkatkan aspek keselamatan kerja serta meminimalkan kemungkinan terjadinya hambatan dalam proses produksi.

4.3.2 Aliran Udara

Pengaturan aliran udara di area proses memerlukan perhatian khusus untuk menjamin sirkulasi dan ventilasi yang baik di lingkungan pabrik. Sistem ventilasi yang memadai dapat mencegah terjadinya penumpukan udara statis serta akumulasi bahan kimia berbahaya di area kerja. Hal ini menjadi sangat penting terutama pada area yang menggunakan bahan kimia yang mudah menguap, seperti metanol pada peralatan mixer, reaktor, maupun menara distilasi. Oleh karena itu, pengaturan arah aliran udara harus dirancang dengan baik untuk menghindari stagnasi udara yang berpotensi membahayakan keselamatan pekerja.

4.3.3 Pencahayaan

Sistem pencahayaan di seluruh area pabrik harus dirancang agar mampu memberikan tingkat penerangan yang memadai. Pada area proses yang memiliki tingkat risiko tinggi atau berpotensi menimbulkan bahaya, perlu disediakan pencahayaan tambahan guna memastikan visibilitas yang optimal. Pencahayaan yang baik dapat membantu pekerja dalam melakukan pengawasan terhadap peralatan serta mengurangi risiko terjadinya kecelakaan kerja.

4.3.4 Lalu Lintas Manusia dan Kendaraan

Dalam perancangan tata letak peralatan proses, perlu diperhatikan kemudahan akses bagi pekerja menuju setiap peralatan produksi. Akses yang baik memungkinkan penanganan gangguan operasional dapat dilakukan dengan cepat dan tepat. Selain itu, pengaturan jalur lalu lintas bagi pekerja maupun kendaraan operasional harus dirancang secara aman untuk meminimalkan risiko kecelakaan di area pabrik.

4.3.5 Pertimbangan Ekonomi

Penataan peralatan proses di dalam pabrik perlu dirancang secara optimal untuk menekan biaya operasional serta meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya. Tata letak yang baik akan mendukung kelancaran proses produksi dan meningkatkan keselamatan kerja, sehingga secara keseluruhan dapat memberikan keuntungan ekonomi yang maksimal bagi perusahaan.

4.3.6 *Maintenance* (Pemeliharaan)

Kegiatan pemeliharaan memiliki peranan penting dalam menjaga kondisi peralatan dan fasilitas pabrik agar tetap beroperasi secara optimal. Pemeliharaan dilakukan

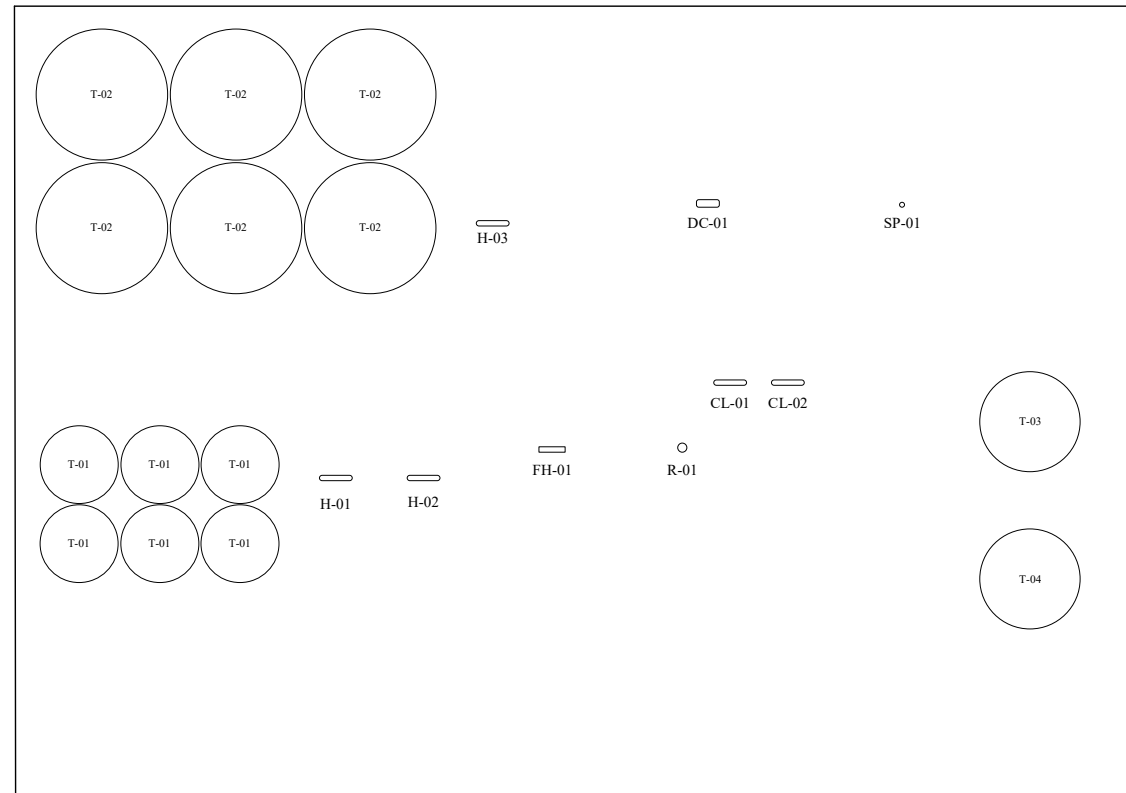
melalui kegiatan perawatan rutin serta perbaikan berkala guna mendukung kelancaran proses produksi dan meningkatkan produktivitas pabrik. Pemeliharaan preventif dilakukan secara rutin untuk mencegah terjadinya kerusakan peralatan serta menjaga kebersihan lingkungan kerja. Selain itu, pemeliharaan berkala juga dilakukan sesuai dengan jadwal yang tercantum dalam pedoman atau buku panduan peralatan.

4.3.7 Jarak Antara Alat Proses

Peralatan proses yang beroperasi pada kondisi suhu dan tekanan tinggi sebaiknya ditempatkan secara terpisah dari peralatan proses lainnya. Pemisahan ini bertujuan untuk meminimalkan risiko apabila terjadi kejadian yang tidak diinginkan, seperti ledakan atau kebakaran. Dengan penataan yang terpisah, potensi dampak kerusakan terhadap peralatan lain di area pabrik dapat dikurangi sehingga keselamatan operasional dan perlindungan terhadap fasilitas produksi dapat lebih terjamin

4.3.8 Perluasan Area

Perencanaan tata letak peralatan proses perlu mempertimbangkan kemungkinan perluasan pabrik di masa mendatang. Area pabrik dirancang agar memungkinkan penambahan unit peralatan tanpa mengganggu operasi yang sedang berjalan. Fleksibilitas tata letak sangat penting untuk mengakomodasi peningkatan kapasitas atau pengembangan proses.



Gambar 4.3 Layout Alat Proses

Skala 1 : 1000

4.4 Organisasi Perusahaan

4.4.1 Bentuk Perusahaan

Mengingat bahwa pengelolaan pabrik bioavtur berbahan baku minyak jelantah (*waste cooking oil*) memerlukan sistem manajemen yang terorganisasi dengan baik, maka diperlukan suatu struktur organisasi yang sistematis agar pembagian tugas, wewenang, dan tanggung jawab dapat dilaksanakan secara efektif dan efisien. Pabrik bioavtur yang direncanakan memiliki kapasitas produksi sebesar 210.000 ton per tahun dan dirancang dalam bentuk badan hukum Perseroan Terbatas (PT).

Berdasarkan Undang-Undang Nomor 40 Tahun 2007 tentang Perseroan Terbatas, Perseroan Terbatas merupakan badan hukum yang didirikan berdasarkan suatu perjanjian untuk menjalankan kegiatan usaha dengan modal dasar yang seluruhnya terbagi dalam saham. Saham merupakan surat berharga yang diterbitkan oleh perusahaan dan dimiliki oleh para pemegang saham sebagai bukti penyertaan modal sekaligus sebagai tanda kepemilikan atas perusahaan tersebut.

Dalam struktur perusahaan yang berbentuk Perseroan Terbatas, para pemegang saham memiliki kewajiban terbatas pada penyeteroran modal sesuai dengan jumlah saham yang dimilikinya. Adapun pengelolaan kegiatan operasional perusahaan dilakukan oleh direksi yang bertanggung jawab kepada para pemegang saham melalui dewan komisaris. Dengan adanya pemisahan antara pemilik perusahaan dan pengelola perusahaan, maka kegiatan operasional dapat dijalankan secara lebih profesional.

Adapun beberapa pertimbangan yang mendasari pemilihan bentuk badan usaha Perseroan Terbatas (PT) dalam pendirian pabrik bioavtur ini antara lain sebagai berikut:

- a. Kemudahan dalam memperoleh modal, baik melalui penjualan saham perusahaan kepada investor maupun melalui pinjaman dari lembaga perbankan.
- b. Pengelolaan operasional perusahaan yang lebih profesional, karena kegiatan operasional dijalankan oleh pengurus perusahaan, sedangkan tanggung jawab pemegang saham terbatas pada modal yang disetorkan.
- c. Adanya pemisahan yang jelas antara kepemilikan dan pengelolaan perusahaan, di mana pemegang saham bertindak sebagai pemilik perusahaan, sedangkan pengelolaan perusahaan dilakukan oleh direksi beserta stafnya yang berada di bawah pengawasan dewan komisaris. Hal ini dapat menjamin keberlangsungan perusahaan dalam jangka panjang.
- d. Efisiensi dalam sistem manajemen, karena para pemegang saham dapat menunjuk individu yang memiliki kompetensi, keahlian, serta pengalaman yang memadai untuk menduduki jabatan sebagai dewan komisaris maupun direktur utama.
- e. Kesempatan untuk memperluas kegiatan usaha, karena perusahaan berbentuk Perseroan Terbatas memiliki kemampuan untuk

menghimpun modal yang relatif besar dari masyarakat sehingga dapat digunakan untuk pengembangan usaha di masa mendatang.

- f. Kemudahan dalam memperoleh fasilitas kredit dari lembaga perbankan, karena perusahaan memiliki aset yang dapat dijadikan sebagai jaminan dalam memperoleh pembiayaan.

4.4.2 Struktur Organisasi

Pembentukan suatu perusahaan memerlukan susunan organisasi yang terstruktur dan selaras dengan sistem manajemen yang diterapkan, sehingga pembagian tugas, wewenang, dan tanggung jawab dalam pengelolaan perusahaan dapat dilaksanakan secara jelas, terarah, dan sistematis. Oleh karena itu, diperlukan suatu struktur organisasi yang tersusun dengan baik guna menunjang efektivitas dan efisiensi pelaksanaan kegiatan operasional perusahaan.

Setiap perusahaan pada umumnya memiliki bentuk struktur organisasi yang berbeda-beda, yang disesuaikan dengan karakteristik usaha, skala kegiatan, serta kebutuhan manajerial perusahaan tersebut. Dengan adanya struktur organisasi yang jelas, perusahaan dapat lebih mudah dalam mengatur pembagian unit kerja, jabatan, fungsi, serta hierarki wewenang dan tanggung jawab dari setiap bagian yang terdapat di dalam organisasi.

Dalam pelaksanaan kegiatan organisasi perusahaan, terdapat dua kelompok utama yang berperan dalam menjalankan fungsi manajemen, yaitu sebagai berikut:

- a. Sebagai ahli atau *line*, yaitu pihak yang memiliki kewenangan dan tanggung jawab langsung dalam melaksanakan tugas pokok organisasi guna mencapai tujuan perusahaan.
- b. Sebagai staff, yaitu tenaga kerja yang memiliki keahlian khusus dan berfungsi memberikan saran, pertimbangan, maupun dukungan teknis kepada unit operasional dalam menjalankan aktivitas perusahaan.

Pemilik perusahaan yang terdiri dari para pemegang saham menunjuk direksi untuk menjalankan dan mengelola kegiatan operasional perusahaan sehari-hari. Direksi bertanggung jawab terhadap pengelolaan perusahaan secara menyeluruh serta memastikan bahwa seluruh kegiatan operasional berjalan sesuai dengan kebijakan perusahaan dan tujuan yang telah ditetapkan.

Dalam pelaksanaan tugasnya, direksi dibantu oleh beberapa manajer yang bertanggung jawab pada bidang masing-masing. Direktur produksi bertanggung jawab terhadap kegiatan yang berkaitan dengan proses produksi, pengadaan bahan baku, pemeliharaan peralatan, pengembangan proses, serta pengawasan mutu produk. Sementara itu, direktur keuangan dan umum bertanggung jawab terhadap kegiatan yang berkaitan dengan pengelolaan keuangan perusahaan, administrasi, pemasaran, keamanan, kesehatan dan keselamatan kerja (K3), serta pengelolaan lingkungan.

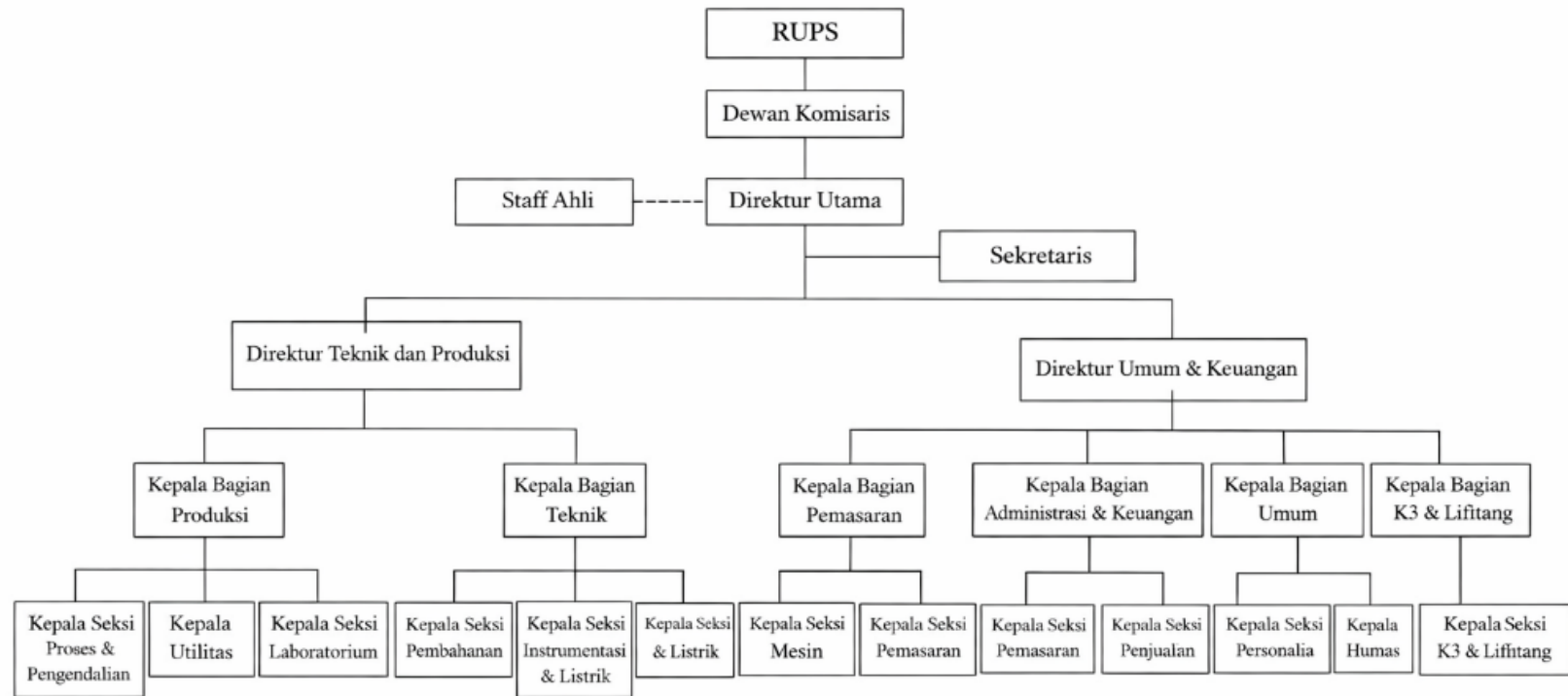
Setiap kepala departemen memimpin sejumlah supervisor yang bertugas mengatur, mengoordinasikan, serta mengawasi kegiatan para pekerja di departemen masing-masing. Para pekerja selanjutnya dikelompokkan ke dalam

beberapa tim kerja yang masing-masing dipimpin oleh seorang ketua tim yang bertanggung jawab kepada supervisor pada departemen terkait.

Untuk menunjang kelancaran kegiatan operasional dan proses produksi, perusahaan memerlukan tenaga kerja yang memiliki keterampilan, kompetensi, serta keahlian di bidangnya masing-masing. Karyawan yang kompeten diharapkan mampu memberikan kontribusi berupa gagasan, inovasi, maupun masukan kepada manajemen perusahaan guna mendukung tercapainya tujuan perusahaan secara efektif dan berkelanjutan.

Adapun manfaat dari adanya struktur organisasi dalam suatu perusahaan antara lain sebagai berikut:

1. Memberikan kejelasan mengenai pembagian tugas, tanggung jawab, dan wewenang setiap bagian dalam organisasi.
2. Menjadi pedoman bagi pimpinan maupun karyawan dalam melaksanakan tugas dan fungsi masing-masing.
3. Mempermudah proses penempatan pegawai sesuai dengan kompetensi dan keahlian yang dimiliki.
4. Mendukung penyusunan rencana pengembangan manajemen perusahaan secara lebih sistematis.
5. Memudahkan proses evaluasi serta perbaikan terhadap sistem kerja dan prosedur operasional apabila ditemukan ketidakefisienan dalam pelaksanaannya



Gambar 4.4 Struktur Organisasi Perusahaan Pabrik Bioavtur

4.4.3 Tugas dan Wewenang

Sebagaimana diketahui, dalam suatu perusahaan yang berbentuk Perseroan Terbatas (PT) terdapat beberapa organ perusahaan yang memiliki kewenangan, tanggung jawab, serta fungsi yang berbeda dalam menjalankan tata kelola perusahaan. Organ-organ tersebut berperan penting dalam menjaga keseimbangan antara fungsi pengawasan, pengelolaan, dan pengambilan keputusan strategis dalam perusahaan. Organ utama dalam Perseroan Terbatas terdiri atas Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS), Dewan Komisaris, dan Direksi. Ketentuan mengenai ketiga organ tersebut diatur dalam Pasal 1 angka 4, angka 5, dan angka 6 Undang-Undang Nomor 40 Tahun 2007 tentang Perseroan Terbatas. Melalui pembagian tugas dan kewenangan yang jelas antara organ-organ tersebut, diharapkan kegiatan operasional perusahaan dapat berjalan secara efektif, transparan, serta sesuai dengan prinsip tata kelola perusahaan yang baik (*good corporate governance*).

a. Pemegang Saham

Pemegang saham merupakan individu maupun badan hukum yang menanamkan modalnya ke dalam suatu perusahaan melalui kepemilikan saham yang diterbitkan oleh perusahaan tersebut. Dengan kepemilikan saham tersebut, pemegang saham secara hukum memiliki hak kepemilikan atas perusahaan sesuai dengan jumlah saham yang dimiliki. Selain memperoleh hak atas bagian keuntungan perusahaan dalam bentuk dividen, pemegang saham juga memiliki hak untuk turut

serta dalam pengambilan keputusan strategis perusahaan melalui mekanisme Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS).

Dalam struktur tata kelola perusahaan, pemegang saham menempati posisi yang sangat penting karena merupakan pemilik modal utama yang memungkinkan perusahaan dapat menjalankan kegiatan usahanya. Oleh karena itu, pemegang saham memiliki sejumlah kewenangan strategis yang berkaitan dengan arah dan kebijakan perusahaan. Beberapa tugas dan kewenangan utama pemegang saham antara lain sebagai berikut:

1. Memiliki hak untuk mengangkat dan memberhentikan anggota Dewan Komisaris maupun Direksi berdasarkan pertimbangan terhadap kinerja, integritas, serta kebutuhan perusahaan dalam mencapai tujuan usaha.
2. Mengkaji, mengevaluasi, serta mengesahkan laporan keuangan tahunan perusahaan yang meliputi laporan laba rugi, neraca, serta laporan arus kas yang mencerminkan kondisi keuangan perusahaan dalam satu periode akuntansi.
3. Menyelenggarakan Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS) secara berkala, paling sedikit satu kali dalam satu tahun, sebagai forum pengambilan keputusan tertinggi dalam perusahaan. Dalam forum tersebut dibahas berbagai hal penting seperti laporan kinerja perusahaan, rencana pengembangan usaha, pembagian dividen, serta kebijakan strategis lainnya.

4. Dengan adanya mekanisme tersebut, pemegang saham dapat melakukan pengawasan terhadap jalannya perusahaan sekaligus memastikan bahwa perusahaan dikelola secara profesional dan memberikan manfaat ekonomi yang optimal.

b. Dewan Komisaris

Dewan Komisaris merupakan organ perusahaan yang memiliki tugas utama untuk melakukan pengawasan terhadap kebijakan pengelolaan perusahaan yang dilaksanakan oleh Direksi. Dewan Komisaris juga memiliki tanggung jawab untuk memberikan nasihat dan pertimbangan kepada Direksi agar kegiatan operasional perusahaan dapat berjalan sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan oleh pemegang saham.

Dalam menjalankan fungsinya, Dewan Komisaris bertindak sebagai pengawas independen yang memastikan bahwa seluruh kegiatan perusahaan dilakukan secara transparan, akuntabel, serta sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku. Dengan demikian, keberadaan Dewan Komisaris memiliki peran penting dalam menjaga stabilitas dan keberlanjutan perusahaan.

Adapun tugas dan kewenangan Dewan Komisaris antara lain sebagai berikut:

1. Melakukan evaluasi terhadap rencana strategis perusahaan yang disusun oleh Direksi, termasuk kebijakan umum perusahaan,

rencana pengembangan usaha, target produksi, pengalokasian sumber daya, serta strategi pemasaran produk.

2. Melaksanakan fungsi pengawasan secara menyeluruh terhadap pelaksanaan tugas Direksi guna memastikan bahwa pengelolaan perusahaan dilakukan secara profesional, efisien, serta sesuai dengan prinsip tata kelola perusahaan yang baik.
3. Memberikan saran, arahan, serta pertimbangan kepada Direksi dalam pengambilan keputusan yang bersifat strategis, terutama yang berkaitan dengan keberlangsungan usaha perusahaan.

Melalui pelaksanaan fungsi pengawasan tersebut, Dewan Komisaris berperan dalam memastikan bahwa kegiatan operasional perusahaan tidak menyimpang dari tujuan yang telah ditetapkan oleh pemegang saham.

c. Direktur Utama

Direktur Utama merupakan pimpinan eksekutif tertinggi dalam perusahaan yang bertanggung jawab secara langsung terhadap pelaksanaan kegiatan operasional perusahaan sehari-hari. Direktur Utama memiliki kewenangan dalam menetapkan kebijakan operasional serta mengoordinasikan seluruh kegiatan perusahaan agar dapat berjalan secara efektif dan efisien.

Sebagai pimpinan tertinggi dalam manajemen perusahaan, Direktur Utama bertanggung jawab kepada Dewan Komisaris dan pemegang saham atas seluruh kebijakan yang diambil serta hasil kinerja

perusahaan. Oleh karena itu, Direktur Utama harus mampu menjalankan fungsi kepemimpinan secara profesional, transparan, serta berorientasi pada pencapaian tujuan perusahaan.

Adapun tugas dan kewenangan Direktur Utama meliputi:

1. Menetapkan serta melaksanakan kebijakan perusahaan secara menyeluruh dengan berpedoman pada visi dan misi perusahaan yang telah ditetapkan oleh pemegang saham.
2. Menyusun rencana kerja perusahaan serta mengoordinasikan pelaksanaan kegiatan operasional di seluruh unit kerja.
3. Menyampaikan laporan pertanggungjawaban kepada Dewan Komisaris dan pemegang saham mengenai hasil kinerja perusahaan pada setiap akhir periode jabatan.
4. Menjaga stabilitas organisasi perusahaan serta membangun hubungan kerja yang harmonis antara manajemen, pemegang saham, karyawan, konsumen, dan mitra usaha.
5. Mengangkat dan memberhentikan kepala bagian di lingkungan perusahaan dengan mempertimbangkan kebutuhan organisasi serta persetujuan pemegang saham.
6. Mengkoordinasikan hubungan kerja antar direktorat, bagian, dan unit kerja lainnya guna memastikan kelancaran kegiatan operasional perusahaan.

Dalam menjalankan tugasnya, Direktur Utama dibantu oleh beberapa direktorat yang masing-masing memiliki tanggung jawab tertentu dalam pengelolaan perusahaan.

Direktur Utama membawahi beberapa direktorat, antara lain:

1. Direktorat Sumber Daya Manusia dan Umum

Direktorat ini bertanggung jawab terhadap pengelolaan administrasi perusahaan, pengembangan sumber daya manusia, pengelolaan hubungan masyarakat, serta penyelenggaraan kegiatan keamanan dan keselamatan kerja di lingkungan perusahaan. Direktorat ini juga berperan dalam memastikan bahwa seluruh kegiatan administrasi dan pengelolaan tenaga kerja dapat berjalan secara tertib dan efisien.

2. Direktorat Keuangan dan Pemasaran

Direktorat ini memiliki tanggung jawab dalam mengelola keuangan perusahaan serta merancang strategi pemasaran produk yang dihasilkan. Kegiatan yang dilakukan meliputi penyusunan anggaran perusahaan, pengelolaan pendapatan dan pengeluaran, serta pelaksanaan kegiatan pemasaran guna memperluas jaringan distribusi produk perusahaan.

3. Direktorat Teknik dan Produksi

Direktorat ini bertanggung jawab terhadap seluruh kegiatan teknis operasional pabrik, termasuk pengelolaan proses produksi, pemeliharaan peralatan, penyediaan utilitas, serta pengendalian

mutu produk. Direktorat ini juga memastikan bahwa kegiatan produksi dapat berlangsung secara efisien, aman, dan berkelanjutan.

d. Bagian

Bagian merupakan unit kerja dalam struktur organisasi perusahaan yang bertugas mengelola, mengoordinasikan, serta mengawasi pelaksanaan kegiatan operasional sesuai dengan bidang tanggung jawabnya masing-masing. Setiap bagian dipimpin oleh seorang kepala bagian yang bertanggung jawab kepada direktorat yang menaunginya. Pembagian bagian ini bertujuan untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi dalam pelaksanaan kegiatan perusahaan. Adapun uraian tugas masing-masing bagian adalah sebagai berikut:

1. Bagian Administrasi dan Sumber Daya Manusia

Bertanggung jawab dalam mengelola kegiatan administrasi perusahaan serta pengelolaan sumber daya manusia, termasuk kegiatan kesekretariatan, pengarsipan dokumen, serta pengembangan dan pembinaan karyawan.

2. Bagian Kesehatan, Keselamatan Kerja, dan Lingkungan (K3L)

Menangani program kesehatan dan keselamatan kerja bagi seluruh karyawan serta mengelola upaya perlindungan dan pengelolaan lingkungan perusahaan.

3. Bagian Umum dan Keamanan

Bertugas mengelola fasilitas umum perusahaan serta menjaga keamanan lingkungan dan aset perusahaan.

4. Bagian Keuangan

Bertanggung jawab dalam mengelola administrasi keuangan perusahaan, termasuk pencatatan transaksi, penyusunan laporan keuangan, serta pengelolaan pengadaan barang.

5. Bagian Pemasaran

Melaksanakan kegiatan pemasaran dan distribusi produk perusahaan guna memperluas jaringan pasar dan meningkatkan penjualan.

6. Bagian Proses dan Utilitas

Mengawasi jalannya proses produksi serta memastikan ketersediaan utilitas yang diperlukan untuk menunjang kegiatan operasional pabrik.

7. Bagian Pemeliharaan, Listrik, dan Instrumentasi

Bertanggung jawab dalam kegiatan pemeliharaan peralatan, sistem kelistrikan, serta instrumentasi untuk menjamin kelancaran proses produksi.

8. Bagian Penelitian, Pengembangan, dan Pengendalian Mutu

Melaksanakan kegiatan penelitian dan pengembangan serta melakukan pengendalian mutu terhadap bahan baku dan produk agar sesuai dengan standar yang telah ditetapkan.

e. Seksi

Seksi merupakan unit kerja terkecil dalam struktur organisasi perusahaan yang bertugas melaksanakan kegiatan operasional sesuai dengan rencana kerja yang telah ditetapkan oleh kepala bagian. Setiap seksi berada di bawah koordinasi bagian yang menaunginya dan bertanggung jawab atas pelaksanaan pekerjaan teknis di lapangan. Adapun seksi-seksi dalam perusahaan adalah sebagai berikut:

1. Seksi Personalia

Melaksanakan kegiatan administrasi kepegawaian serta pengembangan sumber daya manusia.

2. Seksi Tata Usaha

Mengelola kegiatan administrasi, kesekretariatan, perencanaan, pelaporan, serta pengelolaan perlengkapan perusahaan.

3. Seksi Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3)

Menangani program kesehatan karyawan serta keselamatan kerja di lingkungan perusahaan.

4. Seksi Unit Pengolahan Limbah

Melaksanakan pengolahan limbah produksi guna menjaga kelestarian lingkungan.

5. Seksi Hubungan Masyarakat

Mengelola hubungan perusahaan dengan pemerintah, masyarakat, dan mitra industri.

6. Seksi Keamanan

Bertanggung jawab terhadap kegiatan pengamanan di lingkungan perusahaan.

7. Seksi Proses

Mengawasi jalannya proses produksi agar sesuai dengan standar operasional pabrik.

8. Seksi Utilitas

Menyediakan kebutuhan utilitas seperti air, uap, bahan bakar, dan udara tekan untuk menunjang produksi.

9. Seksi Pemeliharaan dan Bengkel

Melaksanakan kegiatan perawatan dan perbaikan peralatan produksi.

10. Seksi Listrik dan Instrumentasi

Menjamin ketersediaan tenaga listrik serta keandalan sistem instrumentasi proses.

11. Seksi Laboratorium dan Pengendalian Mutu

Melakukan pengujian dan pengawasan mutu bahan baku maupun produk.

12. Seksi Penelitian dan Pengembangan

Melaksanakan kegiatan penelitian dan inovasi untuk meningkatkan kualitas dan efisiensi produksi.

f. Staf Ahli

Staf Ahli merupakan tenaga profesional yang memiliki keahlian khusus dan bertugas memberikan saran, pertimbangan, serta

rekomendasi kepada jajaran direksi, khususnya Direktur Utama, dalam pengambilan keputusan yang berkaitan dengan kegiatan operasional perusahaan. Staf Ahli bertanggung jawab langsung kepada Direktur Utama dan berperan membantu dalam berbagai bidang seperti teknis, keuangan, pemasaran, sumber daya manusia, serta urusan umum.

Adapun tugas dan wewenang Staf Ahli antara lain sebagai berikut:

1. Memberikan masukan dan pertimbangan dalam perencanaan serta pengembangan perusahaan.
2. Memberikan saran dalam upaya penyempurnaan proses produksi dan peningkatan efektivitas sistem operasional pabrik.
3. Mendukung peningkatan efisiensi kerja di berbagai bagian perusahaan guna mencapai produktivitas yang optimal.

4.4.4 Pembagian Jam Kerja Karyawan

Pabrik bioavtur dari minyak jelantah direncanakan beroperasi secara kontinu selama 24 jam setiap hari. Jumlah hari operasi dalam satu tahun ditetapkan sebanyak 330 hari, sedangkan sisa hari lainnya dimanfaatkan untuk kegiatan perawatan dan perbaikan peralatan pabrik. Adapun ketentuan hari kerja karyawan adalah sebagai berikut:

1. Jadwal Kerja *Non-Shift*

Karyawan non-shift merupakan karyawan yang tidak terlibat secara langsung dalam kegiatan proses produksi, seperti bagian administrasi, gudang, dan bagian lainnya yang bersifat perkantoran.

Karyawan non-shift bekerja selama 5 hari dalam satu minggu dengan total waktu kerja 40 jam per minggu, sedangkan hari Sabtu, Minggu, dan hari libur nasional ditetapkan sebagai hari libur.

Karyawan yang termasuk dalam kelompok non-shift antara lain Direktur Utama, sekretaris, Direktur Teknik dan Produksi, Direktur Administrasi, Keuangan dan Umum, kepala bagian, serta staf yang bekerja di lingkungan perkantoran. Adapun rincian jam kerja karyawan *non-shift* adalah sebagai berikut:

Tabel 4.2 Jam Kerja Karyawa *non-shift*

Hari	Jam Kerja	Jam Istirahat
Senin - Kamis	07.00 – 16.00	12.00 -13.00
Jum'at	07.00 – 16.00	12.00 -13.00

2. Jadwal *Shift*

Karyawan shift merupakan karyawan yang secara langsung terlibat dalam kegiatan proses produksi atau bertanggung jawab pada unit-unit pabrik yang berkaitan dengan keamanan serta kelancaran operasional produksi. Sistem kerja shift diterapkan untuk memastikan bahwa kegiatan produksi dapat berlangsung secara terus-menerus selama 24 jam.

Bagi karyawan shift, setelah menjalani 6 hari kerja, karyawan akan memperoleh 2 hari libur dengan sistem pergantian waktu kerja secara bergilir. Pembagian kerja dilakukan dalam 3 shift setiap hari, dimana masing-masing shift memiliki waktu kerja selama 8 jam.

Untuk mendukung sistem tersebut, karyawan shift dibagi menjadi 4 kelompok kerja. Setiap harinya 3 kelompok bertugas menjalankan kegiatan produksi, sedangkan 1 kelompok lainnya menjalani waktu istirahat atau libur. Dengan sistem ini, kegiatan operasional pabrik dapat berjalan secara berkelanjutan tanpa mengganggu keseimbangan waktu kerja dan istirahat karyawan.

Adapun pengaturan jam kerja karyawan *shift* adalah sebagai berikut:

Tabel 4.3 Jam Kerja Karyawan Shift

Kelompok Kerja	Jam Kerja	Jam Istirahat
Shift 1	07.00 – 15.00	11.00 – 12.00
Shift 2	07.00 – 23.00	19.00 – 20.00
Shift 3	23.00 – 07.00	03.00 – 04.00

Setelah menjalani dua hari kerja pada Shift 2, dilanjutkan dua hari pada Shift 3, dan dua hari pada Shift 1, karyawan shift akan memperoleh waktu libur selama dua hari. Selama menjalankan tugas pada setiap shift, karyawan diberikan waktu istirahat selama 1 jam yang dilakukan secara bergantian agar kegiatan operasional pabrik tetap berjalan dengan lancar.

Apabila di luar jam kerja yang telah ditetapkan karyawan masih diperlukan untuk melaksanakan pekerjaan, maka kelebihan waktu kerja

tersebut akan dihitung sebagai kerja lembur (*overtime*) dengan ketentuan perhitungan upah lembur yang berlaku di perusahaan.

Pada hari libur nasional, karyawan yang bekerja di bagian kantor (*non-shift*) tidak melaksanakan kegiatan kerja. Sementara itu, karyawan yang bertugas di bagian pabrik tetap menjalankan pekerjaan sesuai dengan jadwal shift yang telah ditetapkan, dengan perhitungan waktu kerja tersebut sebagai lembur.

Setiap shift dipimpin oleh seorang kepala shift yang bertanggung jawab terhadap kelancaran kegiatan operasional selama periode kerja tersebut. Adapun jadwal kerja masing-masing kelompok karyawan ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4.4 Jadwal Kerja Kelompok Karyawan

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

Keterangan :

P : Shift 1

S : Shift 2

M : *Shift 3*

L : Libur

4.4.5 Jumlah Karyawan dan Sistem Gaji

Jumlah tenaga kerja disesuaikan dengan agar pekerjaan dapat diselesaikan secara efektif.

Tabel 4.5 Jumlah Karyawan dan Sistem Gaji

No	Jabatan	Jumlah	Gaji	Gaji	Gaji
			(/orang/bulan)	(/bulan)	(/tahun)
1	Dewan Komisaris	1	Rp32.369.763,40	Rp32.369.763,40	Rp388.437.160,80
2	Direktur Utama	1	Rp27.745.511,49	Rp27.745.511,49	Rp332.946.137,83
3	Direktur Teknik dan Produksi	1	Rp27.745.511,49	Rp27.745.511,49	Rp332.946.137,83
4	Direktur Keuangan dan Pemasaran	1	Rp27.745.511,49	Rp27.745.511,49	Rp332.946.137,83
5	Direktur Sumber Daya Manusia dan Umum	1	Rp27.745.511,49	Rp27.745.511,49	Rp332.946.137,83
6	Ka. Bag. Proses dan Utilitas	1	Rp16.184.881,70	Rp16.184.881,70	Rp194.218.580,40
7	Ka. Bag. Pemeliharaan, Listrik dan Instrumentasi	1	Rp16.184.881,70	Rp16.184.881,70	Rp194.218.580,40
8	Ka. Bag. Penelitian, Pengembangan dan Pengendalian Mutu	1	Rp16.184.881,70	Rp16.184.881,70	Rp194.218.580,40
9	Ka. Bag. Keuangan	1	Rp16.184.881,70	Rp16.184.881,70	Rp194.218.580,40
10	Ka. Bag. Pemasaran	1	Rp16.184.881,70	Rp16.184.881,70	Rp194.218.580,40
11	Ka. Bag. Kesehatan, Keselamatan Kerja dan Lingkungan	1	Rp16.184.881,70	Rp16.184.881,70	Rp194.218.580,40
12	Ka. Bag. Administrasi dan SDM	1	Rp16.184.881,70	Rp16.184.881,70	Rp194.218.580,40
13	Ka. Bag. Umum dan Keamanan	1	Rp16.184.881,70	Rp16.184.881,70	Rp194.218.580,40
14	Ka. Sek. Proses	1	Rp11.560.629,79	Rp11.560.629,79	Rp138.727.557,43
15	Ka. Sek. Utilitas	1	Rp11.560.629,79	Rp11.560.629,79	Rp138.727.557,43
16	Ka. Sek. Pemeliharaan dan Bengkel	1	Rp11.560.629,79	Rp11.560.629,79	Rp138.727.557,43

17	Ka. Sek. Listrik dan Instrumentasi	1	Rp11.560.629,79	Rp11.560.629,79	Rp138.727.557,43
18	Ka. Sek. Penelitian dan Pengembangan	1	Rp11.560.629,79	Rp11.560.629,79	Rp138.727.557,43
19	Ka. Sek. Laboratorium dan Pengendalian Mutu	1	Rp11.560.629,79	Rp11.560.629,79	Rp138.727.557,43
20	Ka. Sek. Kesehatan dan Keselamatan Kerja	1	Rp11.560.629,79	Rp11.560.629,79	Rp138.727.557,43
21	Ka. Sek. Unit Pengolahan Limbah	1	Rp11.560.629,79	Rp11.560.629,79	Rp138.727.557,43
22	Ka. Sek. Tata Usaha	1	Rp11.560.629,79	Rp11.560.629,79	Rp138.727.557,43
23	Ka. Sek. Personalia	1	Rp11.560.629,79	Rp11.560.629,79	Rp138.727.557,43
24	Ka. Sek. Hubungan Masyarakat	1	Rp11.560.629,79	Rp11.560.629,79	Rp138.727.557,43
25	Ka. Sek. Bahan Baku dan Produk	1	Rp11.560.629,79	Rp11.560.629,79	Rp138.727.557,43
26	Ka. Sek. Keamanan	1	Rp11.560.629,79	Rp11.560.629,79	Rp138.727.557,43
27	Kepala Seksi Pendataan Audit	1	Rp11.560.629,79	Rp11.560.629,79	Rp138.727.557,43
28	Kepala Seksi Perencanaan Keuangan	1	Rp11.560.629,79	Rp11.560.629,79	Rp138.727.557,43
29	Kepala Seksi Pengendalian Keuangan	1	Rp11.560.629,79	Rp11.560.629,79	Rp138.727.557,43
30	Kepala Seksi Pengadaan Bahan Baku	1	Rp11.560.629,79	Rp11.560.629,79	Rp138.727.557,43
31	Kepala Seksi Pengadaan Bahan Pendukung	1	Rp11.560.629,79	Rp11.560.629,79	Rp138.727.557,43
32	Kepala Seksi Akuntansi	1	Rp11.560.629,79	Rp11.560.629,79	Rp138.727.557,43
33	Operator Produksi	28	Rp6.936.377,87	Rp194.218.580,40	Rp2.330.622.964,80
34	Operator Utilitas	60	Rp6.936.377,87	Rp416.182.672,29	Rp4.994.192.067,43
35	Operator DCS	2	Rp10.173.354,21	Rp20.346.708,42	Rp244.160.501,07
36	Engineer Proses	4	Rp10.173.354,21	Rp40.693.416,85	Rp488.321.002,15
37	Engineer Mekanikal/Elektrikal	3	Rp10.173.354,21	Rp30.520.062,63	Rp366.240.751,61
38	Analisis Laboratorium	3	Rp10.173.354,21	Rp30.520.062,63	Rp366.240.751,61

39	HSE Officer	2	Rp10.173.354,21	Rp20.346.708,42	Rp244.160.501,07
40	IT Support	2	Rp10.173.354,21	Rp20.346.708,42	Rp244.160.501,07
41	Karyawan Proses	10	Rp6.936.377,87	Rp69.363.778,71	Rp832.365.344,57
42	Karyawan Utilitas	5	Rp6.936.377,87	Rp34.681.889,36	Rp416.182.672,29
43	Karyawan Pemeliharaan	6	Rp6.936.377,87	Rp41.618.267,23	Rp499.419.206,74
44	Karyawan Laboratorium	6	Rp6.936.377,87	Rp41.618.267,23	Rp499.419.206,74
45	Karyawan Administrasi	6	Rp6.936.377,87	Rp41.618.267,23	Rp499.419.206,74
46	Cleaning Service	10	Rp5.549.102,30	Rp55.491.022,97	Rp665.892.275,66
47	Security	8	Rp5.549.102,30	Rp44.392.818,38	Rp532.713.820,53
48	Sopir	8	Rp5.549.102,30	Rp44.392.818,38	Rp532.713.820,53
49	Perawat	5	Rp5.549.102,30	Rp27.745.511,49	Rp332.946.137,83
Total		200	Rp624.274.008,43	Rp1.666.580.389,91	Rp19.998.964.678,90

4.4.6 Fasilitas dan Hak Karyawan

1. Hak Cuti

a. Cuti Tahunan

Setiap karyawan perusahaan berhak memperoleh cuti tahunan selama 12 hari dalam satu tahun. Apabila hak cuti tersebut tidak digunakan dalam periode satu tahun, maka hak cuti tersebut tidak dapat digunakan pada tahun berikutnya.

b. Cuti Massal

Perusahaan memberikan cuti massal kepada seluruh karyawan setiap tahun yang bertepatan dengan Hari Raya Idul Fitri selama 4 hari kerja.

c. Cuti Melahirkan

Karyawan wanita yang akan melahirkan berhak memperoleh cuti melahirkan selama 3 bulan sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

2. Hak Hari Libur Nasional

Bagi karyawan non-shift, hari libur nasional merupakan hari tidak bekerja. Sementara itu, karyawan shift tetap menjalankan tugasnya sesuai jadwal kerja yang telah ditetapkan, dengan ketentuan bahwa waktu kerja pada hari tersebut dihitung sebagai kerja lembur (*overtime*).

3. Kerja Lembur (*Overtime*)

Kerja lembur dapat dilakukan apabila terdapat pekerjaan yang bersifat mendesak dan memerlukan penyelesaian segera, serta harus mendapatkan persetujuan dari kepala bagian yang bersangkutan.

4. Poliklinik

Berdasarkan Peraturan Menteri Tenaga Kerja Nomor 03/Men/1980 tentang Pemeriksaan Kesehatan Kerja dalam Penyelenggaraan Keselamatan Kerja, perusahaan menyediakan fasilitas pelayanan kesehatan bagi karyawan. Salah satu fungsi utama fasilitas kesehatan perusahaan adalah menangani kondisi darurat yang terjadi di lingkungan kerja. Selain itu, pemeliharaan kesehatan karyawan merupakan faktor penting dalam menunjang efisiensi dan produktivitas kerja. Oleh karena itu, perusahaan menyediakan klinik kesehatan yang dilengkapi dengan tenaga medis berupa dokter dan perawat.

5. Pakaian Kerja

Perusahaan menyediakan pakaian kerja bagi setiap karyawan sebanyak tiga pasang setiap tahun untuk menunjang kenyamanan dan keselamatan kerja.

6. Tunjangan Hari Raya

Perusahaan memberikan Tunjangan Hari Raya kepada karyawan setiap tahun menjelang Hari Raya Idul Fitri dengan besaran tunjangan sebesar satu bulan gaji.

7. Jamsostek

Perusahaan memberikan fasilitas jaminan sosial tenaga kerja (Jamsostek) yang mencakup perlindungan terhadap risiko kecelakaan kerja dan jaminan keselamatan kerja, sehingga karyawan memperoleh rasa aman selama menjalankan tugasnya.

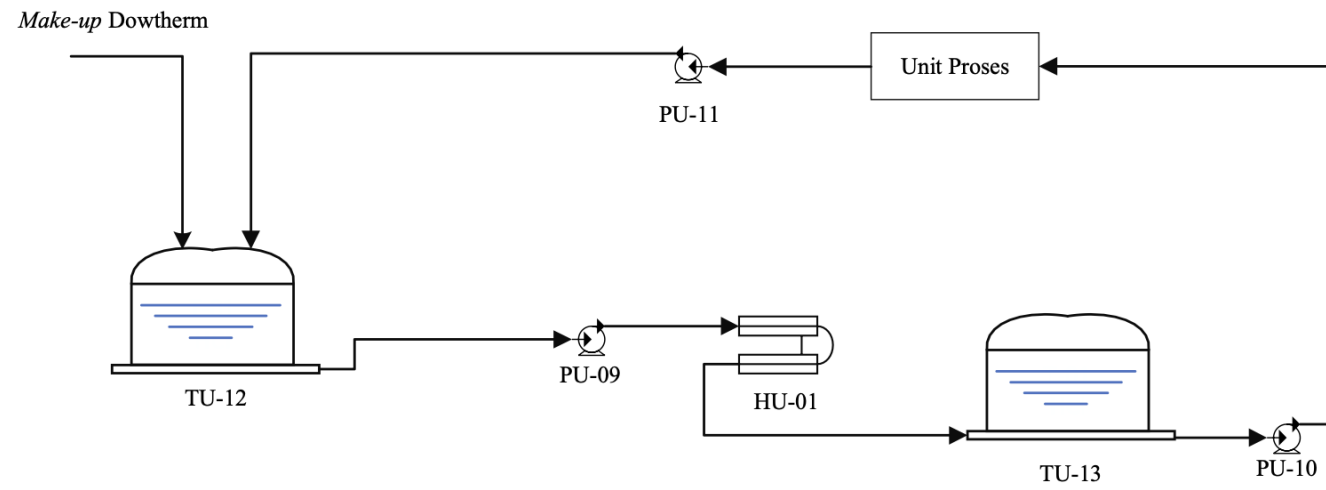
BAB V

UTILITAS

Unit utilitas merupakan sistem pendukung dalam suatu insudstri yang menyediakan berbagai kebutuhan operasional yang tidak secara langsung menjadi produk utama. Sistem utilitas memastikan bahwa seluruh proses produksi dapat berlangsung secara stabil, aman dan efisien. Tanpa adanya sistem utilitas yang dirancang dan dioperasikan dengan baik, proses produksi akan mudah mengalami gangguan bahkan berpotensi terhenti. Pada pabrik bioavtur dari minyak jelantah, utilitas berfungsi untuk menyediakan media perpindahan panas, energi Listrik, udara tekan, air proses, serta fasilitas penunjang lainnya yang diperlukan oleh alat proses. Beberapa unit utilitas utama yang dibutuhkan pabrik antara lain:

- a. Unit Penyediaan dan Pengolahan Air (*Water Treatment System*)
- b. Unit Pembangkit *Steam* (*Steam Generation System*)
- c. Unit Pembangkit Listrik (*Power Plant System*)
- d. Unit Penyedia Udara Tekan (*Instrument Air System*)
- e. Unit Penyediaan Bahan Bakar
- f. Unit Pengolahan *Dowtherm A*
- g. Unit Pengolahan Limbah

Gambar 5.1 Diagram Alir Pengolahan Air



Gambar 5.2 Diagram Alir Pengolahan *Dowtherm A*

Keterangan :

BU : Bak Utilitas

B : Boiler

TU : Tangki Utilitas

FL : Flokulator

FU : Filter

KL : *Clarifer*

CT : *Cooling Tower*

DU : Daerator

KU : Kompresor Utilitas

PU : Pompa Utilitas

HU : *Heater* Utilitas

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

5.1.1 Unit Penyediaan Air

Air Merupakan salah satu utilitas utama yang sangat dibutuhkan dalam operasi pabrik bioavtur. Air digunakan untuk berbagai kebutuhan seperti air domestic, air *service*, air proses, air pendingin dan juga air umpan boiler atau *steam*.

Sumber air yang digunakan dalam pabrik umumnya berasal dari air sungai, sumber air tanah, air danau dan juga air laut. Dalam perancangan pabrik bioavtur ini, sumber air yang dipilih Adalah air Sungai tepatnya

berlokasi di sungai Cipunagara, Desa Patimban, Kecamatan Pusakanagara, Kabupaten Subang. Air Sungai dipilih sebagai sumber air karena:

- a. Air Sungai umumnya tersedia dalam jumlah besar dan dapat dimanfaatkan secara kontinu sehingga mampu memenuhi kebutuhan air pabrik dalam jangka waktu yang Panjang
- b. Air Sungai relatif mudah untuk diambil dan dialirkan menuju unit pengolahan air.
- c. Air Sungai membutuhkan biaya pengolahan yang lebih ekonomis dibandingkan dengan air lain nya.
- d. Kualitas air Sungai masih memungkinkan untuk diolah dengan metode pengolahan air konvensional seperti koagulasi, sedimentasi dan filtrasi.

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

1. Air Domestik

Untuk suatu pabrik atau kantor, kebutuhan air untuk satu orang diperkirakan sekitar 100 liter per hari (Sularso & Tahara, 2001). Jumlah karyawan pada pabrik ini sebanyak 200 orang, sehingga total kebutuhan air domestik sebesar 51858,95505 kg/hari.

2. Air Service

Perkiraan air *service* dipergunakan untuk layanan umum seperti bengkel, poliklinik, laboratorium, pemadam kebakaran, kantin, masjid, kebun dan lain-lain sebesar 621,5 kg/jam.

3. Air Pendingin

Air Pendingin digunakan untuk peralatan yang membutuhkan penurunan suhu. Kebutuhan air pendingin pada pabrik ini sebagai berikut:

Tabel 5.1 Kebutuhan Air Pendingin

Nama Alat	Kebutuhan Air (kg/jam)
<i>Cooler-01</i>	50000
<i>Cooler-02</i>	50000
<i>Cooler-03</i>	50000
Total	150000

Perancangan dibuat *over design* sebesar 10% sehingga menjadi 165000 kg/jam. Pada saat proses berlangsung, air pendingin mengalami *blowdown* sehingga diperlukan adanya air *make-up*. Air *make-up* yang diperlukan setelah dilakukan perhitungan sebesar 1753,1250 kg/jam.

4. Air Umpan Boiler pemanas (*steam*)

Steam merupakan komoditas yang paling banyak digunakan untuk membawa energi panas. Hal yang harus diperhatikan dalam pengolahan *Steam* adalah hal-hal yang dapat menyebabkan korosi. Korosi yang terjadi di dalam *boiler* disebabkan oleh kandungan larutan asam dalam air, gas-gas terlarut dan juga zat-zat yang menyebabkan kesadahan pada air. Kebutuhan *steam* pada pabrik bioavtur ini sebagai berikut:

Tabel 5.2 Kebutuhan Air Umpan Boiler Steam

Nama Alat	Kebutuhan Air (kg/jam)
Heater-01	5000

Total	5000
-------	------

Perancangan dibuat *over design* sebesar sehingga menjadi 5500 kg/jam. Pada saat proses berlangsung, dikarenakan terjadinya *blowdown* pada *boiler* sebesar 15% dan penggunaan *steam trap* sebesar 5% sehingga dibutuhkan air *make-up*, Air *make-up* yang diperlukan setelah dilakukan perhitungan sebesar 1100 kg/jam.

5.1.2 Unit Pengolahan Air

Pengolahan air sungai sebagai sumber air baku pabrik melibatkan serangkaian unit proses fisik, kimia, dan biologis untuk menghasilkan air proses, sanitasi, dan umpan boiler yang memenuhi standar. Beberapa tahapan dalam pengolahan air sungai yaitu:

1. Penghisapan

Penghisapan atau intake merupakan penyadap air baku dari sungai menuju filter, Proses ini memastikan aliran kontinu dengan mempertimbangkan debit sungai dan menghindari sedimentasi berlebih, air sungai di hisap menggunakan pompa untuk mengalirkan air ke penyaringan untuk menghilangkan partikel kotoran yang cukup besar yang selanjutnya ditampung dalam bak penampungan sementara

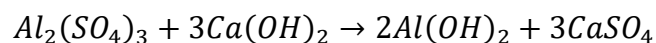
2. *Screening*

Screening awal menggunakan saringan kasar untuk menahan kotoran besar seperti ranting, daun, kayu, dan sampah

sebelum air masuk bak pengendap tanpa bantuan bahan kimia, mencegah penyumbatan peralatan. Saringan perlu di pasangkan pada sisi hisap pompa dan dibersihkan secara manual atau otomatis untuk menjaga efisiensi aliran.

3. Penggumpalan

Koagulasi adalah proses penambahan bahan kimia yang disebut koagulan ke dalam air untuk membentuk mikroflok atau gumpalan yang lebih besar dari koloid. Flokulasi adalah proses pembentukan makroflok yang lebih besar dari partikel-partikel yang telah dikoagulasi. Penggumpalan dilakukan di bak penggumpal dengan menambahkan koagulan seperti tawas ($Al_2(SO_4)_3$) untuk menggumpalkan koloid tersuspensi menjadi flok yang lebih besar. Agar proses flokulasi berjalan secara efektif, digunakan $Ca(OH)_2$ yang berfungsi untuk meningkatkan alkalinitas dan pH, serta mengurangi kesadahan karbonat dalam air sehingga dapat mempermudah penggumpalan (Wicaksana *et al.*, 2024). Reaksi utama:



4. Pengendapan

Pengendapan terjadi di dalam bak pengendapan setelah proses *koagulasi-flokulasi*, di mana flok mengendap secara gravitasi sementara air jernih keluar *overflow*, *sludge* dibuang berkala (*blow down*).

5. *Sand Filter*

Sand filter menyaring partikel halus yang lolos pada bak pengendapan seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{2+} dan lain-lain menggunakan media resin di *backwash* secara berkala untuk menghilangkan kotoran terperangkap.

6. Penampungan Sementara

Air yang telah melewati proses filtrasi dapat dikategorikan sebagai air bersih dan selanjutnya ditampung terlebih dahulu di dalam bak penampungan sementara. Air yang telah ditampung tersebut kemudian dialirkan untuk memenuhi berbagai kebutuhan di dalam pabrik, antara lain, air domestik air *service*, air proses, air pendinginan dan *steam*.

7. Klorinasi

Klorinasi dilakukan di tangki khusus dengan penambahan Cl_2 atau *hipoklorit* untuk desinfeksi, membunuh bakteri patogen. Proses ini memastikan air aman untuk sanitasi dan minum, dengan residual klor untuk pencegahan kontaminasi sekunder.

8. Demineralisasi

Tujuan dari proses demineralisasi untuk menghilangkan ion yang masih terkandung pada air yang sudah terfilter untuk umpan *boiler*. Demineralisasi menggunakan ion *exchange*, kation exchanger mengganti kation (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+}) dengan H^{+} , diikuti anion exchanger untuk anion (Cl^{-} , SO_4^{2-} , CO_3^{2-}) ion-ion tersebut

harus dipisahkan karna bersifat basa ketika dipanaskan yang akan berpotensi membentuk gas CO_2 yang bisa menurunkan performa *boiler* dan alat proses lainnya. Ion-ion tersebut akan ditangkap oleh resin *hydrogen-zeolite*. Resin ini memiliki kapasitas untuk menangkap ion-ion tersebut sehingga ketika resin sudah tidak mampu menangkap ion diperlukan reaksi regenerasi. Reaksi regenerasi: NaCl untuk kation dan NaOH untuk anion. Air keluaran *anion exchanger* menghasilkan air bebas mineral untuk air proses, tetapi untuk umpan boiler perlu dilakukan proses lebih lanjut.

9. Deaerasi

Air keluaran demineralisasi yang akan digunakan sebagai air umpan *boiler* perlu dilakukan tahap deaerasi untuk menghilangkan gas-gas terlarut, terutama gas O_2 dan CO_2 yang bersifat korosif pada *boiler* yang dapat berpotensi menyebabkan peledakan karena ekspansi tekanan yang tidak sesuai dengan desain. Penghilangan gas-gas tersebut dilakukan dengan injeksi hidrazin (N_2H_4) yang akan mengikat O_2 dan gas lain. Setelah gas-gas impuritis dihilangkan air dapat diumpankan sebagai air umpan *boiler*; Di dalam *boiler* terjadi proses pemanasan air hingga berubah menjadi uap (*steam*). Selama proses operasi, padatan tersuspensi yang terdapat dalam air dapat terakumulasi di dalam *boiler*. Untuk menjaga konsentrasi padatan tersebut agar

tidak terlalu tinggi, dilakukan proses *blowdown* secara berkala dengan cara mengeluarkan sebagian air dari *boiler*. Air yang dikeluarkan melalui proses ini akan digantikan dengan *make-up water*, sehingga jumlah air di dalam sistem tetap mencukupi untuk memenuhi kebutuhan proses.

5.2 Unit Pembangkit Steam (Steam Generation System)

Unit ini berfungsi untuk memenuhi kebutuhan *steam* pada proses produksi bioavtur dengan menyediakan ketel uap (*boiler*) yang memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Kapasitas: 11433,373 kg/jam

Jenis: *Water tube boiler*

Jumlah: 1 unit

Boiler tersebut dilengkapi dengan *economizer safety valve*, serta sistem pengaman otomatis yang berfungsi untuk menjaga keamanan dan kestabilan operasi. Air yang berasal dari unit *water treatment* dan akan digunakan sebagai umpan *boiler* terlebih dahulu dikondisikan di dalam *boiler feed water tank* dengan cara mengatur kandungan silika, oksigen (O_2), kalsium (Ca), dan magnesium (Mg) yang mungkin masih terbawa. Pengaturan ini dilakukan dengan penambahan bahan kimia tertentu agar kualitas air sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan. Selain itu, nilai pH air juga diatur pada kisaran 10,5–11,5 untuk mencegah terjadinya korosi yang dapat merusak peralatan. Sebelum dialirkan ke *boiler*, air umpan terlebih dahulu melewati *economizer*, yaitu alat penukar panas yang memanfaatkan panas dari gas sisa pembakaran yang keluar dari *boiler*. Pada alat ini temperatur air

dinaikkan hingga sekitar 150 °C sebelum kemudian dialirkan ke dalam *boiler*. Di dalam *boiler*, panas dihasilkan dari proses pembakaran pada *burner* yang memanaskan pipa-pipa pada sistem *boiler*. Gas hasil pembakaran tersebut selanjutnya dialirkan menuju *economizer* sebelum akhirnya dilepaskan melalui cerobong asap. Proses pemanasan ini menyebabkan air di dalam *boiler* menyerap panas dari dinding dan pipa-pipa pemanas sehingga air mendidih dan menghasilkan uap. Uap air yang terbentuk akan terkumpul hingga mencapai tekanan sekitar 10 bar, kemudian dialirkan menuju *steam header* untuk selanjutnya didistribusikan ke berbagai unit proses yang membutuhkan steam dalam proses produksi bioavtur.

5.3 Unit Pembangkit Listrik (*Power Plant System*)

Kebutuhan energi listrik pada pabrik bioavtur dipenuhi melalui pasokan dari PLN sebagai sumber utama. Namun, untuk mengantisipasi kemungkinan terjadinya gangguan pada pasokan listrik dari PLN, pabrik juga dilengkapi dengan generator cadangan yang menggunakan bahan bakar solar. Generator ini berfungsi menghasilkan energi listrik melalui perputaran poros engkol yang digerakkan oleh energi panas dari proses pembakaran solar. Dengan adanya sistem generator tersebut, kontinuitas dan kestabilan suplai listrik di dalam pabrik dapat tetap terjaga meskipun terjadi gangguan pada distribusi listrik dari PLN. Berikut merupakan rincian untuk kebutuhan Listrik pabrik bioavtur sebagai berikut:

1. Kebutuhan listrik alat proses

Tabel 5.3 Kebutuhan Listrik Alat Proses

No	Jenis Alat	Kode Alat	Hp	kW
1	Pompa 1	P-01	65,94	49,169
2	Pompa 2	P-02	1,40	1,046

3	Compresor 1	C-01	261	195,128
4	Compresor 2	C-02	185	138,147
5	Compresor 3	C-03	180	134,764
Total			694,989	518,253

2. Kebutuhan listrik unit utilitas

Tabel 5.4 Kebutuhan Listrik Unit Utilitas

No	Jenis Alat	Kode Alat	Hp	kW
1	Kompresor	CU-01	15	11,186
2	Cooling Tower Fan	T-01	100	74,570
3	Flokulator	M-01	0,5	0,373
4	Clarifier	M-02	0,5	0,373
5	Tangki NaOH	M-03	0,17	0,124
6	Tangki NaCl	M-04	1,50	1,119
7	Pompa 1	PU-01	15	11,186
8	Pompa 2	PU-02	25	18,643
9	Pompa 3	PU-03	2	1,491
10	Pompa 4	PU-04	7,5	5,593
11	Pompa 5	PU-05	5	3,729
12	Pompa 6	PU-06	20	14,914
13	Pompa 7	PU-07	1,5	1,119
14	Pompa 8	PU-08	1,5	1,119
15	Pompa 9	PU-09	10	7,457
16	Pompa 10	PU-10	7,5	5,593
17	Pompa 11	PU-11	10	7,457
Total			195,167	145,536

Sehingga kebutuhan total Listrik unit proses dan unit utilitas sebesar 663,789 kW dan untuk keamanan diberikan *over design* sebesar 10% sehingga menjadi 730,168 kW.

3. Kebutuhan listrik untuk penerangan

Power yang dibutuhkan untuk penerangan diperkirakan sebesar 15% dari total kebutuhan Listrik untuk menggerakkan motor, sehingga kebutuhan power sebesar 109,525 kW.

4. Kebutuhan listrik alat control

Power yang dibutuhkan untuk alat kontrol diperkirakan sebesar 25% dari total kebutuhan listrik untuk menggerakkan motor, sehingga kebutuhan power sebesar 182,541 kW.

5. Kebutuhan listrik untuk peralatan kantor

Power yang dibutuhkan untuk kantor (AC, komputer, dll) diperkirakan sebesar 15% dari total kebutuhan listrik untuk menggerakkan motor, sehingga kebutuhan power sebesar 109,525 kW.

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

Power yang dibutuhkan untuk bengkel, laboratorium, dan lain-lain diperkirakan 15% dari total kebutuhan listrik untuk menggerakkan motor, sehingga kebutuhan power sebesar 109,525 kW.

7. Kebutuhan listrik perumahan

Setiap rumah diperkirakan memerlukan listrik sebesar 1000 watt. Rumah yang akan disaluri listrik dari pabrik berjumlah 45 rumah, sehingga jumlah kebutuhan listrik untuk perumahan sebesar 45 kW.

Tabel 5.5 Total Kebutuhan Listrik Pabrik

Total kebutuhan Listrik pabrik		
No	Keperluan	Kebutuhan (kW)
1	Unit Proses	518,253
2	Unit Utilitas	145,536
3	Alat kontrol	182,541

4	Penerangan	109,525
5	Kantor	109,525
6	Lab, Bengkel, dll	109,525
7	Perumahan	45
Total		1286,285

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

Pada pabrik ini, udara tekan digunakan untuk mengoperasikan berbagai instrumen kontrol yang bekerja secara pneumatik sebagai penggerak sistem pengendalian proses. Tekanan udara instrumen yang digunakan adalah sekitar 7,2 bar, dengan jumlah peralatan kontrol yang membutuhkan udara tekan diperkirakan sebanyak 52 unit. Penyediaan udara tekan dilakukan dengan cara mengompresi udara lingkungan menggunakan kompresor yang dilengkapi dengan filter untuk menyaring kotoran dan partikel yang terbawa, sehingga udara yang dihasilkan mencapai tekanan yang diinginkan sebelum didistribusikan ke peralatan kontrol dan unit proses yang memerlukannya. Total kebutuhan udara instrumen di pabrik ini diperkirakan sebesar 88,358 m³/jam, namun untuk menjamin aspek keamanan, dilakukan *over design* sebesar 20%, sehingga total *over design* udara instrumen ditetapkan sebesar 106,030 m³/jam, Untuk menjaga kualitas udara yang digunakan, udara harus berada dalam kondisi kering, sehingga setelah keluar dari kompresor udara terlebih dahulu dialirkan melalui tangki udara atau bejana pengering yang berisi *silica gel* untuk menghilangkan kandungan uap air sebelum dialirkan ke sistem instrumen di dalam pabrik.

5.5 Unit Penyediaan Bahan Bakar

Unit ini berfungsi untuk menyediakan bahan bakar yang digunakan dalam pengoperasian boiler. Jenis bahan bakar yang digunakan adalah LNG (Liquefied Natural Gas) yang dimanfaatkan sebagai sumber energi untuk menghasilkan panas pada proses pembangkitan steam. LNG digunakan untuk memanaskan air di dalam boiler hingga berubah menjadi uap (steam) yang selanjutnya digunakan dalam berbagai proses di pabrik. Efisiensi penggunaan bahan bakar menjadi faktor penting dalam menjaga kinerja boiler agar tetap optimal serta memastikan kelancaran proses produksi bioavtur. Oleh karena itu, unit penyedia bahan bakar dirancang sedemikian rupa agar mampu menjamin ketersediaan dan kontinuitas pasokan LNG secara stabil sesuai dengan kebutuhan operasional boiler. Bahan bakar yang digunakan adalah LNG sebesar 13382,30358 kg/jam.

5.6 Unit Pengolahan *Dowtherm A*

Unit Sistem sirkulasi *Dowtherm A* pada proses ini terdiri dari rangkaian tertutup yang mengalirkan fluida dari tangki penyimpanan awal (TU-12), melalui pemanas *heat exchanger* (HU-01), menuju tangki penampungan sementara (TU-13), sebelum dialirkan ke unit reaktor dan kemudian kembali lagi ke sistem. *Dowtherm A* yang digunakan adalah senyawa $C_{12}H_{10}$, dengan aliran kebutuhan sistem sebesar 80792,645 kg/jam (sudah termasuk *overdesign* 20%).

Tangki penyimpanan awal (TU-12) dirancang berbentuk silinder tegak dengan volume kerja tangki sebesar 94,105 m³ dan dengan *overdesign* 20%, total volume menjadi 112,927 m³. Tangki ini memiliki diameter dan tinggi masing-masing 5,2397 meter.

Selanjutnya, *Dowtherm* dari tangki ini dipanaskan menggunakan *heat exchanger* bertipe *Double Pipe* dengan media pemanas berupa steam dari unit penyedia steam. Setelah dipanaskan, *Dowtherm* disalurkan ke tangki penampungan sementara (TU-13) yang juga berbentuk silinder tegak dengan volume kerja 96,1377 m³ dan dengan overdesign 20% menjadi total 115,3652 m³. Dimensi diameter dan tinggi tangki masing-masing sebesar 5,2771 meter.

Sistem ini bekerja secara sirkulasi tertutup di mana *Dowtherm* kembali lagi ke tangki awal setelah melalui proses di reaktor. Sistem ini dirancang untuk menjaga kestabilan suhu dan kontinuitas aliran *Dowtherm* sebagai media pemanas proses.

5.7 Unit Pengelolaan Limbah

Pengelolaan limbah yang efektif merupakan salah satu aspek penting dalam upaya meminimalkan dampak lingkungan yang timbul dari kegiatan operasional pabrik bioavtur serta untuk memenuhi ketentuan peraturan yang berlaku. Penerapan strategi pengurangan, pemanfaatan kembali, serta pengolahan limbah secara tepat dapat mendukung keberlanjutan operasional pabrik sekaligus mendorong penerapan praktik industri yang ramah lingkungan. Secara umum, limbah yang dihasilkan dari proses produksi dapat dikelompokkan menjadi dua jenis utama, yaitu:

1. Limbah cair

Limbah cair yang dihasilkan dari pabrik bioavtur berasal dari beberapa sumber, antara lain air buangan domestik, blowdown dari sistem cooling water, serta air hasil backwash filter dan air berminyak yang berasal

dari pompa. Air limbah domestik umumnya berasal dari fasilitas sanitasi seperti toilet yang terdapat di area pabrik maupun perkantoran. Limbah tersebut terlebih dahulu dikumpulkan kemudian diolah pada unit stabilisasi menggunakan proses lumpur aktif yang dilengkapi dengan sistem aerasi dan injeksi gas klorin sebelum dibuang ke lingkungan.

Selain itu, limbah cair yang berasal dari laboratorium juga memerlukan proses pengolahan khusus karena mengandung berbagai senyawa kimia. Pengolahan limbah cair tersebut dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu *physical treatment* seperti proses pengendapan dan penyaringan untuk memisahkan partikel tersuspensi, *chemical treatment* melalui penambahan bahan kimia dan pengaturan pH, serta *biological treatment* untuk menguraikan senyawa organik yang masih terkandung di dalam limbah. Melalui serangkaian proses pengolahan tersebut diharapkan kualitas air limbah yang dihasilkan telah memenuhi standar baku mutu sebelum dibuang ke lingkungan.

2. Limbah padat

Selain limbah cair, pabrik bioavtur juga menghasilkan limbah padat yang berasal dari berbagai aktivitas proses produksi maupun kegiatan penunjang di dalam pabrik. Limbah padat ini dapat berupa sisa proses pengolahan, lumpur hasil pengolahan limbah, maupun residu yang berasal dari unit pengolahan air. Untuk mencegah terjadinya pencemaran lingkungan, limbah padat tersebut harus ditangani dan dikelola dengan baik.

Penanganan limbah padat dilakukan melalui sistem pengelolaan limbah yang dirancang agar aman bagi lingkungan sekitar pabrik. Limbah padat yang masih memiliki potensi pemanfaatan dapat diproses lebih lanjut atau dimanfaatkan kembali, sedangkan limbah yang tidak dapat dimanfaatkan akan ditangani melalui metode pembuangan yang sesuai dengan standar pengelolaan limbah yang berlaku. Dengan demikian, pengelolaan limbah padat diharapkan dapat meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan sekaligus menjaga keberlanjutan operasional pabrik.

5.8 Spesifikasi Unit Utilitas

1. Pompa Utilitas

Tabel 5.6 Spesifikasi Pompa Utilitas

Pompa	PU-01	PU-02	PU-03
Fungsi	Memompa air dari sungai menuju FU-01	Memompa air dari Sungai menuju FL-01	Memompa air keluaran KL-01 menuju FU-02
Jenis	<i>Single Stage Centrifugal Pump</i>	<i>Single Stage Centrifugal Pump</i>	<i>Single Stage Centrifugal Pump</i>
Bahan	<i>Stainless Steel type 316</i>	<i>Stainless Steel type 316</i>	<i>Stainless Steel type 316</i>
Kapasitas, gal/jam	59120,73	59120,73	59120,73
Spesifikasi			
ID, in	10,02	10,02	10,02
OD, in	10,75	10,75	10,75
NPS, in	10	10	10
Flow Area, in ²	78,8	78,8	78,8
Efisiensi Pompa, %	78	78	78
Power Pompa, Hp	10,77	17,58	1,59
Power Motor, Hp	15	25	2

Tabel 5.7 Lanjutan Spesifikasi Pompa Utilitas

Pompa	PU-04	PU-05	PU-06
Fungsi	Memompa air dari FU-02 menuju BU-02	Memompa air dari BU-02 menuju TU-03, CT-01, TU-06	Memompa air keluaran CT-01 menuju alat proses
Jenis	<i>Single Stage Centrifugal Pump</i>	<i>Single Stage Centrifugal Pump</i>	<i>Single Stage Centrifugal Pump</i>
Bahan	<i>Stainless Steel type 316</i>	<i>Stainless Steel type 316</i>	<i>Stainless Steel type 316</i>
Kapasitas, gal/jam	59120,73	59120,73	49452,57
Spesifikasi			
ID, in	10,02	10,02	10,02
OD, in	10,75	10,75	10,75
NPS, in	10	10	10
Flow Area, in ²	78,8	78,8	78,8
Efisiensi Pompa, %	78	78	78
Power Pompa, Hp	5,58	2,92	14,17
Power Motor, Hp	7,5	5	20

Tabel 5.8 Lanjutan Spesifikasi Pompa Utilitas

Pompa	PU-07	PU-08	PU-09
Fungsi	Memompa air dari TU-10 menuju B-01	Memompa air dari B-01 menuju alat proses	Mengalirkan air dari TPU-10 menuju HU-01
Jenis	<i>Single Stage Centrifugal Pump</i>	<i>Single Stage Centrifugal Pump</i>	<i>Single Stage Centrifugal Pump</i>
Bahan	<i>Stainless Steel type 316</i>	<i>Stainless Steel type 316</i>	<i>Stainless Steel type 316</i>
Kapasitas, gal/jam	8853,81	18853,81	31275,11
Spesifikasi			

ID, in	6,065	6,065	7,625
OD, in	6,625	6,625	8,625
NPS, in	6	6	8
Flow Area, in ²	28,9	28,9	45,7
Efisiensi Pompa, %	62	43	43
Power Pompa, Hp	0,80	1,16	7,01
Power Motor, Hp	1,5	1,5	10

Tabel 5.9 Lanjutan Spesifikasi Pompa Utilitas

Pompa	PU-10	PU-11
Fungsi	Mengalirkan air dari TPU-11 menuju Unit proses	Mengalirkan air dari Unit proses menuju TPU-10
Jenis	<i>Single Stage Centrifugal Pump</i>	<i>Single Stage Centrifugal Pump</i>
Bahan	<i>Stainless Steel type 316</i>	<i>Stainless Steel type 316</i>
Kapasitas, gal/jam	32915,75	32915,75
Spesifikasi		
IPS, in	7,625	7,625
Flow Area, in ²	8,625	8,625
OD, in	8	8
ID, in	45,7	45,7
Efisiensi Pompa, %	43	43
Power Pompa, Hp	4,749343393	6,269456939
Power Motor, Hp	7,5	10

2. Tangki Utilitas

Tabel 5.10 Spesifikasi Tangki Utilitas

Tangki	TU-01	TU-02	TU-03
Fungsi	Menyimpan larutan Alum 5% untuk 2 minggu operasi	Menyiapkan dan menyimpan larutan CaOH 5% untuk 1 minggu operasi	Mencampur klorin dalam bentuk kaporit ke dalam air untuk kebutuhan rumah tangga

Jenis	Tangki Silinder	Tangki Silinder	Tangki Silinder Tegak
Bahan	<i>Stainless Steel type 316</i>	<i>Carbon Steel</i>	<i>Stainless Steel type 316</i>
Spesifikasi			
Volume, m ³ ,	19,1806	10,5725	2,3940
Diameter, m	2,3027	1,8884	1,4502
Tinggi, m	4,6055	3,7768	1,4502
Jumlah, unit	1	1	1

Tabel 5.11 Lanjutan Spesifikasi Tangki Utilitas

Tangki	TU-04	TU-05	TU-06
Fungsi	Menampung air untuk keperluan kantor dan rumah tangga	Menampung Air bertekanan untuk keperluan layanan umum	Menghilangkan mineral kation (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+})
Jenis	Tangki Silinder Tegak	Tangki Silinder Tegak	Tangki Silinder Tegak
Bahan	<i>Stainless Steel type 316</i>	<i>Carbon Steel</i>	<i>Stainless Steel type 316</i>
Spesifikasi			
Tinggi, m	4.1830	2.7612	6,96
Diameter, m	4.1830	2.7612	6,33
Volume, m ³	57.4570	16.5261	199,10
Jumlah, unit	1	1	2

Tabel 5.12 Lanjutan Spesifikasi Tangki Utilitas

Tangki	TU-07	TU-08	TU-09
Fungsi	Menghilangkan mineral anion (Cl^{-} , SO_4^{2-} , CO_3^{2-})	Melarutkan NaOH untuk regenerasi penukar anion	Melarutkan NaCl sebagai umpan regenerasi penukar kation

Jenis	Tangki Silinder Tegak	Tangki Silinder Tegak Berpengaduk	Tangki Silinder Tegak Berpengaduk
Bahan	<i>Carbon Steel</i>	<i>Stainless Steel type 316</i>	<i>Stainless Steel type 316</i>
Spesifikasi			
Tinggi, m	4,61	3,6290	3,2489
Diameter, m	4,19	3,2991	2,9535
Volume, m ³	57,92	28,18	20,22
Jenis Impeller	-	Flat blade turbin	Flat blade turbin
Jumlah Impeller	-	6	6
Power Motor, hp	-	0.16	1.5
Jumlah, unit	2	1	1

Tabel 5.13 Lanjutan Spesifikasi Tangki Utilitas

Tangki	TU-10	TU-11	TU-12
Fungsi	Mengumpulkan kondensat	Menghilangkan uap air yang masih terkandung dalam udara	Menampung udara tekan selama 2 jam
Jenis	Tangki Silinder Horizontal	Tangki Silinder Tegak	Tangki Silinder Horizontal
Bahan	<i>Stainless Steel type 316</i>	<i>Stainless Steel type 316</i>	<i>Stainless Steel type 316</i>
Spesifikasi			
Tinggi, m	6,9902	5,5748	-
Panjang, m	-	-	1.79
Diameter, m	3,4951	5,5748	1,173
Volume, m ³	33,51	136,00	1,90
Jumlah, unit	1	1	1

Tabel 5.14 Lanjutan Spesifikasi Tangki Utilitas

Tangki	TU-13	TU-14
--------	-------	-------

Fungsi	Penampungan awal dowtherm A	Penampungan sementara dowtherm A
Jenis	Tangki Silinder Tegak	Tangki Silinder Tegak
Bahan	<i>Stainless Steel type 316</i>	<i>Stainless Steel type 316</i>
Spesifikasi		
Tinggi, m	5,47	5,57
Diameter, m	5,47	5,57
Volume, m ³	129,15	135,92
Jumlah, unit	1	1

3. Bak Utilitas

Tabel 5.15 Spesifikasi Bak Utilitas

Bak	BU-01	BU-02
Fungsi	Mengendapkan kotoran dan lumpur yang terbawa dari air sungai	Menampung sementara raw water setelah disaring di sand filter
Jenis	Bak Persegi	Bak Persegi
Bahan	Beton Bertulang	Beton Bertulang dilapisi porselen
Spesifikasi		
Panjang, m	17,51	7,64
Tinggi, m	8,75	3,82
Lebar, m	17,51	7,64
Volume, m ³	2686,36	223,79
Jumlah, unit	1	1

4. Flokulator

Tabel 5.16 Spesifikasi *Flokulator*

<i>Flokulator</i>	FL-01
--------------------------	-------

Fungsi	Mengendapkan kotoran yang berupa dispersi koloid dalam air dengan menambahkan koagulan untuk menggumpalkan kotoran
Jenis	Tangki Silinder
Bahan	<i>Stainless Steel type 316</i>
Spesifikasi	
Tinggi, m	6,5803
Diameter, m	6,5803
Volume, m ³	203,4416
Jenis Impeller	Marine Propeller 3 Blade
Jumlah Impeller	1
Diameter Impeller, m	2,1934
Power Motor, hp	0.5
Jumlah, unit	1

5. Clarifier

Tabel 5.17 Spesifikasi Clarifier

Clarifier	KL-01
Fungsi	Menggumpalkan dan mengendapkan koloid yang terbawa oleh air dari bak pengendap awal
Jenis	Tangki dengan conical bottom
Spesifikasi	
Tinggi, m	4,5977
Diameter, m	9,1954
Volume, m ³	610,3552
Jenis Impeller	Marine Propeller 3 Blade
Jumlah Impeller	1
Diameter Impeller, m	3,0651
Power Motor, hp	0.5

6. Cooling Tower

Tabel 5.18 Spesifikasi *Cooling Tower*

Cooling Tower	CT-01
Fungsi	Mendinginkan air pendingin setelah digunakan oleh alat proses dengan media pendingin udara
Sistem	kontak langsung dengan udara didalam cooling tower (<i>fan</i>)
Jenis	<i>induced draft cooling tower</i>
Spesifikasi	
Panjang, m	2,5099
Lebar, m	2,5099
Tinggi, m	15,2298
Jumlah, unit	1

7. *Blower Cooling Tower*

Tabel 5.19 *Blower Cooling Tower*

Blower	BL-01
Fungsi	Menghisap udara sekeliling untuk dikontakkan dengan air yang akan didinginkan
Jenis	<i>Cetrifugal Blower</i>
Bahan	<i>Carbon Steel</i>
Spesifikasi	
Kapasitas, m ³ /jam	144987,0908
Efisiensi, %	91
Power, hp	78
Jumlah, unit	1

8. *Filter*

Tabel 5.20 Spesifikasi *Filter*

<i>Filter</i>	FU-01
----------------------	-------

Fungsi	Menyaring kotoran (ranting, sampah, dll)
Bahan	Aluminium
Spesifikasi	
Kapasitas, kg/jam	201992,2898
Panjang, m	10
Lebar, m	8
Lubang saringan, cm	1

9. *Sand Filter*

Tabel 5.21 Spesifikasi *Sand Filter*

Filter	FU-02
Fungsi	Menyaring partikel-partikel halus yang ada dalam air sungai
Bahan	<i>Carbon Steel</i>
Spesifikasi	
Volume, m ³	0,0174
Panjang, m	0,3266
Lebar, m	0,3266
Tinggi, m	0,1633
Ukuran Pasir, mesh	20

10. *Boiler*

Tabel 5.22 Spesifikasi *Boiler*

Boiler	B-01
Fungsi	Membuat saturated steam
Bahan	<i>Carbon Steel</i>
Spesifikasi	
Kapasitas, kg/jam	62883,5515
Tekanan steam, atm	8

Suhu steam, °C	400
Efisiensi, %	80
Bahan Bakar	LNG
Kebutuhan Bahan bakar, m ³ /jam	1,043
Jumlah, unit	1

11. Deaerator

Tabel 5.23 Spesifikasi *Deaerator*

Deaerator	DU-01
Fungsi	Menghilangkan gas CO ₂ dan O ₂ yang terikat dalam feed water yang menyebabkan kerak pada reboiler.
Jenis	Tangki silinder tegak
Spesifikasi	
Kapasitas, kg/jam	767,7938
Diameter, m	1,0271
Tinggi, m	1,0271
Volume, m ³	0,8507

12. Heater Dowtherm A

Tabel 5.24 *Operation Condition Heater Dowtherm A*

<i>Operation Condition</i>				
<i>Position</i>	<i>Annulus</i>		<i>Tube</i>	
<i>Fluid type</i>	<i>Hot</i>		<i>Cold</i>	
<i>Fluid</i>	<i>Steam</i>		Dowtherm A	
	In	Out	In	Out
<i>Liquid Flowrate, lb/hr</i>			174886,342	174886,342
<i>Vapor Flowrate, lb/hr</i>	22744,371	22744,371		
<i>Temperature, °C</i>	430	410	207	390

<i>Pressure, atm</i>	30	30	1	1
----------------------	----	----	---	---

Tabel 5.25 *Mechanical Design Heater Dowtherm A*

<i>Mechanical Design</i>			
<i>Annulus</i>		<i>Tube</i>	
<i>Length, ft</i>	20	<i>Length, ft</i>	20
<i>Hairpin</i>		<i>Hairpin</i>	
ID, in	4	ID, in	3
		OD, in	3,5
		A, ft ²	178,609
		BWG	16
$\Delta P_{cal} / \Delta P_{allow}$, psi	5,224 / <10	$\Delta P_{cal} / \Delta P_{allow}$, psi	0,0263 / <10
Rd_{cal} / Rd_{min} hr.ft ² .F/Btu	0,00444 / 0,0004	Rd_{cal} / Rd_{min} hr.ft ² .F/Btu	0,00444 / 0,0004

BAB VI

EVALUASI EKONOMI

Evaluasi ekonomi dilakukan untuk mengetahui apakah pabrik yang akan didirikan dapat memberikan keuntungan serta layak untuk direalisasikan dari segi ekonomi. Dalam tahap ini dilakukan estimasi terhadap biaya peralatan dan bahan yang digunakan sebagai kebutuhan operasional pabrik. Estimasi tersebut menjadi dasar dalam menilai kelayakan investasi modal yang ditanamkan dalam suatu proses produksi. Melalui evaluasi ekonomi dapat diketahui kemampuan pengembalian modal investasi serta waktu tercapainya titik impas. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi evaluasi ekonomi antara lain sebagai berikut:

- a. Modal (*Capital Investment*)
 - 1. Modal tetap (*Fixed Capital Cost*)
 - 2. Modal kerja (*Working Capital Investment*)
- b. Biaya Produksi (*Manufacturing Cost*)
 - 1. Biaya produksi langsung (*Direct Manufacturing Cost*)
 - 2. Biaya produksi tak langsung (*Indirect Manufacturing Cost*)
 - 3. Biaya tetap (*Fixed Manufacturing Cost*)
- c. Analisa Keuntungan (*General Cost*)

6.1 Penaksiran Harga Alat

Harga peralatan proses pada setiap alat dipengaruhi oleh kondisi ekonomi yang terjadi pada suatu periode tertentu. Harga peralatan dari tahun ke tahun dapat mengalami kenaikan maupun penurunan tergantung pada

kondisi ekonomi yang berlaku, sehingga sulit untuk menentukan harga peralatan secara pasti. Oleh karena itu, untuk memperkirakan harga peralatan dapat digunakan indeks harga peralatan industri proses pada tahun tertentu.

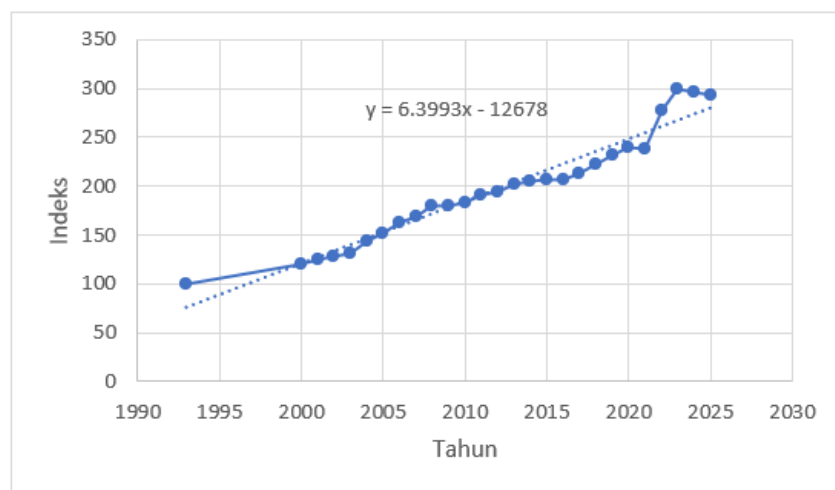
Analisis harga peralatan pada perancangan ini dilakukan berdasarkan tahun analisis 2025, sedangkan pembelian peralatan direncanakan pada tahun pembangunan pabrik yaitu tahun 2030. Dalam analisis ekonomi, harga peralatan maupun harga kebutuhan pabrik lainnya biasanya dihitung berdasarkan tahun analisis, kemudian disesuaikan dengan menggunakan indeks harga. Indeks harga yang umum digunakan dalam bidang teknik kimia adalah *Chemical Engineering Plant Cost Index* (CEPCI). Indeks ini digunakan untuk memperkirakan perubahan biaya peralatan, instalasi, serta biaya pembangunan pabrik dari tahun ke tahun sehingga dapat digunakan untuk mengestimasi harga peralatan pada tahun yang berbeda.

Tabel 6.1 Indeks harga alat pada tahun 1993-2030

Xi	Indeks (Yi)
1993	100
2000	120,9
2001	125,1
2002	128,7
2003	132
2004	143,7
2005	151,6
2006	162
2007	169,4
2008	180,4
2009	180,1
2010	183,5
2011	191,2
2012	194,6
2013	201,2
2014	204,9

2015	206,2
2016	207,3
2017	213,6
2018	222,9
2019	232,2
2020	239,1
2021	238,3
2022	276,9
2023	299,4
2024	295,6
2025	293,9
2026	286,9818
2027	293,3811
2028	299,7804
2029	306,1797
2030	312,579

Berdasarkan tabel diatas, maka diperoleh persamaan regresi linear sebagai berikut:



Gambar 6.1 Grafik Regresi Linear

Persamaan yang diperoleh dari grafik yang tertera adalah $y = 6,3993x - 12.678$ dengan menggunakan persamaan tersebut dapat dicari nilai CEP index pada tahun referensi dan perancangan, sehingga nilai CEP index pada tahun referensi 2026 adalah 286,9818. Sementara nilai CEP index pada tahun perancangan 2030 sebesar 312,579.

Untuk memperkirakan harga peralatan, terdapat dua persamaan pendekatan yang dapat digunakan. Harga peralatan pada tahun pabrik didirikan dapat ditentukan berdasarkan harga peralatan pada tahun referensi yang dikalikan dengan rasio indeks harga pada kedua tahun tersebut. Metode ini digunakan untuk menyesuaikan perubahan nilai biaya akibat pengaruh inflasi maupun kondisi ekonomi dari waktu ke waktu (Aries & Newton, 1955).

$$Ex = Ey \cdot \frac{Nx}{Ny}$$

Keterangan:

Ex = Harga pembelian pada tahun x

Ey = Harga pembelian pada tahun referensi y

Nx = Indeks harga pada tahun x

Ny = Indeks harga pada tahun referensi y

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

Tabel 6.2 Harga Alat Proses

Nama Alat	Kode Alat	Jumlah	Ey	Ex
			2026	2030
Tangki WCO	T-01	6	\$2.225.301,00	\$2.423.785,62
Tangki H2	T-02	6	\$16.775.345,00	\$18.271.613,62
Tangki BIOAVTUR	T-03	1	\$ 2.454.763,00	\$ 2.673.714,37
Tangki Sementara	T-04	1	\$ 2.454.763,00	\$ 2.673.714,37
Compresor 1	COMP-01	1	\$154.126,00	\$167.873,19
Compresor 2	COMP-02	1	\$121.738,00	\$132.596,36
Compresor 3	COMP-03	1	\$49.452,00	\$53.862,85
Reaktor 1	R-01	1	\$795.000,00	\$865.909,63
Separator 1	SP-01	1	\$231.300,00	\$251.930,69
Dekanter 1	DC-01	1	\$191.800,00	\$208.907,51
Heater 1	HE-01	1	\$97.000,00	\$105.651,87
Heater 2	HE-02	1	\$167.400,00	\$182.331,16
Heater 3	HE-03	1	\$78.200,00	\$85.175,01

Cooler 1	CL-01	1	\$119.200,00	\$129.831,99
Cooler 2	CL-02	1	\$108.100,00	\$117.741,93
Cooler 3	CL-03	1	\$110.600,00	\$120.464,91
Furnace 1	F-01	1	\$690.700,00	\$752.306,65
Expansion Valve 1	EV-01	1	\$52.000,00	\$56.638,11
Purge Valve 1	VP-01	1	\$52.000,00	\$56.638,11
Pompa 1	P-01	1	\$52.000,00	\$56.638,11
Pompa 2	P-02	1	\$44.000,00	\$47.924,56
Pompa 3	P-03	1	\$3.200,00	\$3.485,42
Pompa 4	P-04	1	\$4.600,00	\$5.010,29
Total			\$27.119.388,00	\$29.538.288,43

Tabel 6.3 Harga Alat Utilitas

Nama Alat	Kode Alat	Jumlah	Ey	Ex
			2026	2030
Screening	FU-01	1	\$5,300.00	\$5,772.73
Bak Pengendapan Awal	BU-01	1	\$454,200.00	\$494,712.14
Tangki Larutan Alum	TU-01	1	\$18,300.00	\$19,932.26
Tangki Larutan CaoH	TU-02	1	\$14,500.00	\$15,793.32
Tangki Flokulator	FL-01	1	\$90,300.00	\$98,354.26
Klarifer	KL-01	1	\$2,082,100.00	\$2,267,811.88
Bak Saringan Pasir Filter	FU-02	1	\$400.00	\$435.68
Bak Penampungan Sementara	BU-02	1	\$90,300.00	\$98,354.26
Tangki Klorinasi	TU-03	1	\$3,300.00	\$3,594.34
Tangki penyimpanan Air Bersih	TU-04	1	\$28,000.00	\$30,497.45
Tangki Air Bertekanan	TU-05	1	\$12,500.00	\$13,614.93
Cooling Tower	CT-01	1	\$803,600.00	\$875,276.71
Tangki Penukar Kation	TU-06	1	\$23,200.00	\$25,269.31
Tangki Anion	TU-07	1	\$12,100.00	\$13,179.25
Tangki NaOH	TU-08	1	\$21,900.00	\$23,853.36
Tangki NaCl	TU-09	1	\$9,500.00	\$10,347.35
Tangki Daerator	DU-01	1	\$6,200.00	\$6,753.01
Tangki Kondensat	TU-10	1	\$10,700.00	\$11,654.38
Boiler	B-01	1	\$102,400.00	\$111,533.52
Tangki Bahan Bakar	TU-11	1	\$20,500.00	\$22,328.49

Kompresor	KU-01	1	\$500.00	\$544.60
Pompa 1	PU-01	1	\$33,500.00	\$36,488.02
Pompa 2	PU-02	1	\$33,500.00	\$36,488.02
Pompa 3	PU-03	1	\$33,500.00	\$36,488.02
Pompa 4	PU-04	1	\$33,500.00	\$36,488.02
Pompa 5	PU-05	1	\$33,500.00	\$36,488.02
Pompa 6	PU-06	1	\$31,700.00	\$34,527.47
Pompa 7	PU-07	1	\$6,500.00	\$7,079.76
Pompa 8	PU-08	1	\$6,500.00	\$7,079.76
Pompa 9	PU-09	1	\$6,500.00	\$7,079.76
Pompa 10	PU-10	1	\$6,500.00	\$7,079.76
Pompa 11	PU-11	1	\$6,500.00	\$7,079.76
heater	HU-01	1	\$136.000,00	\$148.130,45
Tangki Penampung Awal Dowtherm A	TU-12	1	\$57.000,00	\$62.084,09
Tangki Penampungan Sementara	TU-13	1	\$58.745,00	\$63.984,73
Tangki Udara Tekan	TU-14	1	\$7.900,00	\$8.604,64
Total			\$4.301.145,00	\$4.684.783,51

6.2 Dasar Perhitungan

Kapasitas produksi	: 210.000 Ton/Tahun
Pabrik beroperasi	: 330 hari kerja
Umur alat	: 10 Tahun
Kurs mata uang	: Rp 17.700,00 (per Mei 2026)
Tahun didirikan	: 2030
Indeks harga tahun 2030	: 312,579
UMR Deli Serdang	: Rp 4.624.251,91 (Tahun 2030)

6.3 Komponen Biaya

a. Modal (*Capital Investment*)

Capital Investment merupakan sejumlah modal yang diperlukan untuk mendirikan dan mengembangkan suatu pabrik hingga siap beroperasi secara komersial. Investasi ini mencakup berbagai pengeluaran yang berkaitan dengan

pembangunan fasilitas proses utama, fasilitas penunjang, serta kebutuhan lain yang mendukung kelancaran operasional pabrik. *Capital investment* terdiri dari:

1. *Fixed Capital Investment*

Fixed Capital Investment (FCI) merupakan keseluruhan biaya yang dikeluarkan untuk pembangunan dan penyediaan fasilitas-fasilitas utama yang diperlukan dalam suatu pabrik. Biaya ini mencakup pengadaan serta pemasangan peralatan proses, pembangunan bangunan pabrik, instalasi perpipaan, utilitas, serta berbagai fasilitas penunjang lainnya yang bersifat permanen.

Tabel 6.4 *Physical plant cost* (PPC)

Jenis	Biaya (Rp)
<i>Purchased Equipment Cost</i>	Rp2.816.372.583.459,18
<i>Delivered Equipment Cost</i>	Rp704.093.145.864,79
Biaya Pemasangan	Rp844.911.775.037,75
Biaya Instrumentasi dan Kontrol	Rp281.637.258.345,92
Biaya Pemipaan	Rp2.422.080.421.774,89
Biaya Instalasi Listrik	Rp563.274.516.691,84
Biaya Bangunan	Rp226.372.606.763,38
Biaya Pengembangan Lahan	Rp1.126.549.033.383,67
<i>Services Facilities</i>	Rp844.911.775.037,75
Biaya Land	Rp29.205.023.750,00
<i>Start Up Expenses Cost</i>	Rp6.732.720.492,57
Total	Rp9.866.140.860.601,74

Tabel 6.5 *Direct plant cost* (DPC)

<i>Type of Capital Investment</i>	Biaya (Rp)
Biaya Teknik dan Supervisi	Rp2.466.535.215.150,44
Biaya Konstruksi	Rp2.466.535.215.150,44
Biaya Tak Terduga	Rp1.479.921.129.090,26
Total	Rp6.412.991.559.391,13

Tabel 6.6 *Fixed Capital Investment* (FCI)

<i>Fixed Capital</i>	Biaya (Rp)
<i>Direct Plant Cost</i>	Rp6.412.991.559.391,13
<i>Physical plant cost</i>	Rp9.866.140.860.601,74
Total	Rp16.279.132.419.992,90

2. *Working Capital Investment*

Working Capital Investment (WCI) merupakan total biaya yang diperlukan untuk mendukung kegiatan operasional pabrik selama periode waktu tertentu yang telah ditetapkan. Modal kerja ini digunakan untuk menjamin kelancaran proses produksi dan kegiatan operasional sehari-hari sebelum pabrik memperoleh pemasukan dari hasil penjualan produk. Komponen dalam *Working Capital Investment* meliputi persediaan bahan baku (*raw material inventory*), persediaan bahan dalam proses (*in process inventory*), persediaan produk jadi (*product inventory*), pemberian kredit kepada pelanggan (*extended credit*), serta ketersediaan

kas untuk memenuhi kebutuhan operasional (*available cash*). Tujuan utama dari penanaman modal dalam suatu proyek industri adalah untuk memperoleh keuntungan dari dana yang telah diinvestasikan. Investasi yang baik umumnya memiliki beberapa karakteristik, antara lain mampu menghasilkan keuntungan yang maksimum, memiliki waktu pengembalian modal yang relatif cepat, serta didukung oleh penerapan teknologi yang memadai, sistem operasional yang aman, dan sesuai dengan ketentuan hukum serta peraturan yang berlaku.

Tabel 6.7 *Working Capital Investment*

<i>Type of Working Capital</i>	Biaya (Rp)
<i>Raw Material Inventory</i>	Rp357.209.181.643,97
<i>Inproses Inventory</i>	Rp139.251.706.912,14
<i>Product Inventory</i>	Rp773.620.593.956,31
<i>Available Cash</i>	Rp773.620.593.956,31
<i>Extended Credit</i>	Rp18.566.894.254.951,40
Total	Rp20.610.596.331.420,10

Tabel 6.8 *Total Capital Investment*

<i>Type of Capital Investment</i>	Biaya (Rp)
Total Fixed Capital Investment (FCI)	Rp16.279.132.419.992,90
Total Working Capital Investment	Rp20.610.596.331.420,10
Total	Rp36.889.728.751.413,00

b. Biaya Produksi (*Manufacturing Cost*)

Manufacturing cost merupakan total biaya yang dikeluarkan dalam proses pembuatan suatu produk di dalam pabrik. Secara umum, *manufacturing cost* terdiri dari *direct manufacturing cost*, *indirect manufacturing cost*, serta *fixed manufacturing cost* yang timbul selama proses produksi berlangsung.

1. *Direct Manufacturing Cost (DMC)*

Direct Manufacturing Cost (DMC) atau biaya langsung merupakan seluruh biaya yang secara langsung berkaitan dengan proses produksi suatu produk di dalam pabrik.

Tabel 6.9 *Direct Manufacturing Cost (DMC)*

<i>Tipe of Manufacturing</i>	Biaya (Rp)
<i>Raw Material Cost</i>	Rp 4.293.242.900.220,26
Biaya Pekerja Operasi	Rp19.998.964.678,90
Biaya Direct Supervisory	Rp4.999.741.169,73
Utilitas	Rp667.667.531.951,94
Biaya Perawatan dan Perbaikan	Rp1.139.539.269.399,50
Plant Supplies	Rp170.930.890.409,93
Royalty and Patent	Rp8.546.544.520,50
Total	Rp6.304.925.842.350,75

2. *Indirect Manufacturing Cost (IMC)*

Indirect manufacturing cost merupakan biaya produksi yang timbul secara tidak langsung sebagai akibat dari kegiatan operasional pabrik. Biaya ini tidak berkaitan langsung dengan proses pembuatan produk,

tetapi tetap diperlukan untuk menunjang kelancaran aktivitas produksi di dalam pabrik.

Tabel 6.10 *Indirect manufacturing cost* (IMC)

<i>Type of Manufacturing</i>	Biaya (Rp)
<i>Payroll Overhead</i>	Rp3.999.792.935,78
<i>Laboratory</i>	Rp5.999.689.403,67
<i>Plant Overhead</i>	Rp19.998.964.678,90
<i>Packaging and Shipping</i>	Rp343.861.650.907,74
Total	Rp373.860.097.926,09

3. *Fixed Manufacturing Cost (FMC)*

Fixed Manufacturing Cost merupakan biaya produksi yang bersifat tetap dan harus tetap dikeluarkan oleh perusahaan terlepas dari apakah pabrik sedang beroperasi atau tidak. Besarnya biaya ini relatif tidak dipengaruhi oleh perubahan tingkat produksi maupun waktu operasi pabrik. *Fixed Manufacturing Cost* umumnya berkaitan dengan kepemilikan dan penggunaan fasilitas produksi serta aset pabrik.

Tabel 6.11 *Fixed Manufacturing Cost* (FMC)

Komponen	Biaya (Rp)
<i>Depreciation</i>	Rp1.627.913.241.999,29
<i>Property taxes</i>	Rp651.165.296.799,72
<i>Insurance</i>	Rp325.582.648.399,86
Total	Rp2.604.661.187.198,86

Tabel 6.12 *Total Manufacturing cost*

<i>Type of Expenses</i>	Biaya (Rp)
<i>Direct Manufacturing Cost (DMC)</i>	Rp373.860.097.926,09
<i>Direct Indirect Manufacturing Cost (IMC)</i>	Rp6.304.925.842.350,75
<i>Fixed Manufacturing Cost (FMC)</i>	Rp2.604.661.187.198,86
Total	Rp9.283.447.127.475,71

c. Pengeluaran Umum (*General Expenses*)

General Expense merupakan biaya pengeluaran yang bersifat umum dan berkaitan dengan kegiatan manajerial serta operasional perusahaan, namun tidak termasuk ke dalam biaya produksi atau *manufacturing cost*. Biaya ini dikeluarkan untuk mendukung fungsi administrasi, pemasaran, penelitian, serta pengelolaan keuangan perusahaan.

Tabel 6.13 *General Expense*

<i>Type of Expenses</i>	Biaya (Rp)
<i>Administration</i>	Rp557.006.827.648,54
<i>Research</i>	Rp742.675.770.198,06
<i>Finance</i>	Rp1.475.589.150.056,52
Total	Rp2.775.271.747.903,12

Tabel 6.14 *Total Production Cost*

<i>Type of Expenses</i>	Biaya (Rp)
<i>Manufacturing Cost (MC)</i>	Rp9.283.447.127.475,71
<i>General Expenses (GE)</i>	Rp2.775.271.747.903,12
Total	Rp12.058.718.875.378,80

6.4 Harga Dasar dan Harga Jual

a. Harga Bahan Baku

WCO (*Waste Cooking Oil*) : Rp 17.700,00 /kg

H₂ (Hidrogen) : Rp 76.127,20 /kg

Katalis Nimo Al₂O₃ : Rp 159.336,00 /kg

Katalis Pt/SAPO-11 : Rp 5.996.992,66 /kg

b. Harga Dasar

Total Biaya Produksi : Rp12.058.718.875.378,80

Kapasitas Produksi : 210.000.000 kg/tahun

Harga Dasar (Rp/kg) : Total Biaya Produksi / Kapasitas Produksi

: Rp57.422,47

c. Harga Jual Bioavtur Ditetapkan

Harga Dasar : Rp57.422,47

Harga Jual (Rp/kg) : 10% dari Harga Dasar

: Rp63.164,72

6.5 Analisa Keuntungan

a. Keuntungan Sebelum Pajak

Total penjualan : Rp13.264.590.762.916,70

Total *production cost* : Rp12.058.718.875.378,80

Keuntungan : Total Penjualan - Total *Production Cost*

: Rp1.205.871.887.537,88

b. Keuntungan Setelah Pajak

Pajak 22% dari keuntungan : Rp265.291.815.258,33

Keuntungan : Keuntungan Sebelum Pajak – Pajak
: Rp940.580.072.279,55

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis, dapat ditarik Kesimpulan bahwa Prarancangan Pabrik Bioavtur dari Minyak Jelantah dengan Kapasitas 210.000 ton/tahun adalah sebagai berikut:

1. Pendirian pabrik bioavtur dari minyak jelantah dengan kapasitas 210.000 ton/tahun bertujuan untuk mendukung pemenuhan kebutuhan bahan bakar penerbangan, mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, serta meningkatkan pemanfaatan limbah minyak jelantah sebagai bahan baku energi terbarukan. Pemanfaatan minyak jelantah sebagai bahan baku juga dapat memberikan nilai tambah secara ekonomi dan membantu mengurangi potensi pencemaran lingkungan.
2. Pabrik bioavtur ini direncanakan berbentuk badan usaha Perseroan Terbatas (PT) dan berlokasi di Kawasan Sungai Ular, Kecamatan Secanggang, Kabupaten Langkat, Provinsi Sumatera Utara. Pemilihan lokasi tersebut didasarkan pada beberapa pertimbangan, antara lain ketersediaan bahan baku, kedekatan dengan Bandara Internasional Kualanamu, akses menuju Pelabuhan Belawan, ketersediaan sumber air, ketersediaan tenaga kerja, serta dukungan sarana transportasi darat, laut, dan udara.
3. Proses utama berlangsung melalui reaksi *hydrotreating* atau *hydrodeoxygenation* menggunakan katalis $\text{NiMo/Al}_2\text{O}_3$, kemudian

dilanjutkan dengan *hydrocracking* dan *hydroisomerization* menggunakan katalis Pt/SAPO-11. Reaksi berlangsung secara kontinu di dalam *Fixed Bed Multitube Reactor* pada suhu 405°C dan tekanan 30 atm. Proses ini bertujuan untuk mengubah komponen minyak jelantah menjadi fraksi hidrokarbon yang sesuai dengan karakteristik bahan bakar penerbangan.

4. Berdasarkan hasil analisis ekonomi, pabrik bioavtur dari minyak jelantah dengan kapasitas 210.000 ton/tahun membutuhkan total biaya produksi sebesar Rp12.058.718.875.378,80 per tahun. Total penjualan yang diperoleh sebesar Rp13.264.590.762.916,70 per tahun, sehingga keuntungan sebelum pajak sebesar Rp1.205.871.887.537,88 per tahun. Setelah dikenakan pajak sebesar 22%, keuntungan setelah pajak yang diperoleh sebesar Rp940.580.072.279,55 per tahun. Hasil tersebut menunjukkan bahwa rancangan pabrik memiliki potensi ekonomi yang baik untuk dikembangkan.

5.2 Saran

Dalam prarancangan pabrik kimia, diperlukan pemahaman yang baik terhadap aspek teknis, ekonomi, keselamatan, dan lingkungan agar pabrik yang dirancang dapat beroperasi secara optimal. Berdasarkan hasil prarancangan pabrik bioavtur dari minyak jelantah, diperlukan kajian lebih lanjut pada pemilihan alat proses, kualitas bahan baku, keselamatan kerja, mutu produk, pengolahan limbah, dan evaluasi ekonomi agar rancangan pabrik menjadi lebih baik. Pasokan dan kualitas minyak jelantah perlu dijaga karena bahan baku ini sangat berpengaruh terhadap kelancaran proses dan kualitas bioavtur yang dihasilkan. Sistem

keselamatan juga perlu diperhatikan karena proses produksi menggunakan hidrogen, suhu tinggi, tekanan tinggi, serta menghasilkan produk yang mudah terbakar. Selain itu, pengujian mutu bioavtur perlu dilakukan secara rutin agar produk memenuhi standar bahan bakar penerbangan. Pengolahan limbah dan kajian ekonomi juga perlu dikembangkan agar pabrik dapat beroperasi dengan aman, tidak mencemari lingkungan, dan tetap layak secara ekonomi.

DAFTAR PUSTAKA

- Airlines Inform. (n.d.). Airbus A320. Airlines Inform, from <https://www.airlines-inform.com/commercial-aircraft/airbus-a320.html>
- Aries, R. S., & Newton, R. D. (1955). Chemical Engineering Cost Estimation. McGraw-Hill.
- Aspen Technology, Inc. (2025). Aspen Plus V15 [Computer software]. AspenTech.
- ASTM International. (2022). ASTM D1655-21c: Standard specification for aviation turbine fuels. ASTM International.
- ASTM International. (2025). ASTM D7566-24d: Standard specification for aviation turbine fuel containing synthesized hydrocarbons. ASTM International.
- Badan Pusat Statistik Provinsi Sumatera Utara. (2024). Jumlah penumpang domestik yang berangkat dari Sumatera Utara melalui Bandara Internasional Kualanamu selama Desember 2023 mencapai 187.584 orang.
- Boeing. (2007). 737 NG family: Passenger. StartupBoeing. The Boeing Company. from https://www.boeing.com/content/dam/boeing/boeingdotcom/company/about_bca/startup/pdf/historical/737NG_passenger.pdf
- BP p.l.c. (2026). bp Annual Report and Form 20-F 2025. BP p.l.c.
- Brownell, L. E., & Young, E. H. (1959). Process Equipment Design. John Wiley & Sons.

- Chen, R.-X., & Wang, W.-C. (2019). The production of renewable aviation fuel from *waste* cooking oil. Part I: Bio-alkane conversion through hydro-processing of oil. *Renewable Energy*, 135, 819-835.
- Chen, Y.-K., Hsieh, C.-H., & Wang, W.-C. (2020). The production of renewable aviation fuel from *waste* cooking oil. Part II: Catalytic hydro-cracking/isomerization of hydro-processed alkanes into jet fuel range products. *Renewable Energy*, 157, 731-740.
- Chevron Corporation. (2026). 2025 Annual Report. Chevron Corporation.
- Coulson, J. M., & Richardson, J. F. (1983). *Chemical Engineering: Volume 6, Chemical Engineering Design*. Pergamon Press.
- Enilive. (2025, January 22). *Enilive begins SAF production at its plant in Gela (Sicily), capable of meeting one third of Europe's demand*. Eni. <https://www.eni.com/en-IT/media/press-release/2025/01/enilive-begins-saf-production-at-its-plant-in-gela.html>
- Geleynse, S., Brandt, K., Garcia-Perez, M., Wolcott, M., & Zhang, X. (2018). The alcohol-to-jet conversion pathway for drop-in biofuels: Techno-economic evaluation. *ChemSusChem*, 11(21), 3728-3741.
- IEA Bioenergy. (2024). Progress in commercialization of biojet/sustainable aviation fuels: Technologies and policies. IEA Bioenergy Task 39.
- Kern, D. Q. (1950). *Process Heat Transfer*. McGraw-Hill.

Internasional Air Transport Association.(n.d). Sustainable aviation fuel (SAF),From

<https://www.iata.org/en/programs/sustainability/sustainable-aviation-fuel-saf/>

Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, Direktorat Jenderal Perhubungan Udara, Direktorat Angkutan Udara. (2024). *Statistik angkutan udara tahun 2023*

Mäki-Arvela, P., Martínez-Klimov, M., & Murzin, D. Y. (2021). Hydroconversion of fatty acids and vegetable oils for production of jet fuels. *Fuel*, 306, Article 121673.

Neste Corporation. (n.d.). *Sustainable aviation fuel*. Retrieved June 7, 2026, from <https://www.neste.com/products-and-innovation/sustainable-aviation-fuel>

Pertamina Patra Niaga. (2025). Pertamina Patra Niaga gelar Pertamina SAF Forum 2025, dorong kolaborasi nasional menuju langit rendah emisi. Pertamina Patra Niaga.

PT Kilang Pertamina Internasional. (2023). Innovation. PT Kilang Pertamina Internasional.

PT Pertamina (Persero). (2025). Annual reports. PT Pertamina (Persero).

Republik Indonesia. (2007). Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 40 Tahun 2007 tentang Perseroan Terbatas.

Repsol S.A. (2024, April 3). *Repsol begins large-scale production of renewable fuels in Cartagena, the first plant of its kind in the Iberian Peninsula*. <https://www.repsol.com/en/press-room/press-releases/2024/repsol-begins->

[large-scale-production-of-renewable-fuels-in-cartagena-the-first-plant-of-its-kind-in-the-iberian-peninsula/index.cshtml](#)

Salamah, S., Trisunaryanti, W., Kartini, I., & Purwono, S. (2025). Reaction kinetics of *waste* cooking oil hydrocracking into biofuel using Ni-impregnated mesoporous silica catalyst. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 20(3), 560-568.

Shell plc. (2026). Annual Report and Accounts 2025. Shell plc.

Smith, J. M., Van Ness, H. C., & Abbott, M. M. (2001). *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics* (6th ed.). McGraw-Hill.

Sularso, & Tahara, H. (2001). *Pompa dan Kompresor: Pemilihan, Pemakaian dan Pemeliharaan*. Pradnya Paramita.

Verma, V., Mishra, A., Anand, M., Farooqui, S. A., & Sinha, A. K. (2023). Catalytic hydroprocessing of *waste* cooking oil for the production of drop-in aviation fuel and optimization for improving jet biofuel quality in a fixed bed reactor. *Fuel*, 333, Article 126348.

Wang, W.-C., & Tao, L. (2016). Bio-jet fuel conversion technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 801-822.

Wicaksana, S. A., Yuningsih, L. M., & Mulyani, R. (2024). Optimasi koagulan dan flokulan pada proses water treatment di PLTU Palabuhanratu.

Yaws, C. L. (1999). *Chemical Properties Handbook: Physical, Thermodynamic, Environmental, Transport, Safety, and Health Related Properties for Organic and Inorganic Chemicals*. McGraw-Hill.

- Zhang, Z., Wang, Q., & Zhang, X. (2019). Hydroconversion of *waste* cooking oil into bio-jet fuel over NiMo/SBUY-MCM-41. *Catalysts*, 9(5), Article 466.
- Žula, M., Grilc, M., & Likozar, B. (2023). Mechanistic reaction micro-kinetics-based structure-activity relationships for palmitic acid hydrodeoxygenation over NiMoSx/Al₂O₃ catalysts. *Chemical Engineering Journal*, 467, Article 143425.

LAMPIRAN A. PERANCANGAN REAKTOR

1. Reaktor-01 (*Hydrotreating*)

Spesifikasi Umum	
Kode	R-01
Fungsi	Mereaksikan Minyak Jelantah menjadi senyawa hidrokarbon parafinik dengan gas hidrogen H ₂ menggunakan katalis NiMo/Al ₂ O ₃
Jenis	<i>Fixed Bed Multitube Reactor</i>
Mode Operasi	Kontinyu
Jumlah	1
Harga	\$795.000,00
Kondisi Operasi	
Suhu, °C	405
Tekanan, atm	30
Kondisi Proses	Eksotermis
Konstruksi dan Material	
Bahan Konstruksi	<i>Stainless Steel tipe SA 316 Grade C</i>
Diameter (ID) shell, m	0,99
Tebal shell, in	0,00405
Tinggi total, m	7,34
Jenis head	<i>Elliptical Flanged and Dished Head</i>
Spesifikasi khusus	
Jenis katalis	NiMo/Al ₂ O ₃
Bentuk katalis	Silinder
Ukuran katalis, mm	1,6
Tinggi tumpukan, m	7
Porositas	0,55
WHSV, /jam	21,76
Pressure drop di sepanjang tumpukan katalis, atm	2,51
Dimensi Tube	
Bahan konstruksi	<i>Stainless SA 285 Grade C</i>
Diameter, (ID) in	0,74
Panjang, m	7
Jumlah	800
Tipe	<i>Triangular Pitch</i>
Ukuran pitch, in	1,3125
Jenis coolant	Dowtherm A
Kebutuhan coolant, kg/jam	8146,60

A. Neraca Massa

No	Komponen	Masuk			Keluar	
		BM	mol	Massa (kg/jam)	mol	Massa (kg/jam)
1	H ₂	2	3987,5100	7975,0200	3568,1108	7136,2216
2	CO	28	-	-	0,0391	1,0956
3	CO ₂	44	-	-	0,0000	0,0001
4	C ₃ H ₈	44	-	-	57,8528	2545,5231
5	H ₂ O	18	-	-	167,9228	3022,6097
6	I-C ₅ H ₁₂	72	-	-	17,9515	1292,5074
7	I-C ₆ H ₁₄	86	-	-	35,7450	3074,0670
8	I-C ₈ H ₁₈	114	-	-	0,0186	2,1209
9	I-C ₉ H ₂₀	128	-	-	0,0186	2,3814
10	I-C ₁₀ H ₂₂	142	-	-	53,6930	7624,4075
11	I-C ₁₂ H ₂₆	170	-	-	17,9498	3051,4601
12	I-C ₁₅ H ₃₂	212	-	-	3,9917	846,2487
13	C ₁₅ H ₃₂	212	-	-	0,0185	3,926546805
14	C ₁₆ H ₃₄	226	-	-	3,9713	897,5181
15	C ₁₇ H ₃₂	236	-	-	0,0000	0,0000
16	C ₁₇ H ₃₄	238	-	-	0,0000	0,0001
17	C ₁₇ H ₃₆	240	-	-	0,0021	0,4961
18	C ₁₈ H ₃₈	254	-	-	4,4323	1125,7955
19	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	256	44,1332	11298,1061	4,4133	1129,8126
20	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	280	9,8580	2760,2273	0,9858	276,0232
21	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	282	39,3966	11109,8485	3,9397	1110,9868
22	Impuritis	100	13,4697	1346,9697	13,4697	1346,9697
Total Masuk			349,2288	34490,1715	349,5609	34490,1715

Reaksi yang terjadi dalam reaktor *Fixed bed multi tube*

- Reaksi HDO, As. Lemak + $H_2 \rightarrow$ Alkana + H_2O
- Reaksi DCX, As. Lemak $\rightarrow$ Hidrokarbon + CO_2
- Reaksi DCO, As. Lemak + $H_2 \rightarrow$ Hidrokarbon + CO + H_2O

B. Menghitung Dimensi Reaktor

1. Menentukan jenis dan ukuran tube

Spesifikasi tube dipilih:

Diameter dalam *tube* (ID) : 0,742 in

Diameter luar <i>tube</i> (OD)	: 1,05 in
Tebal pipa	: 0,1875 in
BWG	:
<i>Flow area</i> (a't)	: 0,432 in ²
Panjang tube dipilih (<i>L_{tube}</i>)	: 7 m

Setelah spesifikasi tube dipilih, langkah selanjutnya adalah menghitung ketebalan tube minimum yang dibutuhkan. Tebal tube dapat dihitung dengan persamaan berikut:

Spesifikasi:

Allowance stress (f)	: 13750 psi
Corrosion allowance (C)	: 0,125 in
Efisiensi pengelasan (E)	: 0,85
ID	: 0,742 in
Jari-jari	: 0,371 in
Tebal tube	: 0,15 in
Tebal tube standar	: 0,1875 in

(Brownell & Young, 1959).

2. Menghitung jumlah tube

$$V_{cat} : 1,599 \text{ m}^2$$

$$L_{tube} : 7 \text{ m}$$

$$\text{Jari-jari} : 0,0094 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume per tube (V}_{tube}) &= \pi \times r^2 \times L_{tube} \\ &= 0,00194 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah tube} &= V_{cat} \times V_{tube} \\ &= 800\end{aligned}$$

$$\text{Jumlah tube dipilih} = 80$$

3. Menghitung volume katalis

$$\text{Volume tube} : 0,00195 \text{ m}^3$$

$$\text{Jumlah tube} : 800$$

$$V_{cat} = V_{tube} \times n_{tube}$$

$$V_{cat} = 0,00195 \text{ m}^3 \times 800$$

$$V_{cat} = 1,559 \text{ m}^3$$

4. Menghitung tebal shell

Tebal shell (ts) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

Spesifikasi:

Allowance stress (f)	: 13750 psi
Corrosion allowance (C)	: 0,125 in
Efisiensi pengelasan (E)	: 0,85
IDs	: 38,98 in
P operasi	: 30 atm
P design	: 36 atm (<i>over design 20%</i>)
Tebal shell	: 0,16 in

(Brownell & Young, 1959).

5. Menghitung tebal head

Tebal head (th) dapat dihitung dengan persamaan berikut :

Dengan

t_h = *tebal head*, in

i_{cr} = *inside corner radius*, in

r = *radius of dish*, in

Dimana

$i_{cr} = 2,5$ in

$r = 40$ in

Maka didapat

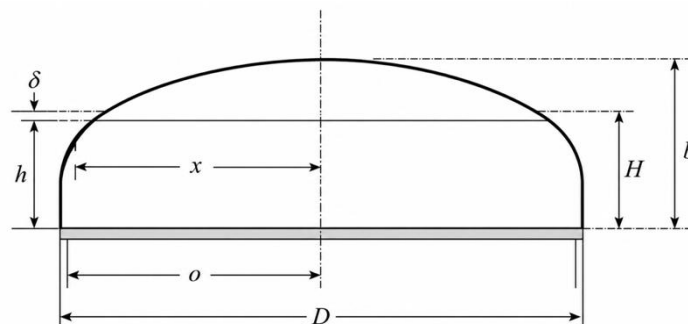
$W = 1,75$ in

$t_h = 1,01$ in

t_h standar dipilih = 1,13 in

6. Menghitung tinggi head (OA)

Tinggi head dihitung dengan cara berikut :



Tinggi head = $t_h + b + s_f$

Dimana

$b =$

Data-data icr , r , th dapat dilihat pada Tabel 5.7 halaman 89-91 Brownell dan Young (1959). Harga sf dilihat dari Tabel 5.6 halaman 88 Brownell dan Young (1959). Data-data tersebut diperoleh sebagai berikut :

$$th = 1,13 \text{ in}$$

$$sf = 3 \text{ in}$$

$$icr = 2,5 \text{ in}$$

$$r = 40 \text{ in}$$

$$b = 2,56 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} \text{maka tinggi head} &= th+b+sf \\ &= 1,13 \text{ in} + 2,56 \text{ in} + 3 \text{ in} \\ &= 6,685 \text{ in} = 0,170 \text{ m} \end{aligned}$$

7. Menghitung tinggi reactor

Tinggi reaktor merupakan tinggi *tube* (Z) yang digunakan ditambah 2 x tinggi *head*. Ditentukan tinggi/panjang *tube* yang digunakan = 7 m

$$\begin{aligned} \text{Tinggi reaktor (HR)} &= Z + 2 \times \text{Tinggi head} \\ &= 7 \text{ m} + (2 \times 0,17 \text{ m}) \\ &= 7,34 \text{ m} \end{aligned}$$

8. Menghitung saluran pemasukan dan pengeluaran gas

Diameter optimal yang ideal untuk pipa yang terbuat dari bahan *Stainless Steel SA-316 Grade C* dihitung dengan menggunakan persamaan (1.26) (Coulson & Richardson, 1983):

$$D_{opt} = 282G^{0,53}\rho^{-0,37}$$

Dengan

Dopt = diameter dalam pipa optimum, mm.

G = kecepatan aliran massa fluida, kg/s

ρ = densitas fluida, kg/m³

a. Saluran Pemasukan Gas Umpan

Kecepatan aliran massa (G) = 7,5434 kg/s

Densitas campuran *liquid* = 93,78940 kg/m³

Sehingga diperoleh Dopt sebesar 159,324 mm atau 6,237 in

Maka ditentukan Dopt standar sebesar 8 in

Berdasarkan Tabel 11 Kern (1950), dipilih pipa standart dengan ukuran:

IPS = 8 in

OD = 8,625 in

Schedule Number = 40

ID = 7,981 in

Flow Area per pipe = 50 in²

Surface per in ft Outside = 2,258 ft²

Surface per in ft Inside = 2,090 ft²

Weight per in ft = 28,6 lb steel

b. Saluran Pemasukan Gas Keluar

Kecepatan aliran massa (G) = 7,543 kg/s

Densitas campuran *liquid* = 30,1581 kg/m³

Sehingga diperoleh Dopt sebesar 242,347 mm atau 9,5448 in

Maka ditentukan Dopt standar sebesar 10 in

Berdasarkan Tabel 11 Kern (1950), dipilih pipa standart dengan ukuran:

IPS	= 10 in
OD	= 10,75 in
<i>Schedule Number</i>	= 40
ID	= 10,02 in
<i>Flow Area per pipe</i>	= 78,8 in ²
<i>Surface per in ft Outside</i>	= 2,814 ft ²
<i>Surface per in ft Inside</i>	= 2,62 ft ²
<i>Weight per in ft</i>	= 40, 5 lb steel

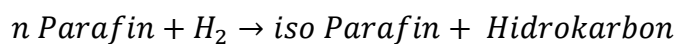
2. Reaktor-02 (*Hydrocracking/isomerization*)

Spesifikasi Umum	
Kode	R-02
Fungsi	Memecah hidrokarbon rantai panjang output R-01 menjadi fraksi yang lebih ringan dalam rentang avtur, sedangkan proses <i>isomerization</i> mengubah n-parafin menjadi iso-parafin dengan bantuan katalis Pt/SAPO-11
Jenis	<i>Fixed Bed Multitube Reactor</i>
Mode Operasi	Kontinyu
Jumlah	1
Harga	\$795.000,00
Kondisi Operasi	
Suhu, °C	400
Tekanan, atm	30
Kondisi Proses	Eksotermis
Konstruksi dan Material	
Bahan Konstruksi	<i>Stainless Steel tipe SA 316 Grade C</i>
Diameter (ID) shell, m	1,7
Tebal shell, in	0,00635
Tinggi total, m	6,305
Jenis head	<i>Elliptical Flanged and Dished Head</i>
Spesifikasi khusus	
Jenis katalis	Pt/SAPO - 11
Bentuk katalis	Silinder
Ukuran katalis, mm	1,5
Tinggi tumpukan, m	6
Porositas	0,4
WHSV, /jam	7,1948
Pressure drop di sepanjang tumpukan katalis, atm	0,54
Dimensi Tube	
Bahan konstruksi	<i>Stainless SA 285 Grade C</i>
Diameter, (ID) in	1,94
Panjang, m	6
Jumlah	460
Tipe	<i>Triangular Pitch</i>
Ukuran pitch, in	2,975
Jenis coolant	Dowtherm A
Kebutuhan coolant, kg/jam	4180,60

A Neraca Massa

No	Komponen	Masuk			Keluar	
		BM	mol	Massa (kg/jam)	mol	Massa (kg/jam)
1	H ₂	2	3987,5100	7975,0200	3568,1108	7136,2216
2	CO	28	-	-	0,0391	1,0956
3	CO ₂	44	-	-	0,0000	0,0001
4	C ₃ H ₈	44	-	-	57,8528	2545,5231
5	H ₂ O	18	-	-	167,9228	3022,6097
6	I-C ₅ H ₁₂	72	-	-	17,9515	1292,5074
7	I-C ₆ H ₁₄	86	-	-	35,7450	3074,0670
8	I-C ₈ H ₁₈	114	-	-	0,0186	2,1209
9	I-C ₉ H ₂₀	128	-	-	0,0186	2,3814
10	I-C ₁₀ H ₂₂	142	-	-	53,6930	7624,4075
11	I-C ₁₂ H ₂₆	170	-	-	17,9498	3051,4601
12	I-C ₁₅ H ₃₂	212	-	-	3,9917	846,2487
13	C ₁₅ H ₃₂	212	-	-	0,0185	3,926546805
14	C ₁₆ H ₃₄	226	-	-	3,9713	897,5181
15	C ₁₇ H ₃₂	236	-	-	0,0000	0,0000
16	C ₁₇ H ₃₄	238	-	-	0,0000	0,0001
17	C ₁₇ H ₃₆	240	-	-	0,0021	0,4961
18	C ₁₈ H ₃₈	254	-	-	4,4323	1125,7955
19	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	256	44,1332	11298,1061	4,4133	1129,8126
20	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	280	9,8580	2760,2273	0,9858	276,0232
21	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	282	39,3966	11109,8485	3,9397	1110,9868
22	Impuritis	100	13,4697	1346,9697	13,4697	1346,9697
Total Masuk			349,2288	34490,1715	349,5609	34490,1715

Reaksi yang terjadi dalam reaktor *Fixed bed multi tube*



B Menghitung dimensi reaktor

1. Menentukan jenis dan ukuran tube

Spesifikasi tube dipilih:

Diameter dalam *tube* (ID) : 1,94 in

Diameter luar *tube* (OD) : 2,38 in

Tebal pipa : 0,25 in

BWG :

Flow area ($a't$) : 2,92 in²

Panjang tube dipilih (L_{tube}) : 6 m

Setelah spesifikasi tube dipilih, langkah selanjutnya adalah menghitung ketebalan tube minimum yang dibutuhkan. Tebal tube dapat dihitung dengan persamaan berikut:

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

Spesifikasi:

(Tabel 13-1 Brownell dan Young (1959))

Allowance stress (f) : 13750 psi

Corrosion allowance (C) : 0,125 in

Efisiensi pengelasan (E) : 0,85

ID : 1,94 in

Jari-jari : 0,97 in

Tebal tube : 0,20 in

Tebal tube standar : 0,25 in

(Brownell & Young, 1959).

2. Menghitung jumlah tube

Setelah volume katalis terhitung dan panjang tube telah ditentukan, maka dapat dihitung kebutuhan tube reaktor.

V_{cat} : 5,250 m³

L_{tube} : 6 m

Jari-jari : 0,0246 m

$$\begin{aligned}\text{Volume per tube } (V_{\text{tube}}) &= \pi \times r^2 \times L_{\text{tube}} \\ &= 0,0114 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah tube} &= \frac{V_{\text{cat}}}{V_{\text{tube}}} \\ &= 460\end{aligned}$$

$$\text{Jumlah tube dipilih} = 460$$

3. Menghitung volume katalis

Volume tube : 0,0114 m³

Jumlah tube : 460

$$V_{\text{cat}} = V_{\text{tube}} \times n_{\text{tube}}$$

$$V_{\text{cat}} = 0,0114 \text{ m}^3 \times 460$$

$$V_{\text{cat}} = 5,250 \text{ m}^3$$

4. Menghitung tebal shell

Tebal shell (ts) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

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

Spesifikasi:

Allowance stress (f) : 13750 psi (Tabel 13-1

Brownell dan Young (1959))

Corrosion allowance (C) : 0,125 in

Efisiensi pengelasan (E) : 0,85

IDs : 67 in

P operasi : 30 atm

P design : 36 atm (*over design*
20%)

Tebal shell : 0,25 in

(Brownell & Young, 1959).

5. Menghitung tebal head

Tebal head (th) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

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

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

Dengan

th = *tebal head*, in

icr = *inside corner radius*, in

r = *radius of dish*, in

Dimana

icr = 1,25 in

r = 66 in

Maka didapat

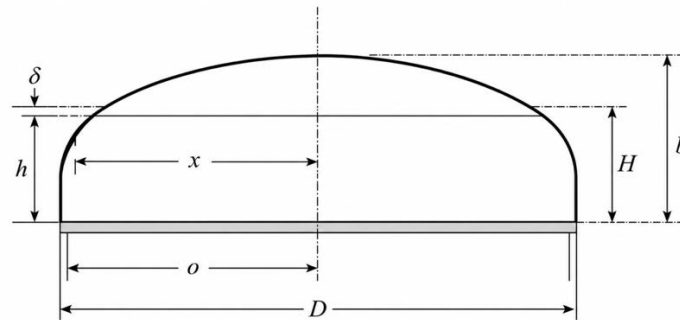
W = 2,56 in

th = 1,65 in

th standar dipilih = 1,75 in

6. Menghitung tinggi head (OA)

Tinggi head dihitung dengan cara berikut:



$$\text{Tinggi head} = th + b + sf$$

Dimana

$$b = r - \sqrt{(r - icr)^2 - \left(\frac{ID}{2} - icr\right)^2}$$

Data-data icr , r , th dapat dilihat pada Tabel 5.7 halaman 89-91 Brownell dan Young (1959). Harga sf dilihat dari Tabel 5.6 halaman 88 Brownell dan Young (1959). Data-data tersebut diperoleh sebagai berikut :

$$th = 1,75 \text{ in}$$

$$sf = 3 \text{ in}$$

$$icr = 1,25 \text{ in}$$

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

$$b = 1,25 \text{ in}$$

$$\text{maka tinggi head} = th + b + sf$$

$$= 1,75 \text{ in} + 1,25 \text{ in} + 3 \text{ in}$$

$$= 6,001 \text{ in} = 0,152 \text{ m}$$

7. Menghitung tinggi reaktor

Tinggi reaktor merupakan tinggi *tube* (Z) yang digunakan ditambah 2 x tinggi *head*. Ditentukan tinggi/panjang *tube* yang digunakan = 6 m

$$\text{Tinggi reaktor (HR)} = Z + 2 \times \text{Tinggi head}$$

$$= 6 \text{ m} + (2 \times 0,152 \text{ m})$$

$$= 6,305 \text{ m}$$

8. Menghitung saluran pemasukan dan pengeluaran gas

Diameter optimal yang ideal untuk pipa yang terbuat dari bahan *Stainless Steel SA-316 Grade C* dihitung dengan menggunakan persamaan (1.26)

(Coulson & Richardson, 1983):

$$D_{opt} = 282 G^{0,53} \rho^{-0,37}$$

Dengan,

D_{opt} = diameter dalam pipa optimum, mm.

G = kecepatan aliran massa fluida, kg/s

ρ = densitas fluida, kg/m³

a. Saluran Pemasukan Gas Umpan

Kecepatan aliran massa (G_{iin}) = 6,8201 kg/s

Densitas campuran *liquid* = 87,64034 kg/m³

Sehingga diperoleh D_{opt} sebesar 154,873 mm atau 6,097 in

Maka ditentukan D_{opt} standar sebesar 8 in

Berdasarkan Tabel 11 Kern (1950), dipilih pipa standart dengan ukuran:

IPS = 8 in

OD = 8,625 in

Schedule Number = 80

ID = 7,625 in

Flow Area per pipe = 45,7 in²

Surface per in ft Outside = 2,258 ft²

Surface per in ft Inside = 2 ft²

$$\text{Weight per in ft} = 43,4 \text{ lb steel}$$

b. Saluran Pemasukan Gas Keluar

$$\text{Kecepatan aliran massa (Giin)} = 6,8201 \text{ kg/s}$$

$$\text{Densitas campuran liquid} = 30,1581 \text{ kg/m}^3$$

Sehingga diperoleh Dopt sebesar 229,825 mm atau 9,0482 in

Maka ditentukan Dopt standar sebesar 10 in

Berdasarkan Tabel 11 Kern (1950), dipilih pipa standart dengan ukuran:

$$\text{IPS} = 10 \text{ in}$$

$$\text{OD} = 10,75 \text{ in}$$

$$\text{Schedule Number} = 40$$

$$\text{ID} = 10,02 \text{ in}$$

$$\text{Flow Area per pipe} = 78,8 \text{ in}^2$$

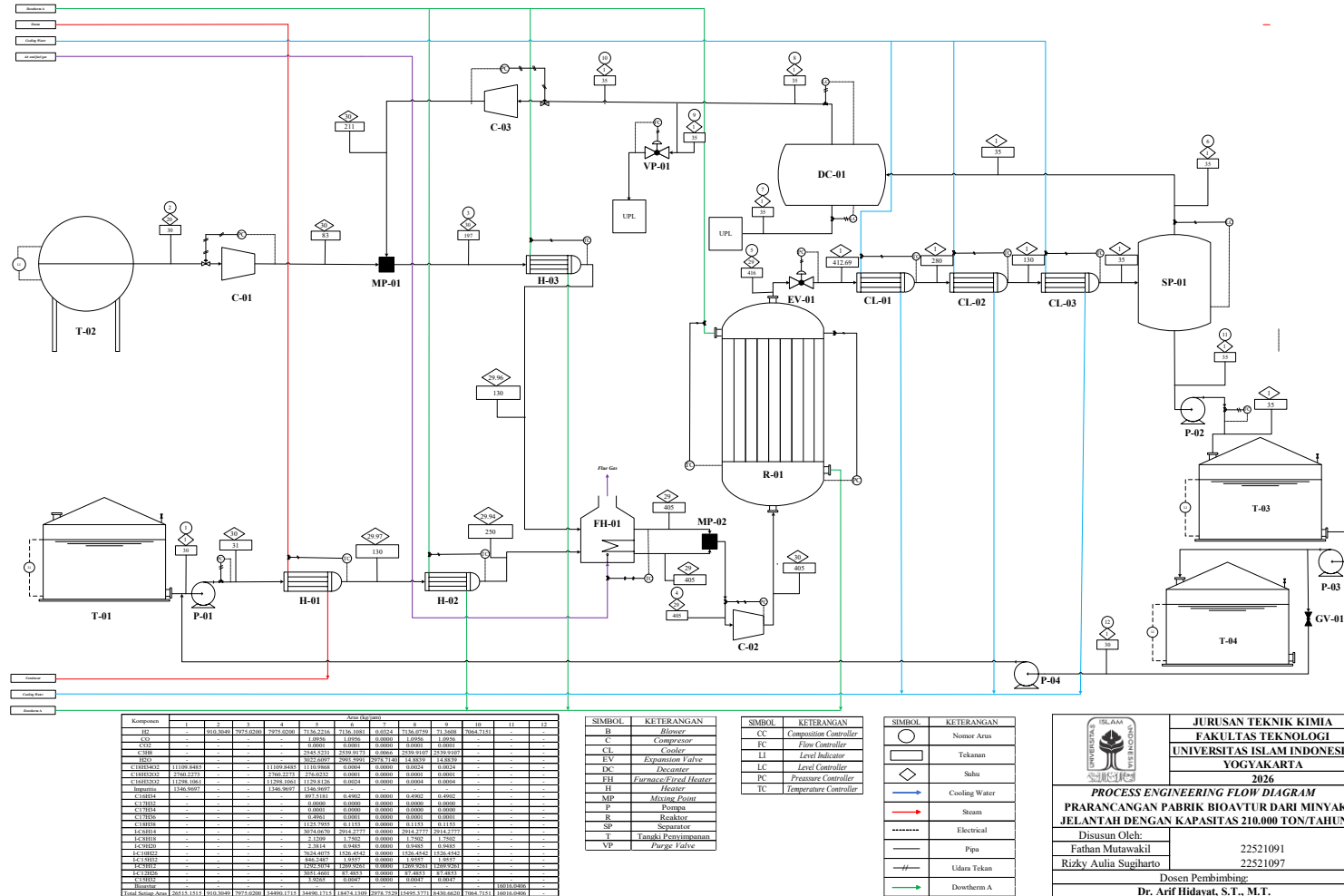
$$\text{Surface per in ft Outside} = 2,814 \text{ ft}^2$$

$$\text{Surface per in ft Inside} = 2,62 \text{ ft}^2$$

$$\text{Weight per in ft} = 40,5 \text{ lb steel}$$

**LAMPIRAN B. *PROCESS ENGINEERING FLOW
DIAGRAM (PEFD)***

PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM
PRARANCANGAN PABRIK BIOAVTUR DARI MINYAK JELANTAH DENGAN KAPASITAS 210.000 TON/TAHUN



LAMPIRAN C. KARTU KONSULTASI BIMBINGAN

KARTU KONSULTASI BIMBINGAN

PRA RANCANGAN PABRIK

Kartu Konsultasi Bimbingan

Nama Mahasiswa 1 : Fathan Mutawakil
 NIM : 22521091
 Nama Mahasiswa 2 : Rizky Aulia Sugiharto
 NIM : 22521097
 Judul Pra Rancangan Pabrik : Prarancangan Pabrik Bioavtur Dari Minyak Jelantah Dengan Kapasitas 210.000 Ton/Tahun
 Mulai Masa Bimbingan : 24 September 2025
 Selesai Masa Bimbingan : 26 Mei 2026
 Nama Dosen Pembimbing : Dr. Arif Hidayat, S.T., M.T.

No	Tanggal	Konsultasi	Paraf Dosen
1	24 September 2025	Diskusi terkait Luaran 1 Penentuan Kapasitas	
2	24 Oktober 2025	Diskusi terkait Luaran 2 Pemilihan Proses	
3	6 November 2025	Diskusi terkait Luaran 3 Penentuan Spesifikasi Bahan	
4	31 Desember 2025	Diskusi terkait Luaran 4 Pembuatan Diagram Alir Kualitatif	
5	4 Januari 2026	Diskusi terkait Luaran 5 Perhitungan Neraca Massa	
6	6 Januari 2026	Diskusi terkait Luaran 6 Perancangan Reaktor	
7	4 Maret 2026	Diskusi terkait Luaran 7 Perancangan Alat Pemisah dan Unit Operasi Pendukung	

9	6 April 2026	Diskusi terkait Luaran 9 Perancangan Alat Penyimpanan Bahan	<i>Ha.</i>
10	13 April 2026	Diskusi terkait Luaran 10 Perancangan Alat Transportasi Bahan	<i>Ha.</i>
11	20 April 2026	Diskusi terkait Luaran 11 Perancangan Alat Penukar Panas	<i>Ha.</i>
12	27 April 2026	Diskusi terkait Luaran 12 Perhitungan Neraca Panas	<i>Ha.</i>
13	4 Mei 2026	Diskusi terkait Luaran 13 Penentuan Lokasi, Tata Letak Pabrik, dan Struktur Organisasi Perusahaan	<i>Ha.</i>
14	7 Mei 2026	Diskusi terkait Luaran 14 Perancangan Unit Utilitas	<i>Ha.</i>
15	15 Mei 2026	Diskusi terkait Luaran 15 Perhitungan Evaluasi Ekonomi	<i>Ha.</i>
16	20 Mei 2026	Diskusi terkait Luaran 16 Penyusunan Naskah	<i>Ha.</i>

Yogyakarta, 25 Mei 2026

Dosen Pembimbing



Dr. Arif Hidayat, S.T., M.T.

NIK 005220101