

**PRARANCANGAN PABRIK *BIO-OIL* DARI TANDAN KOSONG
KELAPA SAWIT (TKKS) DENGAN KAPASITAS 200.000 TON/TAHUN**

**Tugas Khusus
(Perancangan *Condenser Partial*)**

(Tugas Akhir)

Oleh:

JAUZA KHOERUNNISA

2015041063



JURUSAN TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2026

ABSTRAK

PRARANCANGAN PABRIK *BIO-OIL* DARI TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT (TKKS) DENGAN KAPASITAS 200.000 TON/TAHUN (Tugas Khusus Perancangan *Condenser Partial*)

Oleh
JAUZA KHOERUNNISA

Bio-oil merupakan salah satu produk industri kimia yang digunakan sebagai bahan bakar diesel atau digunakan sebagai bahan baku dalam industri petrokimia pembangkit listrik, transportasi, dan produksi kimia. Bio-oil dapat di produksi dengan proses pirolisis cepat dan pirolisis lambat. Penyediaan kebutuhan utilitas pabrik berupa sistem pengolahan dan penyediaan air, *cooling water*, sistem penyediaan udara kering, sistem pembangkit tenaga listrik, sistem refrigerasi dan sistem pembakaran gas.

Kapasitas produksi pabrik direncanakan 200.000 ton/tahun dengan 330 hari kerja dalam 1 tahun. Lokasi pabrik direncanakan didirikan di daerah Bekri, Lampung Tengah. Tenaga kerja yang dibutuhkan sebanyak 147 orang dengan bentuk badan usaha Perseroan Terbatas (PT) yang dipimpin oleh seorang Direktur Utama yang dibantu oleh Direktur Produksi dan Direktur Keuangan dengan struktur organisasi *line and staff*.

Dari analisis ekonomi, diperoleh :

<i>Fixed Capital Investment</i> (FCI)	= Rp1.415.541.152.979,75
<i>Working Capital Investment</i> (WCI)	= Rp353.885.288.244,94
<i>Total Cost Investment</i> (TCI)	= Rp1.769.426.441.224,69
<i>Break Event Point</i> (BEP)	= 34,10%
<i>Shut Down Point</i> (SDP)	= 11,25%
<i>Pay Out Time after Taxes</i> (POT) _a	= 2,415 tahun
<i>Return on Investment before taxes</i> (ROI) _b	= 30,80%
<i>Return on Investment after taxes</i> (ROI) _a	= 24,64%
<i>Discounted Cash Flow</i> (DCF)	= 44,66%

Mempertimbangkan rangkuman di atas, sudah selayaknya pendirian pabrik Bio-oil ini dikaji lebih lanjut, karena merupakan pabrik yang menguntungkan dan mempunyai prospek yang baik.

Kata Kunci : Pabrik Bio-oil, Pirolisis Cepat, *Condenser Partial*

ABSTRACT

PRE-DESIGN OF A BIO-OIL PLANT FROM EMPTY FRUIT BUNCHES (EFB) WITH A CAPACITY OF 200.000 TONS/YEAR (Condenser Partial Design)

**By
JAUZA KHOERUNNISA**

Bio-oil is one of the important products in the chemical industry, used as a diesel fuel substitute or as a raw material in petrochemical industries, power generation, transportation, and chemical manufacturing. Bio-oil can be produced through fast pyrolysis or slow pyrolysis processes. The required plant utilities include water treatment and supply systems, cooling water systems, dry air supply systems, power generation systems, refrigeration systems, and gas combustion systems.

The plant is designed with a production capacity of 200,000 tons per year, operating 330 days annually. The proposed plant location is Bekri, Central Lampung. The workforce requirement is 147 employees. The business entity will be established as a Limited Liability Company (PT), led by a President Director, assisted by a Production Director and a Finance Director, with an organizational structure based on the line-and-staff model.

From the economic analysis, the following results were obtained :

Fixed Capital Investment (FCI)	= Rp1.415.541.152.979,75
Working Capital Investment (WCI)	= Rp353.885.288.244,94
Total Cost Investment (TCI)	= Rp1.769.426.441.224,69
Break Event Point (BEP)	= 34,10%
Shut Down Point (SDP)	= 11,25%
Pay Out Time after Taxes (POT) _a	= 2,415 years
Return on Investment before taxes (ROI) _b	= 30,80%
Return on Investment after taxes (ROI) _a	= 24,64%
Discounted Cash Flow (DCF)	= 44,66%

Considering the summary above, the establishment of this bio-oil plant deserves further evaluation, as it is a profitable project with strong future prospects.

Keywords : Bio-oil Plant, Fast Pyrolysis, Condenser Partial

**PRARANCANGAN PABRIK *BIO-OIL* DARI TANDAN KOSONG
KELAPA SAWIT (TKKS) DENGAN KAPASITAS 200.000 TON/TAHUN
(Tugas Khusus Perancangan *Condenser Partial*)**

Oleh

**Jauza Khoerunnisa
2015041063**

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknik Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

Judul Skripsi : PRARANCANGAN PABRIK BIO-OIL DARI
TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT (TKKS)
DENGAN KAPASITAS 200.000 TON/TAHUN
(Tugas Khusus Perancangan *Condenser Partial*)

Nama Mahasiswa : Jauza Khoerunnisa

No. Pokok Mahasiswa : 2015041063

Jurusan : Teknik Kimia

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI
Komisi Pembimbing


Ir. Azhar, M.T.
NIP. 196604011995011001


Panca Nugrahini F., S.T., M.T.
NIP. 197302032000032001



Ketua Jurusan Teknik Kimia


Yuli Darni, S.T., M.T.
NIP. 197407122000032001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Ir. Azhar, M.T.

Sekretaris : Panca Nugrahini F., S.T., M.T.

Penguji
Bukan Pembimbing : Ir. Lilis Hermida, S.T., M.Sc., Ph.D.

Dr. Elida Purba, S.T., M.Sc.



Dr. H. Ahmad Herison, S.T., M.T.

NIP. 196910302000031001

Three handwritten signatures of the examiners, each followed by a dotted line for a name or title.

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 30 Januari 2026

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atas pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana diterbitkan dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan pada skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 11 Maret 2026



Jauza Khoerunnisa

NPM. 2015041063

RIWAYAT HIDUP



Jauza Khoerunnisa, penulis laporan ini dilahirkan di Jakarta pada tanggal 23 Januari 2002, putri dari pasangan Bapak Asep Edy Hidayat dan Ibu Mega Yunita Pasrah.

Penulis menyelesaikan TK Sejahtera Jakarta pada tahun 2008, pendidikan sekolah dasar di SDN 09 Johar Baru Jakarta pada tahun 2014, pendidikan sekolah menengah di SMPN 77 Jakarta pada tahun 2017 dan pendidikan sekolah menengah atas di SMAN 4 Jakarta pada tahun 2020.

Pada tahun 2020, penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam organisasi kemahasiswaan, yaitu Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung (Himatemia FT Unila) sebagai Staff Departemen Minat dan Bakat Periode 2021 hingga 2022.

Pada tahun 2023, penulis melakukan Kerja Praktik (KP) di PT. Indocement Tunggul Prakasa Tbk., Citeureup dengan Tugas Khusus "Evaluasi Kinerja Alat *Suspension Preheater* pada Unit *Kiln Plant 5*" dan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Penyandingan, Kecamatan Bengkunt, Kabupaten Pesisir Barat di tahun 2023. Pada tahun 2024, penulis melakukan penelitian dengan judul "Pembuatan Pupuk Organik Granul (POG) Dari Kompos Berbahan Baku *Sludge* Luaran Digester Biogas – Kulit Kopi Menggunakan Perekat *sludge* IPAL Industri Karet Dengan Pelarut *Bioslurry* Cair".

Motto

"Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya"
(QS. Al-Baqarah: 286)

"Jadikanlah sabar dan sholat sebagai penolongmu. Dan sesungguhnya yang demikian itu sungguh berat, kecuali bagi orang-orang yang khusyu"
(QS. At-Baqarah: 45)

"Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan"
(QS. Al-Insyirah: 5)

"Setiap kesulitan selalu ada kemudahan"

Persembahan

*Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha
Penyayang.*

Kupersembahkan karya kecilku ini kepada

Allah yang Maha Esa.

Tuhan yang penuh kasih dan senantiasa menyertai.

Kemuliaan hanya bagi Engkau.

*Kedua orang tuaku, Ayah dan Bunda tercinta, terimakasih yang tak
terhingga untuk segala kasih dan sayang yang hingga detik ini masih
senantiasa tercurah. Abang tersayang, adik tersayang dan keluarga -
keluargaku, terimakasih banyak untuk doa dan dukungannya selama ini.*

Sahabat - sahabatku tersayang.

Terimakasih selalu ada dan menemani dengan setulus hati.

Serta kupersembahkan kepada Almamaterku.

Semoga dapat berguna dikemudian hari.

SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT atas segala rahmat, karunia, lindungan, dan hidayah-Nya yang telah dicurahkan sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Prarancangan Pabrik Bio-oil dari Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dengan Kapasitas 200.000 Ton/Tahun (Tugas Khusus Perancangan *Condenser Partial*)”, sebagai salah satu syarat yang harus dipenuhi mahasiswa Program Studi Teknik Kimia untuk menyelesaikan studi di Fakultas Teknik Universitas Lampung sesuai pada waktu yang telah ditentukan.

Penulis menyadari banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak selama pengerjaan laporan tugas akhir dan seminar tugas akhir. Melalui kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Yuli Darni, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
2. Dr. Sri Ismiyati Damayanti, S.T., M.Eng., selaku dosen Pembimbing Akademik dan Penelitian di Universitas Lampung yang telah memberikan banyak dukungan dan nasehat selama perkuliahan.
3. Ir. Azhar, M.T., selaku Dosen Pembimbing I yang telah meluangkan waktunya dalam memberikan arahan, bimbingan, dan dukungannya dalam penyelesaian skripsi dengan sabar. Banyak ilmu yang penulis dapatkan, semoga ilmu yang diberikan tersebut dapat berguna dikemudian hari.
4. Panca Nugrahini F., S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II yang selalu memberikan dukungan, masukan, serta kritik dan saran yang sangat bermanfaat

dalam penyusunan skripsi ini. Semoga ilmu yang diberikan tersebut dapat berguna dikemudian hari.

5. Dr. Elida Purba, S.T., M.Sc., selaku dosen penguji I yang telah memberikan kritik dan saran dalam penyelesaian tugas akhir.
6. Ir. Lilis Hermida, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku dosen penguji II yang telah memberikan kritik dan saran dalam penyelesaian tugas akhir.
7. Orang tuaku tercinta yang selalu memberikan doa, dukungan, dan semangat yang tiada hentinya. Terimakasih atas segala hal yang telah diberikan, cinta kasih, doa, kehangatan, pengorbanan, dan kesabaran dalam mendidik penulis sehingga penulis dimampukan menyelesaikan studi. Terimakasih telah menjadi pendengar segala keluh kesah dan cerita penulis selama berkuliah. Terimakasih sudah selalu mengusahakan yang terbaik untuk penulis.
8. Abiyyu dan Badrul, abangku dan adikku, teman berantem dan berdiskusi, yang mungkin tampak cuek dan tidak banyak menunjukkan perhatian, namun sesungguhnya merupakan sosok yang paling peduli dan senantiasa mengingankanku dalam keadaan baik.
9. Seluruh Dosen dan Civitas Akademika di jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung atas semua ilmu dan bantuan yang telah diberikan selama ini.
10. Khairunnisa Lubis sebagai partner tugas akhir, penulis mengucapkan terima kasih atas segala dukungan, kerja sama, dan dedikasi yang telah diberikan. Terima kasih telah bersedia menjadi partner dalam proses penyusunan tugas akhir ini serta berjuang bersama melalui berbagai tahapan yang tidak mudah, penuh tantangan, dan menguras emosi. Proses ini dapat dilalui berkat kebersamaan, ketekunan, serta saling menguatkan satu sama lain. Terima kasih pula atas dukungan, kesediaan untuk mendengarkan, dan perhatian yang senantiasa diberikan.
11. Deva, Echa, Hotna, Novita, dan Pecah selaku teman yang selalu bersedia menjadi tempat untuk bercerita dan berkeluh kesah, memberikan dukungan, semangat, dan doa.

12. Teman-teman angkatan 2020 yang juga senantiasa saling memberikan bantuan dan dukungan.

Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini, penulis menyadari masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis berharap adanya kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan laporan dan semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Bandar Lampung, 11 Maret 2026

Jauza Khoerunnisa

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT.....	ii
COVER DALAM.....	iii
PERSETUJUAN.....	iv
PENGESAHAN.....	v
PERNYATAAN.....	vi
RIWAYAT HIDUP.....	vii
MOTTO.....	viii
PERSEMBAHAN.....	ix
SANWACANA.....	x
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR	xix
I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Kegunaan Produk.....	2
1.3. Ketersediaan Bahan Baku	2
1.4. Analisis Pasar	4
1.4.1. Kebutuhan Pasar Domestik	5
1.4.2. Pasar Regional dan Industri Lokal	5
1.4.3. Pasar Ekspor Terdekat.....	6
1.5. Kapasitas Produksi	6
1.5.1. Data Konsumsi Biodiesel di Dalam Negeri	7
1.5.2. Data Produksi Biodiesel (B40) di Indonesia.....	8
1.5.3. Ketersediaan Bahan Baku	9

1.6. Pemilihan Lokasi Pabrik	11
1.6.1. Faktor Primer	11
1.6.2. Faktor Sekunder	12
II DESKRIPSI PROSES	15
2.1. Perancangan Proses	15
2.1.1. Proses Pirolisis Cepat	15
2.1.2. Proses Pirolisis lambat	16
2.2. Tinjauan Termodinamika	16
2.2.1. Proses Pirolisis Cepat	16
2.2.2. Proses Pirolisis Lambat	18
2.3. Pemilihan Proses Bio-oil	21
2.4. Uraian Proses	22
2.4.1. Tahap Persiapan Bahan Baku	22
2.4.2. Tahap Reaksi di Dalam Reaktor	23
III SPESIFIKASI BAHAN	25
3.1. Bahan Baku	25
3.1.1. Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)	25
3.2. Produk	27
3.2.1. Bio-oil	27
3.2.2. Biochar	28
IV NERACA MASSA DAN NERACA ENERGI	29
4.1. Neraca Massa	29
4.1.1. Shredder (SR-101)	31
4.1.2. Ball Mill (DM-101)	31
4.1.3. Vibrating Screen (VS-101)	32
4.1.4. Fluidized Bed Dryer (D-101)	33
4.1.5. Rotary Screw Reactor (RE-201)	34
4.1.6. Cyclone (CY-301)	37
4.1.7. Cooler (CO-301)	38
4.1.8. Condenser (C-301)	39
4.1.9. Mixing Tank (MT-301)	40
4.1. 10. Decanter (DEC-301)	41

4.2. Neraca Energi.....	41
4.2.1. Fluidized Bed Dryer (D-101).....	46
4.2.2. Rotary Screw Reactor	46
4.2.3. Cooler (CO-301)	48
4.2.4. Condenser (C-301).....	48
V SPESIFIKASI ALAT	50
5.1 Alat proses.....	50
5.1.1. Stockpile (STK-101)	50
5.1.2. Chain Conveyor (CC-101)	51
5.1.3. Shredder (SH-101)	52
5.1.4. Belt Conveyor (BC-101)	53
5.1.5. Ball Mill (BM-101).....	54
5.1.6. Vibrating Screen.....	56
5.1.7. Pneumatic Conveyor (PC-101)	57
5.1.8. Pneumatic Conveyor (PC-102)	58
5.1.9. Blower (BL-101).....	60
5.1.10. Heater (H-101)	60
5.1.11. Fluidized Bed Dryer (RD-101)	61
5.1.12. Pneumatic Conveyor (PC-103)	63
5.1.13. Silo Storage (SS-101).....	64
5.1.14. Screw Feeder (SF-101)	65
5.1.15. Rotary Screw Reactor (RE-201)	66
5.1.16. Pneumatic Conveyor (PC-201)	67
5.1.17. Silo Bio-Char (SB-201)	69
5.1.18. Cyclone (CY-301).....	70
5.1.19. Fan (F-301)	71
5.1.20. Cooler (CO-301)	72
5.1.21. Condenser (CD-301).....	73
5.1.22. Demulsifier Tank (DT-301)	75
5.1.23. Pompa (P-301)	76
5.1.24. Mixing Tank (MT-301).....	77
5.1.25. Decanter (DEC-301)	78

5.1.26. Pompa (P-302)	79
5.1.27. Storage Tank (ST-301).....	80
5.2. Alat Utilitas	81
5.2.1. Pompa Utilitas (PU-401).....	81
5.2.2. Bak Sedimentasi (BS-401).....	81
5.2.3. Pompa Utilitas (PU-402).....	82
5.2.4. Storage Tank (ST-401).....	82
5.2.5. Dissolving Tank (DT-401).....	83
5.2.6. Pompa Utilitas (PU-403).....	83
5.2.7. Dissolving Tank (DT-402).....	84
5.2.8. Pompa Utilitas (PU-404).....	84
5.2.9. Dissolving Tank (DT-403).....	85
5.2.10. Pompa Utilitas (PU-405).....	86
5.2.11. Clarifier (CL-401)	86
5.2.12. Pompa Utilitas (PU-406).....	87
5.2.13. Sand Filter (SF-401).....	87
5.2.14. Pompa Utilitas (PU-407).....	88
5.2.15. Storage Tank (ST-402).....	88
5.2.16. Pompa Utilitas (PU-408).....	89
5.2.17. Pompa Utilitas (PU-409).....	90
5.2.18. Pompa Utilitas (PU-410).....	90
5.2.19. Storage Tank (ST-403).....	91
5.2.20. Storage Tank (ST-404).....	91
5.2.21. Pompa Utilitas (PU-411).....	92
5.2.22. Hot Basin (HB-401)	92
5.2.23. Pompa Utilitas (PU-412).....	93
5.2.24. Storage Tank (ST-405).....	93
5.2.25. Pompa Utilitas (PU-413).....	94
5.2.26. Storage Tank (ST-406).....	94
5.2.27. Pompa Utilitas (PU-414).....	95
5.2.28. Storage Tank (ST-407).....	95
5.2.29. Pompa Utilitas (PU-415).....	96

5.2.30. Cooling Tower (CT-401)	96
5.2.31. Pompa Utilitas (PU-416).....	97
5.2.32. Air Blower (BL-501).....	97
5.1.33. Cyclone (CY-501).....	98
5.1.34. Drying Tower (DT-501).....	98
5.1.35. Regeneration Tower (RT-501).....	99
5.1.36. Storage Tank (ST-601).....	99
5.1.37. Receiver (RC-701)	100
5.1.38. Expansion Valve (EV-701)	100
5.1.39. Evaporator (EP-701)	101
5.1.40. Compressor (C-701).....	101
5.1.41. Condensor (CD-701).....	102
5.1.42. Pompa Utilitas (PU-701).....	103
5.1.43. Flare Stack (FT-801)	104
VI UTILITAS DAN PENGOLAHAN LIMBAH.....	105
6.1. Unit Pendukung Proses	105
6.2. Unit Pengolahan Limbah.....	118
6.3. Unit Laboratorium.....	119
6.4. Instrumentasi dan Pengendalian Proses	121
VII TATA LETAK PABRIK.....	123
7.1. Lokasi Pabrik	123
7.2. Tata Letak Pabrik	126
7.3. Estimasi Area Pabrik.....	129
7.4. Tata Letak Peralatan Proses	130
VIII SISTEM MANAJEMEN DAN OPERASI PERIAPAN.....	133
8.1 Bentuk Perusahaan.....	133
8.2 Struktur Organisasi Perusahaan	135
8.3 Tugas dan Wewenang	137
8.4 Status Karyawan dan Sistem Penggajian	143
8.5 Pembagian Jam Kerja Karyawan	143
8.6 Penggolongan Jabatan dan Jumlah Karyawan	145
8.7 Kesejahteraan Karyawan.....	149

IX INVESTASI DAN EVALUASI EKONOMI	152
9.1. Investasi	152
9.2. Evaluasi Ekonomi	155
9.3. Angsuran Pinjaman	157
9.4. Discounted Cash Flow (DCF).....	157
X KESIMPULAN DAN SARAN	159
10.1. Kesimpulan	159
10.2. Saran.....	159
DAFTAR PUSTAKA	160
LAMPIRAN	
LAMPIRAN A NERACA MASSA	
LAMPIRAN B NERACA ENERGI	
LAMPIRAN C SPESIFIKASI ALAT	
LAMPIRAN D PERHITUNGAN UTILITAS DAN PENGOLAHAN LIMBAH	
LAMPIRAN E PERHITUNGAN INVESTASI DAN EVALUASI EKONOMI	
LAMPIRAN F TUGAS KHUSUS CONDENSER PARTIAL	

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Potensi Limbah Biomassa di Provinsi Lampung	3
Tabel 1. 2 Limbah Biomassa Kelapa Sawit	3
Tabel 1. 3 Pemasok Bahan Baku Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS).....	4
Tabel 1. 4 Harga Bahan Baku dan Produk	4
Tabel 1. 5 Analisis Minat Pasar Biodiesel	6
Tabel 1. 6 Trend Pertumbuhan Biodiesel di Dalam Negri.....	7
Tabel 1. 7 Produksi Biodiesel (B40) di Indonesia	8
Tabel 1. 8 Ketersediaan TKKS berdasarkan rendemen Bio-oil	9
Tabel 2. 1 Perbandingan Metode Pembuatan Bio-Oil	21
Tabel 3. 1 Sifat Fisik Tandan Kosong Kelapa Sawit	25
Tabel 3. 2 Sifat Kimia Tandan Kosong Kelapa Sawit	26
Tabel 3. 3 Sifat Fisik Bio Oil	27
Tabel 3. 4 Komposisi Bio-oil	28
Tabel 3. 5 Sifat Fisik Biochar	28
Tabel 3. 6 Sifat Kimia Biochar	28
Tabel 4. 1 Neraca Massa pada Shredder (SR-101)	31
Tabel 4. 2 Neraca Massa pada Ball Mill (BM-101).....	32
Tabel 4. 3 Neraca Massa pada Vibrating Screen (VS-101)	33
Tabel 4. 4 Neraca Massa pada Fluidized Bed Dryer (D-101).....	34
Tabel 4. 5 Neraca Massa pada Masing-masing Rotary Screw Reactor	35
Tabel 4. 6 Neraca Massa Total pada RE-201 hingga RE-206	36
Tabel 4. 7 Neraca Massa pada Cyclone (CY-301).....	37
Tabel 4. 8 Neraca Massa pada Cooler (CO-301)	38
Tabel 4. 9 Neraca Massa pada Condenser (CD-301).....	39
Tabel 4. 10 Neraca Massa pada Mixing Tank (MT-301).....	40
Tabel 4. 11 Neraca Massa pada Decanter (DEC-301)	41

Tabel 4. 12 Cp Uap (J/mol.K).....	43
Tabel 4. 13 Cp Liquid (J/mol.K).....	44
Tabel 4. 14 Entalpi Uap	45
Tabel 4. 15 Neraca Energi pada Fluidized Bed Dryer (D-101)	46
Tabel 4. 16 Neraca Energi Masing-masing Rotary Screw Reactor	47
Tabel 4. 17 Neraca Energi Total pada RE-201 hingga RE-206	47
Tabel 4. 18 Neraca Energi pada Cooler (CO-301).....	48
Tabel 4. 19 Neraca Energi pada Condenser (CD-301)	49
Tabel 6. 1 Kebutuhan Air Umum.....	106
Tabel 6. 2 Persyaratan Kualitas Air Pendingin (Broughton, 1994)	107
Tabel 6. 3 Peralatan yang Membutuhkan Air Pendingin	108
Tabel 6. 4 Kebutuhan Air Pabrik	111
Tabel 6. 5 Tingkatan Kebutuhan Informasi dan Sistem Pengendalian	122
Tabel 6. 6 Pengendalian Variabel Utama Proses	122
Tabel 7. 1 Pembagian Luas Area Pabrik Bio Oil.....	129
Tabel 8. 1 Jadwal Kerja Masing-masing Regu	145
Tabel 8. 2 Perincian Tingkat Pendidikan	145
Tabel 8. 3 Jumlah Operator Berdasarkan Jenis Alat Proses.....	147
Tabel 8. 4 Jumlah Operator Berdasarkan Jenis Alat Utilitas	147
Tabel 8. 5 Perincian Jumlah Karyawan Berdasarkan Jabatan.....	148
Tabel 9. 1 Perincian Total Capital Investment (TCI) Pabrik Bio-oil.....	153
Tabel 9. 2 Perincian TPC Pabrik Bio-oil	154
Tabel 9. 3 Minimum Acceptable Persent Return On Investment	155
Tabel 9. 4 Acceptable Payout Time untuk Tingkat Resiko Pabrik.....	156
Tabel 9. 5 Hasil Uji Kelayakan Ekonomi	158

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Trend Konsumsi Bio-oil di Dalam Negri.....	7
Gambar 1. 2 Pantauan Satelit Lokasi Pabrik, Lampung	13
Gambar 1. 3 Lokasi Pabrik Bio-oil Lampung Tengah, Lampung.....	14
Gambar 3. 1 Rumus Molekul Tandan Kelapa Sawit	26
Gambar 4. 1 Aliran Neraca Massa Shredder (SR-101).....	31
Gambar 4. 2 Aliran Neraca Massa Ball Mill (BM-101)	31
Gambar 4. 3 Aliran Neraca Massa Vibrating Screen (VS-101).....	32
Gambar 4. 4 Aliran Neraca Massa Fluidized Bed Dryer (D-101)	33
Gambar 4. 5 Aliran Neraca Massa Rotary Screw Reactor (RE-201).....	34
Gambar 4. 6 Aliran Neraca Massa Cyclone (CY-301)	37
Gambar 4. 7 Aliran Neraca Massa Cooler (CO-301).....	38
Gambar 4. 8 Aliran Neraca Massa Condenser (CD-301)	39
Gambar 4. 9 Aliran Neraca Massa Mixing Tank (MT-301)	40
Gambar 4. 10 Aliran Neraca Massa Decanter (DEC-301).....	41
Gambar 4. 11 Aliran Neraca Energi Fluidized Bed Dryer (D-101).....	46
Gambar 4. 12 Aliran Neraca Energi Rotary Screw Reactor	46
Gambar 4. 13 Aliran Neraca Energi Cooler (CL-301).....	48
Gambar 4. 14 Aliran Neraca Energi Condenser (CD-301).....	48
Gambar 5. 1 Stockpile.....	50
Gambar 5. 2 Chain Conveyor.....	51
Gambar 5. 3 Shredder	52
Gambar 5. 4 Belt Conveyor	53
Gambar 5. 5 Ball Mill	54
Gambar 5. 6 Vibrating Screen.....	56
Gambar 5. 7 Pneumatic Conveyor	57
Gambar 5. 8 Pneumatic Conveyor	58

Gambar 5. 9 Blower	59
Gambar 5. 10 Heater	60
Gambar 5. 11 Fluidized Bed Dryer	61
Gambar 5. 12 Pneumatic Conveyor	62
Gambar 5. 13 Silo Storage	63
Gambar 5. 14 Screw Conveyor	65
Gambar 5. 15 Rotary Screw Reactor.....	66
Gambar 5. 16 Pneumatic Conveyor	67
Gambar 5. 17 Silo Bio-char	68
Gambar 5. 18 Cyclone.....	69
Gambar 5. 19 Fan.....	70
Gambar 5. 20 Cooler	71
Gambar 5. 21 Condenser.....	72
Gambar 5. 22 Demulsifier Tank.....	75
Gambar 5. 23 Pompa.....	76
Gambar 5. 24 Mixing Tank.....	77
Gambar 5. 25 Decanter	78
Gambar 5. 26 Pompa.....	79
Gambar 5. 27 Storage Tank	80
Gambar 6. 1 Cooling Tower.....	109
Gambar 6. 2 Diagram Cooling Water System	110
Gambar 6. 3 Refrigerant Cycle	117
Gambar 7. 1 Peta Provinsi Lampung	125
Gambar 7. 2 Pantauan Satelit Lokasi Pabrik.....	126
Gambar 7. 3 Lokasi Pabrik Bio-oil	126
Gambar 7. 4 Tata Letak Area Pabrik	130
Gambar 7. 5 Tata Letak Peralatan Proses	132
Gambar 8. 1 Struktur Organisasi Perusahaan	136
Gambar 9. 1 Grafik BEP dan SDP	157
Gambar 9. 2 Grafik Discounted Cash Flow	158

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia menghadapi tantangan besar dalam memenuhi kebutuhan energi nasional yang terus meningkat seiring pertumbuhan penduduk dan aktivitas ekonomi. Untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil dan menekan dampak lingkungan, pemerintah mendorong pengembangan energi terbarukan sebagai prioritas nasional. Salah satu sumber energi terbarukan yang potensial adalah *Bio-oil*, bahan bakar cair yang dihasilkan dari proses pirolisis biomassa lignoselulosa. *Bio-oil* dapat dimanfaatkan di sektor energi, industri kimia, dan petrokimia sebagai alternatif ramah lingkungan.

Provinsi Lampung memiliki keunggulan strategis dalam pengembangan *Bio-oil* karena tersedianya bahan baku biomassa yang melimpah. Sebagai penghasil utama kelapa sawit, tebu, dan singkong, Lampung menghasilkan limbah pertanian seperti tandan kosong kelapa sawit (TKKS), *bagasse* (ampas tebu), dan limbah singkong yang kaya akan selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Limbah-limbah ini sangat cocok untuk dikonversi menjadi *Bio-oil* melalui proses pirolisis cepat. Pemanfaatan biomassa ini tidak hanya mengurangi limbah pertanian, tetapi juga memberi nilai tambah pada sektor pertanian dan energi daerah.

Melihat potensi tersebut, pendirian pabrik *Bio-oil* di Provinsi Lampung menjadi langkah strategis untuk menjawab kebutuhan energi lokal yang terus meningkat, khususnya di sektor industri, transportasi, dan rumah tangga. Pabrik ini akan memanfaatkan biomassa lokal sebagai bahan baku utama, sehingga menciptakan sistem energi yang mandiri, bersih, dan berkelanjutan.

Selain itu, keberadaan pabrik akan mendorong pertumbuhan industri energi terbarukan, menciptakan lapangan kerja baru, dan menggerakkan ekonomi masyarakat pedesaan di sekitar lokasi pabrik.

Dengan dukungan pemerintah daerah, insentif kebijakan, dan penerapan teknologi yang tepat, Lampung memiliki potensi besar untuk menjadi pusat pengembangan Bio-oil di Indonesia. Pendirian pabrik Bio-oil bukan hanya solusi energi, tetapi juga bagian dari strategi pembangunan berkelanjutan yang menggabungkan aspek lingkungan, sosial, dan ekonomi secara seimbang.

1.2. Kegunaan Produk

Bio-oil memiliki keunggulan sumber daya yang melimpah, terbarukan, mudah dikirim, dan kepadatan energi tinggi, sehingga memberikan potensi sebagai bahan bakar cair dan bahan baku kimia (Wang et al., 2010). Bio-oil dapat digunakan sebagai bahan bakar diesel atau digunakan sebagai bahan baku dalam industri petrokimia (Varma et al., 2019), pembangkit listrik, transportasi, dan produksi kimia (Anil et al., 2019).

1.3. Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan dalam proses prarancangan pabrik ini yaitu Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) untuk pembuatan Bio-oil. Indonesia memiliki keunggulan dalam memanfaatkan biomassa untuk pembuatan Bio-oil salah satunya ialah segi ketersediaan bahan baku. Indonesia merupakan negara yang kaya akan limbah pertanian seperti kelapa sawit, tebu, kopi, singkong dan padi serta limbah hutan yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku untuk produksi Bio-oil. Potensi limbah biomassa di provinsi Lampung dapat dilihat pada Tabel 1.1.

Tabel 1. 1 Potensi Limbah Biomassa di Provinsi Lampung

No.	Sumber Limbah Biomassa	Potensi (Ton/Tahun)	Referensi
1.	Kelapa Sawit	15.704.960	news.infosawit.com
2.	Jagung	9.947.960	kupastuntas.com
3.	Karet	8.275.000	Badan Pusat Statistika
4.	Padi	7.691.429	antaranews.com
5.	Singkong	7.620.000	antaranews.com
6.	Tebu	7.060.000	kumparan.com
7.	Kopi	1.551.650	lampungprov.go.id

Dari analisa potensi limbah biomassa di provinsi Lampung yang telah dijabarkan diatas dengan mempertimbangkan potensi untuk kapasitas produksi, dipilihlah bahan baku yang berasal dari limbah biomassa kelapa sawit. Limbah yang dihasilkan dari perkebunan kelapa sawit meliputi berapa jenis, jenis limbah biomassa kelapa sawit dapat dilihat pada Tabel 1.2.

Tabel 1. 2 Limbah Biomassa Kelapa Sawit

No.	Limbah Biomassa Kelapa Sawit	Potensi (Ton/Tahun)
1.	Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)	5.889.360
2.	Serat Sawit	3.926.240
3.	Daun Sawit	2.944.680
4.	Cangkang Sawit	1.570.496
5.	Batang Sawit	25-30 tahun (habis produksi)

(Sumber : news.infosawit.com)

Limbah biomassa yang paling besar dihasilkan perkebunan kelapa sawit ialah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) sebesar 5.889.360 ton/tahun. Dengan mempertimbangkan potensi limbah biomassa kelapa sawit, dipilihlah bahan baku utama tandan kosong kelapa sawit (TKKS) untuk produksi Bio-oil. Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dapat diperoleh dari produsen-produsen dalam negeri. Pemasok bahan baku tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dapat dilihat pada Tabel 1.3.

Tabel 1. 3 Pemasok Bahan Baku Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

No.	Produsen	Lokasi	Kapasitas (Ton/Tahun)
1.	PT Perkebunan Nusantara 7 Unit Bekri	Bekri, Lampung Tengah	523.775
2.	Tunas Baru Lampung	Terbanggi Besar, Lampung Tengah	1.855.560
3.	PT Anaktuha Sawit Mandiri	Wates, Lampung Tengah	60.444

(Sumber : news.infosawit.com)

Dari analisa pemasok bahan baku yang telah dijabarkan diatas dengan mempertimbangkan potensi kapasitas untuk kapasitas produksi. Berdasarkan pertimbangan tersebut dipilihlah untuk pemasok TKKS untuk pembuatan bio-oil dari PT Perkebunan Nusantara VII. Berikut harga bahan baku dan produk dapat dilihat pada Tabel 1.4.

Tabel 1. 4 Harga Bahan Baku dan Produk

Keterangan	Material	Harga/ton (Rp)	Referensi
Produk	Bio-oil	10.954.569	Fanany, et al (2023)
Bahan Baku	TKKS	13.500	media.neliti.com

Kurs 1 USD = 16.228 <https://www.bi.go.id> (diakses pada 30 Mei 2025)

1.4. Analisis Pasar

Analisa pasar merupakan langkah penting untuk mengetahui minat pasar terhadap produk *Bio-oil* sebagai produk *intermediate*. Target pasar prarancangan pabrik *Bio-oil* ini meliputi Indonesia dan luar negeri. Provinsi Lampung memiliki potensi strategis untuk pengembangan industri *Bio-oil* karena didukung oleh keberadaan industri kelapa sawit, infrastruktur logistik yang baik, serta kedekatan dengan pasar utama seperti Jawa dan Sumatera Selatan. *Bio-oil* yang dihasilkan nantinya akan dijual kepada perusahaan pengolahan diesel dan industri terkait sebagai bahan baku untuk produksi bahan bakar dan produk kimia lebih lanjut. Oleh karena itu, penting untuk menganalisis minat dan ketersediaan pasar (*off-taker*) terhadap Bio-oil baik secara lokal maupun regional guna memastikan kelayakan pendirian pabrik.

1.4.1. Kebutuhan Pasar Domestik

a. Pertamina Patra Niaga

Sebagai BUMN yang bertanggung jawab atas distribusi BBM bersubsidi dan BBN (bahan bakar nabati), Pertamina adalah pembeli utama biodiesel di Indonesia, termasuk dari Lampung. Dalam skema Mandatori B40, Pertamina menyerap biodiesel dari produsen lokal melalui tender resmi yang dilakukan oleh Kementerian ESDM.

- 1) Minat pembelian tinggi dan terjamin, karena bersifat wajib dan dijamin oleh regulasi negara.
- 2) Permintaan nasional Pertamina untuk biodiesel tahun 2023 mencapai 12 juta kiloliter, dan sebagian besar berasal dari wilayah Sumatera termasuk Lampung.

b. Perusahaan Swasta

Selain Pertamina, terdapat permintaan dari perusahaan energi swasta seperti:

- 1) PT AKR Corporindo
- 2) Shell Indonesia
- 3) ExxonMobil Lubricants Indonesia

Perusahaan-perusahaan ini membeli biodiesel untuk pencampuran sendiri atau penjualan ritel kepada industri, dan menunjukkan tren peningkatan konsumsi B40. Lokasi Lampung yang dekat dengan Pelabuhan Panjang membuat distribusi ke wilayah Jawa lebih efisien, menjadikannya lokasi menarik untuk pemasok regional.

1.4.2. Pasar Regional dan Industri Lokal

Lampung juga memiliki kawasan industri seperti Kawasan Industri Way Lunik dan klaster manufaktur lain yang berpotensi menjadi konsumen tetap biodiesel, terutama untuk keperluan pembangkit energi industri dan transportasi internal. Kebutuhan ini masih tergolong potensial dan belum tergarap secara maksimal.

Contoh pemanfaatan biodiesel untuk industri lokal:

- 1) Pabrik pengolahan sawit (PKS) dan agroindustri yang memerlukan energi panas dan listrik dari genset.
- 2) Perusahaan logistik dan pertanian yang menggunakan armada berbahan bakar diesel.

1.4.3. Pasar Ekspor Terdekat

Meskipun pasar ekspor seperti Uni Eropa mengalami kendala akibat EUDR, peluang ekspor biodiesel dari Lampung masih terbuka ke negara-negara seperti:

- 1) China – TBLA pernah mengekspor 20.000 ton biodiesel ke sana.
- 2) Thailand, Korea Selatan, dan Taiwan – membuka pasar untuk biodiesel berbasis CPO dengan syarat sustainability dipenuhi.

Jika pabrik biodiesel yang direncanakan mampu menghasilkan produk dengan standar EN 14214 (Eropa) atau ASTM D6751 (AS), maka peluang ekspor menjadi lebih besar, walaupun membutuhkan investasi tambahan dalam sistem mutu dan sertifikasi.

Tabel 1. 5 Analisis Minat Pasar Biodiesel

Sektor Pembeli	Minat	Potensi Pasokan	Catatan
Pertamina	Sangat tinggi	Stabil dan terikat regulasi	Proses tender DMO
Swasta (AKR, Shell)	Tinggi	Fleksibel dan menguntungkan	Perlu penawaran kompetitif
Industri local	Sedang	Belum tergarap maksimal	Potensial jangka Panjang
Ekspor regional	Menengah	Fluktuatif	Bergantung pada standar mutu dan logistic

1.5. Kapasitas Produksi

Penentuan kapasitas rancangan pabrik digunakan untuk melihat kapasitas yang akan diproduksi Pabrik Bio-oil berbahan baku tandan kosong kelapa sawit (TKKS). Pabrik ini rencananya akan dioperasikan pada tahun 2030. Penentuan kapasitas produksi Pabrik Bio-oil dapat dilakukan dengan mengacu pada tren pertumbuhan produksi biodiesel. Hal ini didasarkan pada fungsi bio-oil yang berperan sebagai bahan campuran dalam biodiesel. Oleh karena itu, penetapan kapasitas juga mempertimbangkan ketersediaan bahan baku yang mendukung proses produksi tersebut.

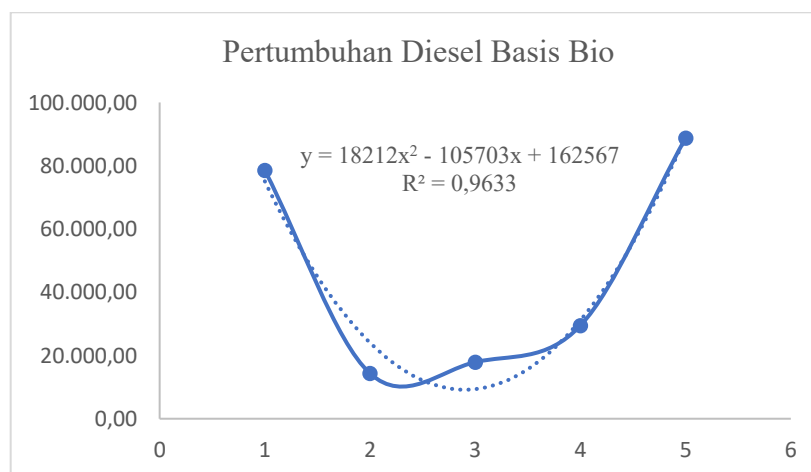
1.5.1. Data Konsumsi Biodiesel di Dalam Negeri

Kebutuhan biodiesel di dalam negeri terus meningkat seiring dengan kebijakan pemerintah dalam mendorong pemanfaatan energi terbarukan melalui program mandatori biodiesel. Data konsumsi biodiesel nasional menjadi salah satu indikator penting dalam menentukan kapasitas pabrik bio-oil, karena bio-oil memiliki potensi untuk berperan sebagai bahan baku maupun substitusi minyak nabati pada proses produksi biodiesel. Konsumsi biodiesel per tahun dapat dilihat di tabel 1.6

Tabel 1. 6 *Trend* Pertumbuhan Biodiesel di Dalam Negri

Tahun ke-	Tahun	Kg/Tahun	Ton/Tahun
1	2020	78,503.00	78.503
2	2021	14,314.00	14.314
3	2022	17,901.00	17.901
4	2023	29,473.00	29.473
5	2024	88,777.00	88.77
6	2025		
7	2026		
8	2027		
9	2028		
10	2029		
11	2030		

Sumber : Badan Pusat Statistik, 2025



Gambar 1. 1 *Trend* Konsumsi Bio-oil di Dalam Negri

Rencana pengoperasian Pabrik Biodiesel dari Biooil berbahan baku tandan kosong kelapa sawit (TKKS) adalah pada tahun 2030 :

Dimana,

$$y = ax^2 + bx + c$$

Keterangan :

y = kapasitas pada tahun ke- x

a = koefisien kuadrat

x = tahun ke- x

b = koefisien linear

c = *intercept*

Sehingga pada tahun 2030, yang merupakan tahun ke-11, diperoleh kapasitas sebesar :

$$\begin{aligned} y &= ax^2 + bx + c \\ &= 18,212 x^2 - 105,7 x + 162,57 \\ &= 18,212 (11^2) - 105,7 (11) + 162,57 \\ &= 1.203.486 \text{ ton/tahun} \end{aligned}$$

1.5.2. Data Produksi Biodiesel (B40) di Indonesia

Konsumsi Bio-oil dapat dimanfaatkan sebagai pengganti minyak nabati hingga 40% dalam produksi biodiesel, sehingga berperan sebagai bahan campuran pada formulasi B40. Pabrik biodiesel di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 1.7

Tabel 1. 7 Produksi Biodiesel (B40) di Indonesia

Lokasi Produksi	Produksi (kl/tahun)	Produksi (ton/tahun)	Refrensi
Kilang Plaju, Sumatra Selatan	1.430.880	1.216.248	Dunia Energi
Kilang Kasim, Papu Barat Daya	190.776	162.160	Dunia Energi
Total	1.621.656	1.378.407,6	

Berdasarkan data pada Tabel 1.7, diketahui bahwa total produksi biodiesel B40 mencapai 1.378.407,6 ton/tahun. Formulasi yang digunakan mengacu pada standar B40, yaitu campuran biodiesel dengan 40% minyak nabati. Pada kajian ini, minyak nabati digantikan oleh bio-oil sehingga bio-oil berperan sebagai komponen campuran dalam formulasi biodiesel. Oleh karena itu, kebutuhan bio-oil sebagai bahan campuran biodiesel ditetapkan sebesar 40% dari total produksi biodiesel, yaitu :

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan Bio-oil} &= 40\% \times 1.378.407,6 \\ &= 551.363,04 \text{ ton per tahun}\end{aligned}$$

1.5.3. Ketersediaan Bahan Baku

Berdasarkan perhitungan kebutuhan bio-oil dari data produksi biodiesel B40, diperoleh kebutuhan yang cukup besar, yakni mencapai 551.363,04 ton/tahun (40% dari total produksi biodiesel Plaju dan Kasim). Namun demikian, angka tersebut masih terlalu besar jika dibandingkan dengan ketersediaan bahan baku di lapangan. Oleh sebab itu, kapasitas pabrik bio-oil perlu ditentukan kembali dengan mempertimbangkan ketersediaan tandan kosong kelapa sawit (TKKS) sebagai bahan baku utama. Untuk mengetahui potensi ketersediaan bio-oil dari TKKS, maka ditinjau data rendemen (yield) bio-oil berdasarkan beberapa hasil penelitian sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.8.

Tabel 1. 8 Ketersediaan TKKS berdasarkan rendemen Bio-oil

Biomassa	Bio-oil (%)	Referensi
	45,20	Peby, 2010
Tandan	40	Sulaiman et al., 2011
Kosong	81,78	Mujiarto et al., 2014
Kelapa Sawit	45	Febriyanti et al., 2019
(TKKS)	76,08	Sondakh, 2020
	55,53	Jamilatun, 2022

Dari Tabel 1.8 terlihat bahwa yield bio-oil dari TKKS bervariasi antara 40% hingga lebih dari 80%, dengan nilai tertinggi sebesar 81,78% berdasarkan penelitian Mujiarto et al. (2014) dan nilai terendah sebesar 40% . Nilai yield terbesar ini kemudian digunakan untuk menghitung potensi konversi TKKS menjadi bio-oil dari total ketersediaan bahan baku di PTPN VII sebesar 523.775 ton/tahun. Namun, mengingat bahwa tidak seluruh TKKS akan dialokasikan sebagai bahan baku produksi bio-oil karena sebagian dimanfaatkan untuk keperluan lain seperti bahan bakar boiler, pupuk organik, maupun produk turunan biomassa lainnya, maka dalam perhitungan ini diasumsikan hanya 50% dari total ketersediaan TKKS yang digunakan. Asumsi tersebut memberikan hasil perhitungan yang lebih realistis dalam menggambarkan potensi produksi bio-oil yang dapat dicapai berdasarkan kondisi lapangan. Perhitungannya adalah sebagai berikut:

Yield 1ton bahan baku	= 81,78% Bio-oil
Ketersediaan bahan baku PT Perkebunan Nusantara VII	= 523.775 ton/tahun
50% dari ketersediaan bahan baku	= 261.888 ton/tahun

$$\begin{aligned}
 \text{Kapasitas produksi} &= \text{yeild 1 ton bahan baku} \times \text{ketersediaan bahan baku} \\
 &= 81,78\% \times 261.888 \text{ ton/tahun} \\
 &= 214.172 \text{ ton/tahun}
 \end{aligned}$$

Oleh karena itu, berdasarkan perhitungan di atas kapasitas produksi pabrik Bio-oil tahun 2030 yakni 214.172 ton/tahun = 200.000 ton/tahun. Sehingga dengan berdirinya pabrik bio-oil dengan kapasitas 200.000 ton/tahun dapat :

1. Memenuhi kebutuhan bahan baku biodiesel B40 di Indonesia, khususnya di wilayah Lampung.
2. Mendorong peningkatan penggunaan energi terbarukan di Indonesia melalui pemanfaatan Bio-oil sebagai bahan baku biodiesel, khususnya di Lampung, guna mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil.

1.6. Pemilihan Lokasi Pabrik

Penentuan lokasi pabrik menjadi salah satu faktor penting dalam pendirian suatu pabrik karena sangat berpengaruh terhadap kelangsungan operasi pabrik. Pemilihan lokasi pabrik ditentukan berdasarkan faktor teknis maupun faktor ekonomis. Penentuan lokasi yang tepat akan meminimalkan biaya produksi dan distribusi sehingga akan memberikan keuntungan produksi yang maksimal. Pabrik Bio-oil ini direncanakan didirikan di Bekri, Lampung Tengah. Lokasi pabrik dapat dilihat pada Gambar 1.1 dan 1.2 dengan mempertimbangkan faktor-faktor berikut:

1.6.1. Faktor Primer

Faktor primer memengaruhi secara langsung tujuan utama pabrik yang meliputi produksi dan distribusi produk.

Faktor ini terdiri atas:

1. Ketersediaan Bahan Baku

Ketersediaan bahan baku menjadi pertimbangan utama dalam pemilihan lokasi pabrik. Bahan baku berupa tandan kosong kelapa sawit (TKKS) diperoleh dari PT Perkebunan Nusantara VII dengan jarak sekitar 0,83 km dari lokasi pabrik. Kedekatan ini bertujuan untuk menekan biaya transportasi dan mempercepat pengiriman bahan baku. Pabrik tidak didirikan di dekat lokasi pemasaran karena TKKS merupakan biomassa berukuran besar dan bernilai ekonomi rendah sebelum diolah, sehingga pengangkutan jarak jauh kurang efisien dan berpotensi menimbulkan permasalahan lingkungan. Oleh karena itu, pabrik ditempatkan dekat sumber bahan baku, sementara produk hasil olahan selanjutnya didistribusikan ke pasar melalui jalur transportasi yang tersedia, termasuk pelabuhan.

2. Pemasaran Produk

Berdirinya pabrik ini untuk memenuhi seluruh kebutuhan dalam negeri dan sebagian lainnya untuk kebutuhan luar negeri. Oleh karena itu, lokasi pabrik yang dekat dengan jalan antar provinsi dapat mempermudah transportasi pemasaran dengan baik. Untuk transportasi jalur laut, pelabuhan Bakauheni memiliki jarak 128 km dari pabrik Bio-oil yang ingin didirikan.

Sedangkan untuk jalur darat, terdapat akses tol sehingga biaya logistik lebih efisien. Beberapa pabrik yang menggunakan Biodisel, antara lain PT Pertamina Patra Niaga Indonesia, PT AKR Corporindo, ExxonMobil Lubricants Indonesia, Shell Indonesia dan industri dalam negeri lainnya yang membutuhkan Biodiesel sebagai bahan bakar.

3. Tenaga Kerja

Salah satu modal utama dalam pendirian pabrik yaitu tenaga kerja. Pendirian pabrik ini akan dapat menyerap banyak tenaga kerja yang terdapat di sekitar lokasi pabrik. Data dari BPS Kabupaten Lampung Tengah (2023) menyebutkan bahwa tingkat pengangguran terbuka (TPT) Kabupaten Lampung Tengah sebesar 3,25% dari jumlah penduduk usia kerja berumur 15 tahun ke atas. Oleh karena itu, Kabupaten Lampung Tengah memiliki potensi yang bagus dalam pembukaan lapangan pekerjaan untuk pabrik Bio-oil.

4. Utilitas

Fasilitas pendukung berupa air dan energi yang tersedia cukup memadai. Kebutuhan air didapatkan dari Sungai Way Seputih yang mengalir di sekitar area pabrik Bio-oil yang ingin didirikan. Kebutuhan listrik didapatkan dari jaringan listrik PLN (Perusahaan Listrik Negara) yang menyediakan pasokan listrik untuk kebutuhan operasional di area pabrik Bio-oil yang ingin didirikan.

1.6.2. Faktor Sekunder

Faktor sekunder dalam penentuan lokasi pabrik dipengaruhi oleh letak geografis.

Faktor ini meliputi:

1. Ketersediaan Lahan untuk Perluasan Wilayah

Perluasan wilayah perlu dipertimbangkan dalam rencana pendirian pabrik sebagai persiapan untuk jangka panjang. Mengingat adanya kebutuhan produk yang semakin meningkat sehingga kapasitas produksi juga harus ditingkatkan. Bekri memiliki luas sebesar 0,66 ha. Selain itu, beberapa fasilitas untuk keperluan utilitas sudah tersedia secara terintegrasi sehingga tidak lagi memerlukan tambahan lahan untuk membangunnya.

2. Kondisi Geografis dan Iklim

Penentuan suatu kawasan industri terikat dengan masalah tanah, yaitu tidak rawan terhadap bahaya tanah longsor, gempa bumi, maupun banjir. Kondisi topografi wilayah Lampung Tengah pada umumnya merupakan dataran rendah dengan ketinggian antara 100-200 mdpl. Suhu udara rata-rata di daerah Bekri, Lampung Tengah mencapai 30°C dengan kelembaban udara rata-rata 80%. Berdasarkan data Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), Lampung Tengah merupakan daerah rawan zona II (sedang) gempa bumi. Sedangkan untuk antisipasi tsunami, telah terpasang *Early Warning System* (EWS) di daerah Lampung Tengah. Oleh karena itu, pendirian pabrik lokasi pabrik di Lampung Tengah merupakan pilihan yang tepat karena iklimnya tidak ekstrem dan memiliki antisipasi untuk bencana alam.

3. Pembuangan Limbah dan Dampak Lingkungan

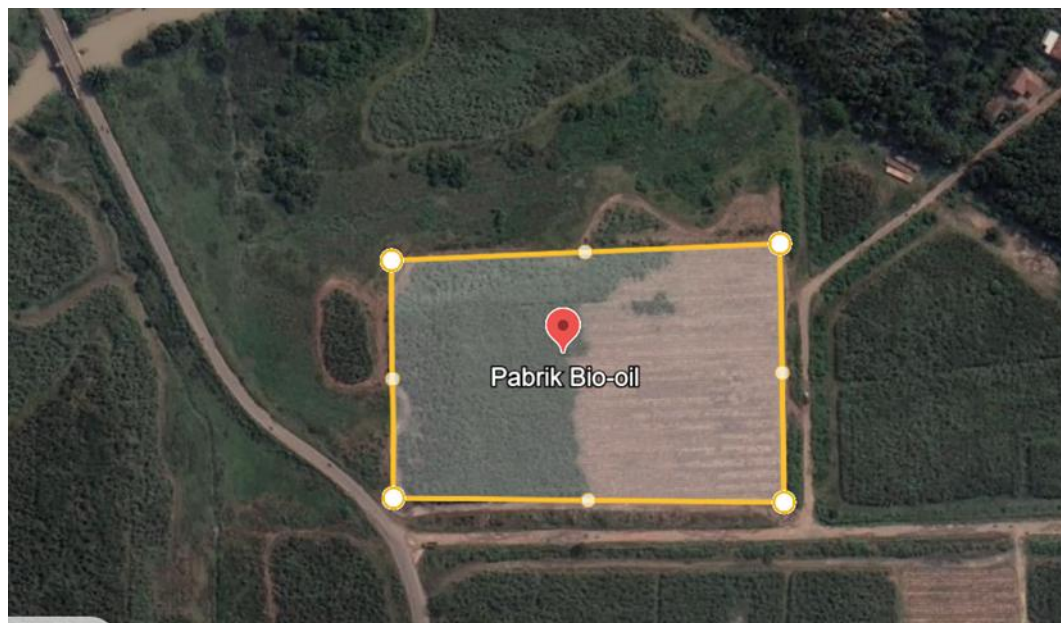
Limbah gas yang dibuang dapat diminimalisasi dengan cara melakukan perawatan rutin terhadap mesin - mesin produksi sehingga pembakaran sempurna tetap terjaga dan dapat mengurangi pencemaran udara. Selain itu, letak pemukiman masyarakat cukup jauh dari pabrik sehingga aman untuk didirikan pabrik pada wilayah tersebut.

4. Lingkungan Masyarakat Sekitar

Kondisi masyarakat yang akomodatif terhadap perkembangan industri dan tersedianya fasilitas umum untuk hidup bermasyarakat membuat lokasi pabrik di Bekri, Lampung Tengah tepat untuk pendirian pabrik Bio-oil.



Gambar 1. 2 Pantauan Satelit Lokasi Pabrik, Lampung
(Sumber : Google Earth Pro, 2025)



Gambar 1. 3 Lokasi Pabrik Bio-oil Lampung Tengah, Lampung
(Sumber : Google Earth Pro, 2025)

BAB II

DESKRIPSI PROSES

2.1. Perancangan Proses

Pirolisis merupakan suatu proses dekomposisi termal yang terjadi pada bahan-bahan organik tanpa kehadiran oksigen, yang bertujuan untuk mengonversi biomassa menjadi tiga fraksi utama, yaitu fase cair (*bio-oil*), fase gas, dan padatan berupa arang (*char*). Proses ini memanfaatkan panas sebagai pemicu reaksi kimia yang memecah struktur kompleks biomassa menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana. Produk cair yang dihasilkan dari pirolisis dikenal sebagai bio-oil, yaitu campuran kompleks dari senyawa organik yang memiliki potensi sebagai bahan bakar terbarukan (Dhaniswara dan Pratiwi, 2010).

Dalam praktiknya, pirolisis dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis berdasarkan parameter operasi seperti laju pemanasan, waktu tinggal, dan suhu proses. Dua jenis utama yang sering digunakan, yaitu sebagai berikut:

1. Proses pirolisis cepat
2. Proses pirolisis lambat

2.1.1. Proses Pirolisis Cepat

Pirolisis cepat adalah proses dengan temperatur tinggi dimana biomassa dipanaskan tanpa kehadiran oksigen. Pirolisis cepat menghasilkan 60 – 75% bio-oil, 15 – 25% berat dari arang padat dan 10 – 20% gas yang tidak terkondensasi tergantung dari bahan baku yang digunakan. Tidak ada limbah yang dihasilkan, karena bio-oil dan arang dapat digunakan sebagai bahan bakar dan gas dapat digunakan kembali di dalam proses. Pirolisis cepat menggunakan panas reaksi yang lebih tinggi dari pirolisis lambat. Temperatur reaksi dari pirolisis cepat adalah sekitar 500-550°C dengan waktu tinggal 23-42 detik.(Kawale, etc, 2019)

2.1.2. Proses Pirolisis lambat

Pirolisis lambat menggunakan suhu yang rendah dari 400°C, dengan waktu yang lama untuk menghasilkan jumlah maksimal *biochar*. Proses ini digunakan terutama untuk produksi arang dan dipecah menjadi dua jenis yaitu karbonisasi dan konvensional. Produk hasil dari pirolisis lambat adalah *biochar* 35%, bio-oil 30% dan gas 35%. Pirolisis lambat dapat memberikan manfaat lingkungan yang lebih besar karena menghasilkan lebih banyak *biochar* yang dapat diterapkan pada tanah untuk meningkatkan kualitasnya dan untuk menyerap karbon. Namun, pirolisis cepat memiliki keuntungan ekonomi yang lebih baik karena produksi produk bernilai lebih tinggi. Pirolisis lambat secara umum dikenal sebagai cara produksi minyak nabati yang tidak tepat karena menghasilkan cairan yang rendah $\pm 30\%$ wt (Qureshi et al., 2019).

Arang yang dihasilkan dari proses Pirolisis lambat menggunakan tingkat laju pemanasan yang rendah (0.1–0.8 °C/s) dan waktu tinggal yang lebih panjang (5–30 menit) pada suhu 300–450 °C. (Novita, et al. 2021)

2.2. Tinjauan Termodinamika

Tinjauan secara termodinamika bertujuan untuk mengetahui apakah reaksi bersifat endotermis atau eksotermis dan apakah reaksi itu berjalan spontan atau tidak spontan.

2.2.1. Proses Pirolisis Cepat

1. Menentukan Panas Reaksi (ΔH)

Reaksi akan berjalan eksotermis atau endotermis dapat ditentukan dengan meninjau panas reaksi (ΔH). ΔH ini menunjukkan panas reaksi yang dihasilkan selama berlangsungnya reaksi kimia, besar atau kecilnya nilai ΔH menunjukkan jumlah energi yang dibutuhkan atau dihasilkan saat reaksi kimia tersebut terjadi. ΔH yang bernilai positif menunjukkan bahwa reaksi tersebut endotermis atau membutuhkan panas untuk berlangsungnya reaksi sehingga semakin besar ΔH maka semakin besar juga energi yang dibutuhkan. Sedangkan ΔH bernilai negatif menunjukkan bahwa reaksi tersebut eksotermis atau menghasilkan panas selama proses berlangsungnya reaksi (Bird, 1987).

Pirolisis cepat biomassa, termasuk tandan kosong kelapa sawit (TKKS), pada dasarnya adalah reaksi endotermis karena melibatkan pemutusan ikatan glikosidik dalam selulosa serta ikatan kompleks pada hemiselulosa dan lignin. Proses dekomposisi polimer ini menuntut energi panas yang cukup besar agar rantai molekul panjang dapat terurai menjadi senyawa volatil, bio-oil, gas, maupun arang. Nilai ΔH yang diperoleh memberikan gambaran kuantitatif mengenai besarnya energi yang harus disediakan untuk memungkinkan terjadinya konversi kimia tersebut. Dengan demikian, analisis entalpi reaksi berfungsi tidak hanya untuk memahami karakteristik energi proses, tetapi juga sebagai dasar dalam menilai stabilitas operasi dan strategi suplai panas pada sistem reaktor pirolisis cepat.

Mengacu pada hasil yang disajikan oleh Wojciech Jerzak, perubahan entalpi reaksi untuk pirolisis cepat dalam reaktor tipe *screw* pada suhu 823 K tercatat sebesar 2,30 MJ/kg atau setelah dikonversi kedalam molar menjadi sebesar 172.4 kJ/mol $\left(2,30 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \times \frac{1000\text{kJ}}{1 \text{ MJ}} \times 0,07495 \frac{\text{kg}}{\text{mol}} = 172.4 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}\right)$. Besarnya nilai ΔH proses ini mengindikasikan bahwa pirolisis TKKS memerlukan suplai energi eksternal yang signifikan agar reaksi berlangsung secara berkesinambungan. Informasi tersebut dapat dijadikan referensi dalam merancang sistem pemanas reaktor, memperkirakan efisiensi termal, serta mengevaluasi kemungkinan penerapan operasi autotermal dengan memanfaatkan sebagian gas hasil pirolisis sebagai bahan bakar internal. Dengan mengacu pada literatur ini, analisis termodinamika pirolisis cepat dapat dilakukan dengan lebih terarah, terutama untuk mendukung desain, optimasi, dan penilaian kinerja proses pada skala industri.

2. Menentukan Bilangan Gibbs (ΔG)

Energi bebas Gibbs menunjukkan spontan atau tidak spontannya suatu reaksi kimia. Jika perubahan energi bebas Gibbs (ΔG) bernilai negatif, maka reaksi dapat berlangsung spontan, sedangkan jika ΔG bernilai positif maka reaksi tidak dapat berlangsung secara spontan sehingga membutuhkan energi tambahan agar reaksi dapat terjadi secara spontan (sumber: Atkins & Paula, 2006). Energi bebas Gibbs (ΔG) merupakan parameter penting dalam kajian termodinamika karena

menentukan kelayakan spontanitas suatu reaksi kimia pada kondisi tertentu.

Pada proses pirolisis cepat tandan kosong kelapa sawit (TKKS), ΔG berperan penting dalam menilai apakah dekomposisi selulosa, hemiselulosa, dan lignin menjadi produk volatil, gas, dan arang dapat berlangsung secara termodinamika tanpa memerlukan kerja eksternal tambahan. Pirolisis dikenal sebagai proses endotermis, sehingga meskipun panas eksternal disuplai untuk menaikkan suhu reaksi, perubahan energi bebas Gibbs tetap menjadi indikator utama apakah konversi kimia ke produk yang diinginkan dapat terjadi. Berdasarkan hasil analisis termodinamika, nilai ΔH untuk pirolisis cepat TKKS tercatat sebesar 172,4 kJ/mol, sedangkan perubahan entropi (ΔS) sebesar 69,091 kJ/mol·K. Perhitungan ini menghasilkan energi bebas Gibbs (ΔG) sebesar 147,311 kJ/mol pada suhu operasi sekitar 823 K (550 °C). Nilai ΔG yang positif tersebut menunjukkan bahwa proses pirolisis cepat TKKS tidak bersifat spontan secara termodinamika dan memerlukan suplai energi eksternal agar reaksi dapat berlangsung.

Dalam konteks pirolisis cepat TKKS pada suhu tinggi sekitar 823 K, kenaikan temperatur berperan penting dalam menurunkan nilai energi bebas Gibbs sehingga memperbesar peluang terjadinya reaksi dekomposisi biomassa. Hal ini sejalan dengan karakteristik biomassa yang memiliki struktur polimer kompleks, di mana pemutusan ikatan kimia memerlukan energi aktivasi yang tinggi. Pada kondisi tersebut, suplai panas yang cukup tidak hanya memenuhi kebutuhan entalpi reaksi (ΔH), tetapi juga mengoptimalkan kontribusi entropi terhadap ΔG sehingga proses dekomposisi dapat berlangsung lebih efisien. Dengan kata lain, meskipun pirolisis bersifat endotermis dan memerlukan energi tambahan, besarnya temperatur operasi mampu mendekatkan ΔG total menuju kondisi spontan, sehingga proses tetap dapat berlanjut. Analisis ΔG ini penting karena dapat digunakan sebagai acuan dalam menentukan rentang suhu operasi yang optimal, mengevaluasi kelayakan termodinamika reaktor, serta membandingkan stabilitas produk yang dihasilkan pada kondisi proses yang berbeda.

2.2.2. Proses Pirolisis Lambat

1. Menentukan Panas Reaksi (ΔH)

Reaksi akan berjalan secara eksotermis atau endotermis dapat ditentukan dengan meninjau panas reaksi (ΔH).

Nilai ΔH menunjukkan jumlah energi panas yang terlibat selama reaksi kimia berlangsung. Besar atau kecilnya nilai ΔH memberikan gambaran mengenai energi yang dibutuhkan atau dihasilkan dalam proses tersebut. Apabila ΔH bernilai positif, reaksi bersifat endotermis atau memerlukan masukan panas dari luar agar dapat berlangsung. Sebaliknya, apabila ΔH bernilai negatif, reaksi bersifat eksotermis atau melepaskan panas ke lingkungan selama proses berlangsung (Bird, 1987).

Pirolisis lambat biomassa, termasuk tandan kosong kelapa sawit (TKKS), pada dasarnya juga merupakan proses endotermis, meskipun laju reaksinya lebih rendah dibandingkan pirolisis cepat. Proses ini melibatkan pemutusan ikatan kimia yang kuat dalam struktur polimer utama seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin, yang memerlukan suplai energi panas dari luar agar dapat terurai menjadi fraksi volatil, bio-oil, gas, dan arang. Karena laju pemanasan dan kecepatan reaksi lebih rendah, kebutuhan panas per satuan waktu pun cenderung lebih kecil, tetapi tetap penting untuk memastikan dekomposisi berlangsung optimal. Nilai ΔH yang diperoleh mencerminkan jumlah energi yang harus diberikan untuk memutus ikatan-ikatan tersebut dan memungkinkan konversi kimia biomassa menjadi produk bernilai tambah.

Mengacu pada hasil yang dilaporkan oleh Yulistiani et al., 2025, perubahan entalpi reaksi untuk pirolisis lambat dalam reaktor tipe screw pada suhu sekitar 654,4 K (381,6°C) tercatat sebesar 103,113 kJ/mol. Nilai ΔH ini mengindikasikan bahwa proses pirolisis lambat TKKS memerlukan suplai energi eksternal yang moderat namun tetap signifikan untuk mendukung berlangsungnya reaksi secara berkesinambungan. Informasi tersebut penting dalam perancangan sistem pemanas reaktor, evaluasi kebutuhan energi, serta penentuan strategi operasi seperti integrasi panas dari gas hasil pirolisis untuk meningkatkan efisiensi proses. Dengan demikian, analisis termodinamika pirolisis lambat dapat menjadi dasar penting dalam desain, optimasi, dan penilaian kinerja sistem konversi biomassa

pada skala industri.

2. Menentukan Bilangan Gibbs (ΔG)

Energi bebas Gibbs (ΔG) merupakan parameter penting dalam kajian termodinamika karena menentukan apakah suatu reaksi kimia dapat berlangsung secara spontan atau tidak. Jika nilai ΔG bernilai negatif, reaksi dapat berlangsung spontan tanpa memerlukan energi tambahan, sedangkan jika ΔG bernilai positif, reaksi tidak akan berlangsung secara spontan sehingga membutuhkan suplai energi eksternal untuk terjadi (Atkins & Paula, 2006).

Dalam konteks pirolisis lambat tandan kosong kelapa sawit (TKKS), analisis ΔG sangat penting untuk memahami kelayakan termodinamika proses dekomposisi selulosa, hemiselulosa, dan lignin menjadi senyawa volatil, gas, dan arang. Pirolisis dikenal sebagai proses endotermis yang memerlukan energi panas dari luar, sehingga meskipun suhu reaksi dinaikkan untuk memenuhi kebutuhan entalpi (ΔH), perubahan energi bebas Gibbs tetap menjadi parameter utama dalam menentukan apakah konversi kimia dapat berlangsung secara alami.

Mengacu pada hasil yang dilaporkan oleh Yulistiani et al., 2025, ΔG untuk pirolisis lambat dalam reaktor tipe *screw* pada suhu sekitar 654,4 K (381,6°C) tercatat sebesar 100,57 kJ/mol. Nilai ΔG yang seluruhnya bernilai positif pada rentang suhu tersebut menunjukkan bahwa proses pirolisis lambat tidak berlangsung spontan secara termodinamika dan membutuhkan suplai panas eksternal agar reaksi dapat terjadi.

Meskipun demikian, peningkatan suhu operasi berperan penting dalam menurunkan nilai ΔG relatif, sehingga memperbesar kemungkinan terjadinya dekomposisi biomassa. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun pirolisis lambat memerlukan energi dari luar untuk berlangsung, pengaturan suhu reaksi yang tepat dapat meningkatkan kecenderungan reaksi menuju kondisi yang lebih termodinamika-favorabel. Oleh karena itu, analisis ΔG memberikan dasar penting dalam menentukan rentang suhu operasi optimal, merancang sistem suplai panas

yang efisien, serta mengevaluasi kelayakan dan efisiensi termodinamika proses konversi biomassa pada skala industri.

2.3. Pemilihan Proses Bio-oil

Tabel 2. 1 Perbandingan Metode Pembuatan Bio-Oil

Parameter	<i>Fast Pyrolysis</i>	<i>Slow Pyrolysis</i>
Tujuan utama	Produksi bio-oil (bahan bakar cair)	Produksi <i>biochar</i> (arang padat)
Laju reaksi	Cepat (>100 °C/detik)	Lambat (<10 °C/menit)
Waktu reaksi	22 detik	Lama (hingga puluhan menit)
Suhu proses	550°C	381,6°C
Ukuran partikel	Halus (<2 mm)	Bisa besar (hingga bongkahan TKKS)
Sistem pemanasan	Sangat cepat	Lambat
Produk utama	Bio-oil (~75%)	Biochar (~35%)
Produk sampingan	Sedikit gas dan <i>char</i>	Gas, tar, dan sedikit bio-oil
Jenis reaktor umum	<i>Fluidized bed, ablative, rotary screw</i>	<i>Fixed bed, rotary kiln, drum kiln</i>
ΔH°_f (kJ/mol)	172,4 kJ/mol	103,311 kJ/mol
ΔG°_f (kJ/mol)	147,27 kJ/mol	100,57 kJ/mol
Kelebihan	- Proses cepat - Energi bio-oil cukup tinggi	Pre-treatment meningkatkan kualitas bio-oil dan <i>biochar</i>
Kekurangan	- Bio-oil bersifat asam (pH 3.5) - Berpotensi korosif	Proses pre-treatment butuh air dan energi berlebih

Pada tabel 2.1 yang merupakan perbandingan kedua proses maka dalam pembuatan Bio-oil dipilih proses 1 yaitu dengan proses pirolisis cepat dengan bahan baku Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS). Pertimbangan utama adalah:

1. *Yield* bio-oil yang tinggi pada Pirolisis cepat mendukung pencapaian target kapasitas produksi.
2. Kualitas Bio-oil dari pirolisis cepat lebih baik untuk aplikasi sebagai bahan bakar cair.
3. Walaupun peralatan pirolisis cepat lebih kompleks dan membutuhkan kontrol suhu serta pendinginan cepat, keuntungan produksi bio-oil dalam jumlah besar mengimbangi biaya tambahan tersebut.

Dengan demikian, proses pirolisis cepat ditetapkan sebagai dasar perancangan pembuatan bio-oil dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS)

2.4. Uraian Proses

Proses pembuatan bio-oil dengan proses pirolisis cepat terdiri dari tiga proses utama yaitu :

1. Tahap persiapan bahan baku
2. Tahap reaksi di dalam reaktor
3. Tahap pemisahan

2.4.1. Tahap Persiapan Bahan Baku

Proses pembuatan Bio-oil dimulai dari mempersiapkan bahan baku yang digunakan yaitu tandan kosong kelapa sawit (TKKS). Limbah TKKS diperoleh dari PT Perkebunan Nusantara VII akan ditampung sementara di dalam *Stockpile* (STK-01) pada suhu 30°C dan tekanan 1 atm yang akan diangkut menggunakan *Chain conveyor* (CC-101) menuju *Shredder* (SR-101) untuk memperkecil ukuran hingga 20 mm. Selanjutnya TKKS yang sudah diperkecil hingga 20 mm akan di bawa menuju *ball mill* (BM-101) menggunakan *belt conveyer* (BC-101) untuk memperkecil ukuran hingga <0,5 mm yang bertujuan untuk mempercepat reaksi pirolisis.

Selanjutnya TKKS yang sudah diperkecil ukurannya dialirkan menuju *vibrating screen* (VS-101) untuk diayak, dimana ukuran tkks yang masih di atas 0,5 mm akan di *recycle* menuju *ball mill* menggunakan *pneumatic conveyor* (PC-101) dan ukuran TKKS yang sudah 0,5 mm akan dialirkan menggunakan *pneumatic conveyor* (PC-102) menuju *fluidized bed dryer* (D-101) untuk dihilangkan *moisture content* TKKS hingga 5%. Kemudian TKKS yang telah dikeringkan selanjutnya akan dibawa menuju silo (SS-101) menggunakan *pneumatic conveyor* (PC-103). Setelah itu TKKS dibawa menggunakan *screw conveyor* (SC-101) menuju *reactor screw conveyor* (RE-201).

2.4.2. Tahap Reaksi di Dalam Reaktor

Proses utama dari pembuatan Bio-oil dari tandan kosong kelapa sawit adalah proses pirolisis cepat. Dalam pirolisis cepat ini menggunakan suhu 550°C dan waktu tinggal 3 menit di dalam *reactor* (RE-201). Selanjutnya bahan baku TKKS yang ada di dalam *rotary screw reactor* dipanaskan melalui *electric heater*.

Reaksi yang terjadi di dalam *reactor*:

- Hemiselulosa (terdegradasi pada suhu 220 – 315°C)

$$6 \text{ C}_5\text{H}_8\text{O}_4 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2 + 3 \text{ C}_5\text{H}_4\text{O}_2 + 2 \text{ CH}_2\text{O} + 7 \text{ CH}_4\text{O} + \text{CO} + 3 \text{ CO}_2$$
 Produk utama bio oil : acetic acid, furfural, metanol, formaldehid.
- Selulosa (terdegradasi pada suhu 315 – 400 °C)

$$7 \text{ C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5 + 4 \text{ C}_2\text{H}_4\text{O} + 5 \text{ C}_5\text{H}_4\text{O}_2 + \text{CH}_2\text{O} + 2 \text{ CO}_2 + 11 \text{ H}_2\text{O}$$
 Produk utama bio-oil : levoglukosan, asetaldehida, furfural, formaldehyde.
- Lignin (terdegradasi pada suhu 160 – 900°C, lambat terurai)

$$6 \text{ C}_9\text{H}_{10}\text{O}_3 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_6\text{O} + 5 \text{ C}_7\text{H}_8\text{O}_2 + \text{C}_8\text{H}_{10}\text{O}_3 + \text{C} + 2 \text{ CO} + \text{CO}_2 + \text{CH}_4$$
 Produk utama bio-oil : fenol, guaiacol, syringol.

3. Tahap Pemisahan

Tahap terakhir dari pembuatan Bio-oil adalah tahap pemurnian. Gas yang dihasilkan dari *reactor* (RE-201) dialirkan ke dalam *cyclone* (CY-301) untuk memisahkan antara gas dan padatan (abu) yang ditarik oleh *fan* (F-301). Abu tersebut kemudian disimpan pada *silo bio-char* (SB-201) dan gas dialirkan ke *cooler* (CO-301) untuk didinginkan sebelum masuk ke *condensor* (CD-301) untuk memisahkan antara gas dan cairan yang terbentuk. Cairan yang terkondensasi itulah yang disebut sebagai Bio-oil. Sedangkan *non-condensable gas* akan dibakar oleh *flare* gas (FS-801).

BAB III

SPESIFIKASI BAHAN

3.1. Bahan Baku

3.1.1. Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan limbah padat yang dihasilkan dari proses pengolahan buah kelapa sawit di pabrik kelapa sawit, khususnya setelah proses pengepresan buah untuk mengekstraksi minyak sawit mentah (CPO). Limbah ini tergolong sebagai limbah lignoselulosa yang jumlahnya sangat melimpah di Indonesia, mengingat tingginya kapasitas produksi kelapa sawit nasional. Sifat fisik dan sifat kimia tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2.

1. Sifat Fisik

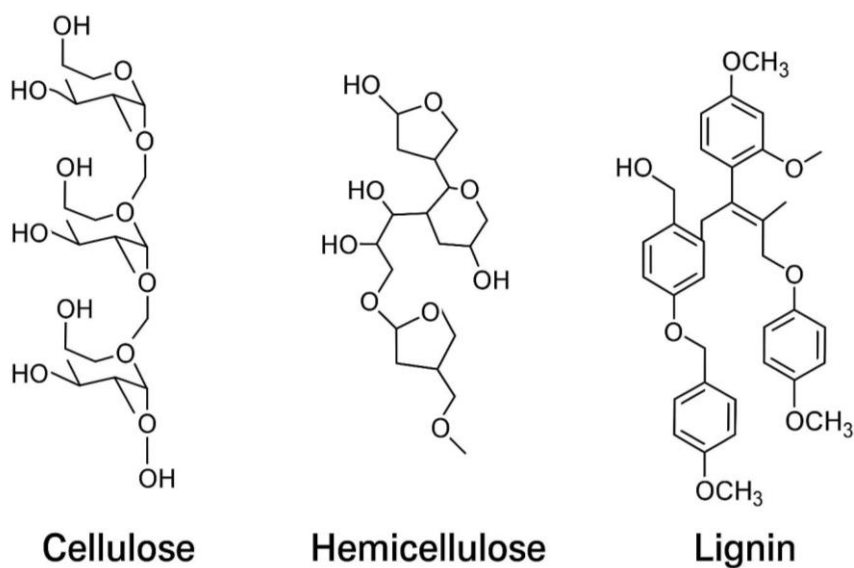
Tabel 3. 1 Sifat Fisik Tandan Kosong Kelapa Sawit

Parameter	Tandan Kosong Kelapa Sawit
wujud	Padat
Warna	Cokelat keabu – abuan
Kepadatan	0,5 – 0,6 g/cm ³
Kadar air	42%
pH	4 – 5
Diameter	150 – 500 µm
Densitas	0.7 – 1,5 g/cm ³
Kadar Volatile Matter	60 – 70 %
Ketebalan dinding sel	3,38 µm
Kehalusan serat	1,37 mg/m
Panjang serat	0,99 mm

(Sumber : Candra et al., 2020)

2. Sifat Kimia

Rumus molekul:



Gambar 3. 1 Rumus Molekul Tandan Kelapa Sawit

Tabel 3. 2 Sifat Kimia Tandan Kosong Kelapa Sawit

Parameter	Tandan Kosong Kelapa Sawit
Selulosa ($C_6H_{10}O_5$)	42,7 – 65%
Hemiselulosa ($C_5H_8O_4$)	17,1 – 33,5%
Lignin	
Ekstratif dalam air panas (100°C)	2,8 – 14,79%
Kelarutan dalam air (30°C)	8 – 11,46%
Alkali larut	14,5 – 31,17%
Alfa selulosa	41,9 – 60,6%
Kelarutan alkohol – benzene	2,7 – 12%
Pentosan	17,8 – 20,3%
Glukosa	66,4%
Silika	1,8%
Cu	0,8 g/g
Ca	2,8 g/g
Mn	7,4 g/g
Fe	10 g/g
So	11 g/g

(Sumber: Rahmasita et al., 2017)

3.2. Produk

3.2.1. Bio-oil

Bio-oil adalah zat kimia berbentuk cair yang merupakan campuran kompleks dari berbagai senyawa organik hasil degradasi termal biomassa melalui proses pirolisis. Sifat fisik dan sifat kimia bio-oil dapat dilihat pada Tabel 3.3 dan Tabel 3.4

1. Sifat Fisik

Tabel 3. 3 Sifat Fisik Bio Oil

Parameter	Bio oil
Wujud	Cair
Warna	Hitam
Bau	Hitam seperti asap
HHV	>70.000 btu/gal
Viskositas kinematic pada 40°C	19 cst
Titik nyala	48 – 55°C
Densitas 15°C	1,207 kg/l
Kandungan padatan	<1%
Kandungan abu	≤0,02
Kandungan air	<25%

(Sumber : Dynamotive, 2012)

2. Sifat Kimia

Tabel 3. 4 Komposisi Bio-oil

Parameter	Nilai
Levoglukosan ($C_6H_{10}O_5$)	30%
Asetaldehida (C_2H_4O)	11%
Furfural ($C_5H_4O_2$)	21%
Formaldehida (CH_2O)	6%
Acetic acid ($C_2H_4O_2$)	16%
Metanol (CH_4O)	3%
Fenol (C_6H_6O)	3%
Guaiacol ($C_7H_8O_2$)	5%
Siringol ($C_8H_{10}O_3$)	3%

(Sumber : Yang, 2007)

3.2.2. Biochar

Biochar merupakan produk samping dari proses pirolisis cepat. Sifat fisik dan sifat kimia biochar dapat dilihat pada Tabel 3.5 dan Tabel 3.6.

1. Sifat Fisik

Tabel 3. 5 Sifat Fisik *Biochar*

Parameter	<i>Biochar</i>
wujud	Serbuk padatan
Warna	Hitam pekat
Luas permukaan	200-400 m ² /g
Kerapatan massal	0,2-0,5 g/cm ³
<i>Spesific gravity</i>	1,7-1,9
Higroskopisitas	Higroskopis (menyerap dan menyimpan air)

(Sumber: Lehman, J., et al., 2015)

2. Sifat Kimia

Rumus molekul = C

Tabel 3. 6 Sifat Kimia *Biochar*

Parameter	<i>Biochar</i>
C-organik	59,85%
Nitrogen total (N-total)	1,08%
Rasio C/N	55,42%
kelembaban	6,37%
Abu	15,41%
volatil	23,29%
Massa hilang	23,29%
pH	7,2 (alkali sedang)

(Sumber: Lehman, J., et al., 2015)

BAB X

KESIMPULAN DAN SARAN

10.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis ekonomi yang telah dilakukan terhadap Prarancangan Pabrik Bio-oil dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dengan kapasitas 200.000 ton/tahun dapat ditarik simpulan sebagai berikut :

1. *Percent return on investment* sesudah pajak (ROI)_a adalah 30,80%.
2. *Pay out time* sesudah (POT)_a adalah 2,415 tahun.
3. *Break event point* (BEP) sebesar 34,10%
4. *Shut down point* (SDP) sebesar 11,25%
5. *Discounted cash flow* (DCF) sebesar 44,66% lebih besar dari suku bunga bank sekarang sehingga investor akan lebih memilih untuk berinvestasi ke pabrik ini dari pada ke bank.

10.2. Saran

Pabrik Bio-oil dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dengan kapasitas 200.000 ton/tahun sebaiknya dikaji lebih lanjut baik dari segi proses maupun ekonominya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullahi, B. H., Muhammad, A. B., Sokoto, A. M. & Muhammad, C., 2024. Kinetics of Oil Palm Empty Fruit Bunch Fiber Pyrolysis. *Academia Green Energy*, Issue 1.
- Anil, K., Singh, R., & Sharma, T. (2019). Production of bio-oil and its applications in energy and chemical industries: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 102, 112–132.
- Ayyadurai, S. & Arunachalam, K. D., 2021. Experimental Investigations on Sugarcane Bagasse Pyrolytic Oil Production From Flash Pyrolysis Using a Rotary Screw Reactor. *Biofuels, Bioprod. Bioref.*, Issue 16, pp. 576-586.
- Broughton, Jack. 1994. *Process Utility Systems: Introduction to Design, Operation, and Maintenance*. UK: Institution of Chemical Engineers
- Brown.G.George., 1950, *Unit Operation 6^{ed}*, Wiley&Sons, USA
- Brownell, L.E., Young, E.H., 1959, *Process Equipment Design Vessel Design*, Michigan
- Coulson, J.M., and Richardson, J.F., 2005, *An Introduction to Chemical Engineering*, Allyn and Bacon Inc., Massachusetts
- Fanany, M. R. et al., 2023. Pemodelan Proses dan Evaluasi Ekonomi Bio-Oil dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Media Pengembangan Ilmu dan Aplikasi Teknik*, pp. 142-152.
- Fogler A.H., dan Scott, 1999, *Elements of Chemical Reaction Engineering*, Prentice Hall International Inc, New Jersey.

- Geankoplis, C.J., 2003, *Transport Processes and Unit Operations*, 4th ed., Prentice-Hall International, Tokyo
- Himmeblau.David., 1996, *Basic Principles and Calculation in Chemical Engineering*, Prentice Hall Inc, New Jersey.
- Jerzak, W., Reinmoller, M. & Magdziarz, A., 2022. Estimation of The Heat Required for Intermediate Pyrolysis of Biomass. *Clean Technologies and Environmental Policy*, Issue 24, pp. 3061-3075.
- Kern, D.Q., 1950, *Process Heat Transfer*, McGraw Hill International Book Company, Singapura
- Kirk, R.E., Othmer, V.R., 1999, *Encyclopedia of Chemical Technology*, John Wiley & Sons Inc., New York
- Levenspiel O., 1972, *Chemical Reaction Engineering 2nd edition*, John Wiley and Sons Inc, New York.
- McCabe W.L. dan Smith J.C., 1985, *Operasi Teknik Kimia*, Erlangga, Jakarta.
- Megyesy E.F., 1983, *Pressure Vessel Handbook*, Pressure Vessel Handbook Publishing Inc, USA.
- Moss, D. 2004. *Pressure Vessel Design Manual*, Ed. 3th. Elviesier : Boston
- Perry, R.H., Green, D., 1997, *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, 7th ed., McGraw Hill Companies Inc., USA.
- Perry, R.H., Green, D., 2008, *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, 8th ed., McGraw Hill Companies Inc., USA.
- Peters, M.S., Timmerhaus, K.D., West, R.E., 2003, *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*, 5th ed., Mc-Graw Hill, New York.
- Powell, S.T., 1954, *Water Conditioning for Industry*, 1st ed., McGraw-Hill Book Company, Inc., New York.

- Smith, J.M., Van Ness, H.C., Abbott, M.M., 2001, *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics*, 6th ed, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York.
- Treyball, R.E., 1984. *Mass Transfer Operation*, 3rd ed. McGraw-Hill Book Company, Inc., New York.
- Ulmann, 2007. “*Ulmann’s Encyclopedia of Industrial Chemistry*”. VCH Verlagsgesell Scahft, Wanheim, Germany.
- Ullrich, G.D., 1984, *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*, John Wiley & Sons, New York.
- Varma, A. K., Mondal, P., Kalamdhad, A., & Shaikh, M. (2019). Characterization and upgrading methods of bio-oil produced from biomass pyrolysis: A review. *Energy Conversion and Management*, 180, 307–324.
- Vilbrandt, F.C., Dryden, C.E., 1959, *Chemical Engineering Plant Design*, 4th ed., McGraw-Hill Book Company, Japan
- Wahyu, 2010, *Proses Pengolahan Air*, www.zeofilt.wordpress.com, Indonesia
- Walas, S.M., 1988, *Chemical Process Equipment*, 3rd ed., Butterworths series in chemical engineering, USA
- Wang, S., Luo, Z., & Cen, K. (2010). Pyrolysis of biomass: Advances in characterization and applications of bio-oil. *Energy & Fuels*, 24(2), 1–15.
- Yaws, C.L., 1999, *Chemical Properties Handbook*, McGraw Hill Companies Inc., USA
- www.alibaba.com, Accessed October 2025
- www.antaranews.com, Accessed Maret 2025
- www.bi.go.id, Accessed Mei 2025
- www.bps.go.id, Accessed Mei 2025
- www.elais.co, Accessed Maret 2025
- www.hargabiaya.id, Accessed October 2025
- www.hbshredder.com, Accessed Mei 2025

www.indiamart.com, Accessed October 2025
www.kumparan.com, Accessed Maret 2025
www.kupastuntas.com, Accessed Maret 2025
www.lampungprov.go.id, Accessed Maret 2025
www.matche.com, Accessed October 2025
www.media.neliti.com, Accessed Mei 2025
www.mypertamina.id, Accessed October 2025
www.ncbi.nlm.nih.gov, Accessed August 2025
www.news.infosawit.com, Accessed Maret 2025
www.nist.gov, Accessed October 2025
www.99.co, Accessed October 2025