

**OPTIMASI LEACHING TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT SEBAGAI  
BAHAN BAKU BIOPELLET YANG RENDAH MINERAL**

**TESIS**

**Oleh:**

**NITA PITA SARI  
NPM 1924051011**



**PROGRAM PASCASARJANA  
TEKNOLOGI INDUSTRI PERTANIAN  
FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2023**

**ABSTRAK**  
**OPTIMASI LEACHING TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT SEBAGAI**  
**BAHAN BAKU BIOPELLET YANG RENDAH MINERAL**

**Oleh**

**NITA PITA SARI**

Limbah padat tandan kosong kelapa sawit belum banyak dimanfaatkan, padahal jumlahnya melimpah dan berpotensi diolah menjadi produk yang bernilai ekonomi tinggi. Tandan kosong kelapa sawit dapat diolah yang selanjutnya dijual sebagai bahan bakar padat. Permasalahannya jika dijadikan sebagai bahan bakar, tandan kosong kelapa sawit bersifat hidrofilik, kadar air tinggi, densitas rendah, dan nilai kalor rendah. Selain itu tandan kosong kelapa sawit juga mengandung logam alkali tinggi terutama kalium dan silika. Leaching treatment dapat diterapkan untuk menghilangkan zat anorganik. Pada Penelitian ini menggunakan air sebagai pelarut pada proses leaching. Rancangan percobaan menggunakan response surface metode dengan variabel suhu (30°C, 75°C, dan 120°C), rasio TKKS terhadap pelarut (1:5, 1:10 dan 1:15), dan waktu (15 menit, 37,5 menit dan 60 menit). TKKS sebelum dan setelah leaching dianalisa kandungan kalium dan mineral anorganiknya menggunakan X-ray Fluorescence Spectrometry (XRF). Filtrat dari proses leaching dianalisa menggunakan Atomic Absorption Spectrometer (AAS). Nilai kalor TKKS dianalisa menggunakan bomb calorimeter. Hasil optimasi diperoleh kondisi optimum untuk menghasilkan kalium pada tkks yang rendah, nilai kalor yang tinggi serta kadar abu yang rendah yaitu pada kondisi operasi suhu 39°C, Rasio pelarut 1:15 (TKKS/Pelarut) dan waktu 15 menit dengan kadar kalium pada TKKS sebesar 0,42%, kadar abu sebesar 0,02% dan nilai kalor sebesar 21,19 MJ/Kg. Berdasarkan analisis tekno ekonomi pada kondisi operasi optimum maka prarancangan pabrik biopellet dengan fasilitas leaching layak didirikan. Proyek tersebut layak didirikan dengan nilai return on investment (ROI) sebesar 102%, nilai IRR sebesar 44%, NPV sebesar 22.495.682 \$ dan pay back periode pada 2,22 tahun.

Kata kunci : *leaching, tandan kosong, optimasi, kalium, teknoekonomi*

## **ABSTRACT**

### **OPTIMIZATION OF LEACHING PALM OIL EMPTY FRUIT BRUNCH AS A LOW MINERAL BIOPELLET RAW MATERIAL**

**By**

**NITA PITA SARI**

The solid waste of empty palm oil bunches has not been utilized properly, even though the amount is abundant and has the potential to be processed into products with high economic value. Empty palm fruit bunches can be processed and then sold as solid fuel. However, many problem when used as fuel, due to it's hydrophilic, high moisture content, low density and low calorific value. In addition, empty palm fruit bunches also contain high alkali metals, especially potassium and silica. Leaching treatment can be applied to remove inorganic substances. In this study water use as the solvent in the leaching process. The experimental design used the response surface method with temperature variables (30°C, 75°C, and 120°C), the ratio of OPEFB to solvent (1:5, 1:10 and 1:15), and time (15 minutes, 37, 5 minutes and 60 minutes). OPEFB before and after leaching were analyzed for potassium and inorganic mineral content using X-Ray Fluorescence Spectrometry (XRF). The filtrate from the leaching process was then analyzed using an Atomic Absorption Spectrometer (AAS). The calorific value of OPEFB was analyzed using a bomb calorimeter.

The leached OPFB of optimum conditions has characteristic such as low potassium, high calorific value and low ash content were operating conditions of 39°C, solvent ratio of 1:15 (EFB/solvent) and 15 minutes of time, with potassium content in OPEFB of 0.42%, ash content of 0.02% and a calorific value of 21,3 MJ/Kg. Based on techno-economic analysis the optimum conditions found to the biopellet plant with leaching facility is feasible to build. The project is feasible to build with a return on investment (ROI) value of 102%, an IRR value of 44%, an NPV of \$22.495.682 and a payback period of 2,22 years.

*Keywords : leaching, empty bunches, optimization, potassium, technoeconomic.*

**OPTIMASI LEACHING TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT SEBAGAI  
BAHAN BAKU BIOPELLET YANG RENDAH MINERAL**

**Oleh  
NITA PITA SARI**

**Tesis**

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar  
MAGISTER TEKNOLOGI PERTANIAN**

**Pada**

**Program Studi Magister Teknologi Industri Pertanian  
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**PROGRAM PASCASARJANA  
TEKNOLOGI INDUSTRI PERTANIAN  
FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2023**

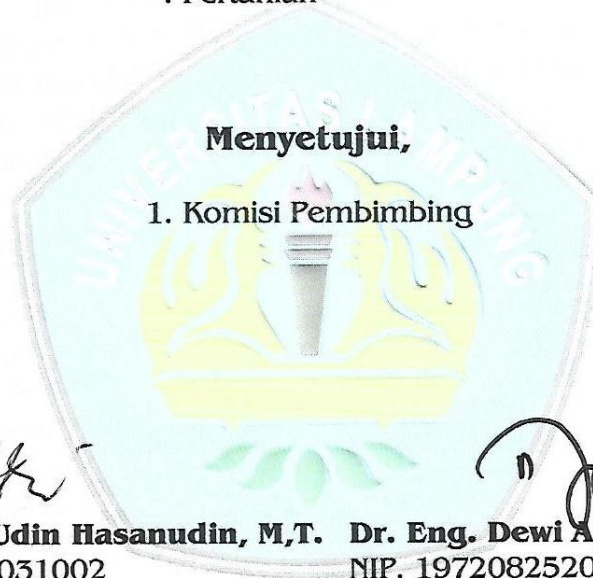
Judul : **OPTIMASI LEACHING TANDAN KOSONG  
KELAPA SAWIT SEBAGAI BAHAN BAKU  
BIOPELLET YANG RENDAH MINERAL**



Nama Mahasiswa : **Nita Pita Sari**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1924051011

Program Studi : Magister Teknologi Industri Pertanian

Fakultas : Pertanian



 **Prof. Dr. Eng. Ir. Udin Hasanudin, M.T.**  **Dr. Eng. Dewi Agustina Iryani, S.T., M.T.**  
NIP. 196401061988031002 NIP. 197208252000032001

2. Ketua Program Studi,

**Dr. Sri Hidayati, S.T.P., M.P.**  
NIP. 197109301995122001

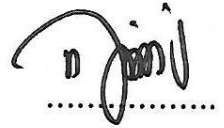
## MENGESAHKAN

### 1. Tim Penguji

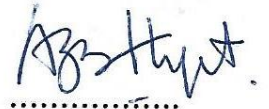
Ketua : **Prof. Dr. Eng. Ir. Udin Hasanudin, M.T.**



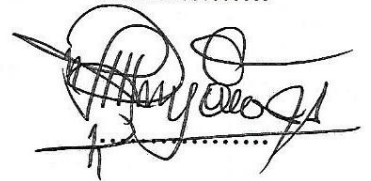
Sekretaris : **Dr. Eng. Dewi Agustina Iryani, S.T., M.T.**



Penguji  
Bukan Pembimbing : **Prof. Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.**



: **Dr. Ir. Suharyono AS., M.S.**



### 2. Dekan Fakultas Pertanian



**Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.**  
NIP. 196110201986031002

### 3. Direktur Program Pascasarjana



**Prof. Dr. Ir. Ahmad Saudi Samosir, S.T., M.T.**  
NIP 19570101 198403 1 020

4. Tanggal Lulus Ujian Tesis : **24 Maret 2023**

## PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya adalah **NITA PITA SARI NPM 1924051011**

Dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil karya saya yang dibimbing oleh Komisi Pembimbing, 1) **Prof. Dr. Ir. Udin Hasanudin, M.T** dan 2) **Dr. Eng. Dewi Agustina Iryani, S.T., M.T.** Berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Karya ilmiah ini berisi material yang dibuat sendiri dan hasil rujukan beberapa sumber lain (buku, jurnal, dll) yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukanlah hasil dari plagiat karya orang lain.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, April 2023

Yang membuat pernyataan



Nita Pita Sari

NPM 1924051011

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Karang Endah, pada tanggal 27 Maret 1995, sebagai putri pertama dari tiga bersaudara, dari pasangan Bapak Warsito dan Ibu Komariyah.

Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SD Negeri 3 Karang Endah pada tahun 2007, Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 5 Terbanggi Besar pada tahun 2010 dan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 1 Terbanggi Besar pada tahun 2013.

Pada tahun 2013, penulis terdaftar sebagai Mahasiswa S-1 Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN) 2013. Penulis melakukan penelitian dengan judul **“Preparasi dan Karakterisasi Biosorben Xhantat dari Bagas Tebu Sebagai Adsorben Logam Berat”**. Dan tugas akhir Prarancangan Pabrik dengan judul **“Prarancangan Pabrik Xylitol dari Bagas Tebu dengan Metode Hidrolisis Enzim-Hidrogenasi Kapasitas 40.000Ton/Tahun”**, serta menyelesaikan program Sarjananya pada bulan Maret 2019.

Kemudian, pada agustus 2019 penulis melanjutkan pendidikan tinggi program Pascasarjana di Program Studi Magister Teknologi Industri Pertanian. Selain menjadi mahasiswa pascasarjana, penulis juga aktif mengembangkan startup health & beauty **CV. Tekila Herbal Inovasi** dan startup energi terbarukan **Go-Biolet**. Penulis juga melakukan Penelitian tesis dengan tema pengolahan limbah tandan kosong kelapa sawit sebagai bahan bakar padat di Laboratorium Pengolahan Limbah Agroindustri Jurusan Teknologi Industri Pertanian Universtas Lampung. Beberapa prestasi yang diraih oleh penulis selama menjadi mahasiswa antara lain: Penerima Hibah Perusahaan Pemula Berbasis Teknologi (PPBT) Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Indonesia tahun 2019, Top 4<sup>th</sup> Anugerah Inovasi Daerah Provinsi Lampung tahun 2019, Finalis Sociopreneur Muda Fisipol UGM & Kementrian Pemuda dan Olahraga tahun 2019, Top 18<sup>th</sup> Leader In Innovation Fellows Royal Academy Engineering, United Kingdom Kerjasama



Kementerian Riset, Teknologi Dan Pendidikan Tinggi tahun 2020, Finalis Shell Live Wire Energy Solution SBM ITB & Shell Indonesia tahun 2021 dan Finalis Anugerah Inovasi Daerah Provinsi Lampung tahun 2022. Saat ini penulis bekerja sebagai Pranata Laboratorium Pendidikan Teknologi Rekayasa Kimia Industri Politeknik Negeri Lampung.

## SANWACANA

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya, sehingga tesis dengan judul “*Optimasi Leaching tandan kosong kelapa sawit menggunakan steam kondensat sebagai bahan baku biopellet yang rendah mineral*” dapat diselesaikan dengan baik.

Tesis ini disusun dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknologi Pertanian (M.T.P) di Universitas Lampung. Penyusunan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari beberapa pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.S., selaku dekan Fakultas Pertanian yang telah membantu dalam administrasi tesis ini.
2. Prof. Dr. Ir. Ahmad Saudi Samosir, S.T., M.T., selaku direktur program pascasarjana yang telah membantu dalam administrasi tesis ini.
3. Bapak Prof. Dr. Eng Ir. Udin Hasanudin, M.T., selaku pembimbing I yang telah memberikan ilmu, pengarahan, bimbingan, kritik dan saran selama penyelesaian tesis saya.
4. Ibu Dr. Eng. Dewi Agustina Iryani, S.T., M.T., selaku pembimbing II yang telah memberikan ilmu, pengarahan, bimbingan, kritik dan saran selama penyelesaian tesis saya.
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Agus Haryanto, S.P., dan Bapak Dr. Ir. Suharyono AS, M.S., selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan saran, juga selaku dosen atas semua ilmu yang telah penulis dapatkan.
6. Dr. Sri Hidayati, S.T.P., M.P., selaku Ketua program studi Magister Teknologi Industri Pertanian, yang telah banyak memberikan motivasi, membantu dalam administrasi selama penulis melaksanakan penelitian hingga menyelesaikan proses penulisan tesis.

7. Seluruh Dosen dan Staff program studi Magister Teknologi Industri Pertanian yang telah banyak memberikan ilmu yang sangat bermanfaat dan membantu dalam proses pengerjaan tesis dan dalam proses perkuliahan.
8. Orang tuaku tersayang, Bapak Warsito dan Ibu Komariyah, atas segala cinta, kasih sayang, dukungan, pengorbanan dan do'a yang selalu mengiringi di setiap langkahku. Adikku Siti Maria Ulfa dan Miftahul Jannah, terima kasih atas do'a, dukungan dan kasih sayangnya. Semoga Allah SWT selalu memberikan perlindungan dan kesehatan sehingga kita dapat senantiasa berbagi kebahagiaan dan kebermanfaatan kepada orang lain.
9. Dedi Teguh, S.T.,M.T., selaku partner hidup dalam suka dan duka yang selalu memberikan semangat dan motivasi untuk segera menyelesaikan Tesis ini.
10. Mahasiswa Magister Teknologi Industri 2019 yang telah memberikan doa serta semangat dalam menyelesaikan tesis ini.

Semoga Allah SWT membalas kebaikan mereka terhadap penulis dan semoga tesis ini berguna di kemudian hari. Aamiin.

Bandar Lampung, April 2023

Penulis

Nita Pita Sari

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xv</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang dan Masalah.....	1
1.2 Tujuan .....	3
1.3 Kerangka Pemikiran.....	3
1.4 Hipotesis .....	6
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>7</b>
2.1 Tandan Kosong Kelapa Sawit.....	7
2.2 Pencucian ( <i>Leaching</i> ).....	9
2.3 Analisis Kelayakan Teknoekonomi .....	13
<b>III. METODE</b> .....	<b>15</b>
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	15
3.2 Alat dan Bahan.....	15
3.3 Metode Penelitian .....	15
3.4 Diagram Alir Penelitian .....	17
3.5 Pelaksanaan Penelitian .....	18
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>24</b>
4.1. Pengaruh Leaching terhadap konsentrasi Kalium (K) .....	24
4.2. Pengaruh leaching terhadap Kadar Kalium Pada TKKS .....	25
4.3. Analisis Data Menggunakan Response Surface Methodology.....	26
4.4. Optimasi proses leaching .....	30
4.5. Pengaruh Leaching terhadap Nilai Kalor.....	31
4.6. Komposisi Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit .....	32
4.7. Base/Acid Ratio, Slagging Index dan Fouling Index.....	33
4.8. Pengaruh leaching terhadap kandungan proksimat TKKS .....	36
4.9. Potensi Energi Tandan Kosong Kelapa Sawit .....	39
4.10. Techno-Economy Analysis Leaching Treatment.....	40
<b>V. KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	<b>47</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>48</b>

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
2.1. Potensi limbah Biomassa dari pengolahan CPO.....	7
2.2. Karakteristik Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS).....	8
3.1. Rancangan Percobaan .....	16
3.2. Indikator Slagging dan fouling .....	21
4.1. Faktor dan response leaching kalium .....	26
4.2. Hasil ANOVA Kadar kalium setelah proses leaching .....	27
4.3. Parameter optimasi.....	30
4.4. Kondisi optimum .....	31
4.5. Analisis mineral pada TKKS sebelum dan sesudah proses leaching.....	33
4.6. Potensi Energi Tandan Kosong Kelapa Sawit .....	40
4.7. Material .....	42
4.8. Spesifikasi Alat dan Harga (2022) .....	42
4.9. Fixed Capital (harga 2022 dalam \$).....	43
4.10. Labor Cost.....	43
4.11. Utilities Cost .....	44
4.12. Annual Operating Cost.....	44
4.13. Profitability Analysis dan Sensitivitas (Cash Flow 10 tahun) .....	45
4.14. Kelayakan Ekonomi Prarancangan Pabrik Biopelet .....	45
A.1. Perhitungan Kadar Air .....	51
A.2. Perhitungan Kadar Abu.....	52
A.3. Perhitungan Volatile Matter .....	53
A.4. Perhitungan Fix Carbon .....	54
A.5. Perhitungan Nilai Kalor .....	55

A.6. Perhitungan Nilai Kalium Terlarut .....	56
A.7. Perhitungan Penurunan Kalium pada TKKS .....	57
A.8. Mineral Basa pada TKKS .....	58
A.9. Mineral Asam Pada TKKS .....	59
A.10. Perhitungan Nilai Fouling dan Slagging Index .....	60
A.11. Analisis Kelayakan Ekonomi Pada Harga 0,1 \$ .....	61
A.12. Analisis Kelayakan Ekonomi Pada Harga 0,2 \$ .....	62
A.13. Analisis Kelayakan Ekonomi Pada Harga 0,25 \$ .....	63
A.14. Analisis Kelayakan Ekonomi Pada Harga 0,3 \$ .....	64
A.15. Analisis Kelayakan Ekonomi Pada Harga 0,4 \$ .....	65
B.1 Komposisi Mineral TKKS Kontrol .....	67
B.2 Komposisi Mineral TKKS ( T: 30, R: 5, t:15).....	69
B.3. Komposisi Mineral TKKS ( T: 30, R: 10, t:15) .....	71
B.4. Komposisi Mineral TKKS ( T: 30, R: 15, t:37,5) .....	73
B.5 Komposisi Mineral TKKS ( T: 30, R: 10, t:30).....	75
B.6. Komposisi Mineral TKKS ( T: 30, R: 10, t:60) .....	77
B.7. Komposisi Mineral TKKS ( T: 30, R: 5, t:60) .....	79
B.8. Komposisi Mineral TKKS ( T: 75, R: 15, t:15) .....	81
B.9. Komposisi Mineral TKKS ( T: 75, R: 10, t:37,5) .....	83
B.10. Komposisi Mineral TKKS ( T: 75, R: 5, t:60) .....	85
B.11. Komposisi Mineral TKKS ( T: 75, R: 10, t:15) .....	87
B.12. Komposisi Mineral TKKS ( T: 75, R: 15, t:60) .....	89
B.13. Komposisi Mineral TKKS ( T: 120, R: 5, t:37,5) .....	91
B.14. Komposisi Mineral TKKS ( T: 120, R: 10, t:60) .....	93
B.15. Komposisi Mineral TKKS ( T: 120, R: 15, t:37,5) .....	95
B.16. Komposisi Mineral TKKS ( T: 120, R: 10, t:15) .....	97
B.17. Hasil Analisa Kalium pada Pelarut .....	99
B.18. Hasil Analisa Nilai Kalor .....	101
C.1. Dokumentasi Penelitian.....	102

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.1. <i>Flowsheet</i> proses produksi biopelet tandan kosong kelapa sawit dengan menerapkan teknologi pencucian.....	5
4.1. Konsentrasi kalium terlarut setelah proses leaching.....	24
4.2. Kadar kalium pada TKKS sebelum dan sesudah proses Leaching.....	25
4.3. Hubungan interaksi dua variabel terhadap respon.....	28-29
4.4. Kondisi optimum proses leaching (1).....	30
4.5. Kondisi optimum proses leaching (2).....	31
4.6. Nilai kalor sesudah dan sebelum leaching.....	32
4.7. Base-acid ratio sebelum dan sesudah leaching.....	34
4.8. Slagging Index sebelum dan sesudah leaching.....	34
4.9. Fouling index sebelum dan sesudah leaching.....	35
4.10. Analisis kadar Air sebelum dan setelah Leaching.....	36
4.11. Kadar Abu sebelum dan setelah proses leaching.....	37
4.12 Kadar <i>Volatile Matter</i> sebelum dan setelah leaching.....	38
4.13 Kadar fix carbon sebelum dan sesudah proses leaching.....	39
4.16. <i>Flowsheet</i> pra rancangan pabrik biopelet tandan kosong kelapa sawit.....	41
B.1. Komposisi Mineral TKKS Kontrol.....	68
B.2 Komposisi Mineral TKKS ( T: 30, R: 5, t:15).....	70
B.3. Komposisi Mineral TKKS ( T: 30, R: 10, t:15).....	72
B.4. Komposisi Mineral TKKS ( T: 30, R: 15, t:37,5).....	74
B.5 Komposisi Mineral TKKS ( T: 30, R: 10, t:30).....	76
B.6. Komposisi Mineral TKKS ( T: 30, R: 10, t:60).....	78

B.7. Komposisi Mineral TKKS ( T: 30, R: 5, t:60) .....	80
B.8. Komposisi Mineral TKKS ( T: 75, R: 15, t:15) .....	82
B.9. Komposisi Mineral TKKS ( T: 75, R: 10, t:37,5) .....	84
B.10. Komposisi Mineral TKKS ( T: 75, R: 5, t:60) .....	86
B.11. Komposisi Mineral TKKS ( T: 75, R: 10, t:15) .....	88
B.12. Komposisi Mineral TKKS ( T: 75, R: 15, t:60) .....	90
B.13. Komposisi Mineral TKKS ( T: 120, R: 5, t:37,5) .....	92
B.14. Komposisi Mineral TKKS ( T: 120, R: 10, t:60) .....	94
B.15. Komposisi Mineral TKKS ( T: 120, R: 15, t:37,5) .....	96
B.16. Komposisi Mineral TKKS ( T: 120, R: 10, t:15) .....	98



## I. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang dan Masalah

Indonesia adalah salah satu negara penghasil minyak kelapa sawit dunia dan telah menjadi produsen pasar domestik dan dunia dengan produk minyak sawit dan turunannya. Perkebunan kelapa sawit Indonesia pada 2021 adalah 14,6 juta hektar dan pada 2022 meningkat menjadi 15,4 juta hektar (Ditjen perkebunan, 2022). Statistik Indonesia melaporkan bahwa hingga 2021 produksi minyak sawit mencapai 45,12 juta ton (BPS, 2021). Data ini menunjukkan bahwa industri kelapa sawit akan terus tumbuh. Produk utama industri kelapa sawit adalah minyak sawit mentah (CPO) dan minyak inti sawit (PKO). Peningkatan produksi minyak sawit juga akan meningkatkan jumlah limbah yang dihasilkan. Limbah yang dihasilkan dari proses pengolahan kelapa sawit antara lain biomassa padat dan cair, termasuk tandan kosong kelapa sawit (TKKS), serat mesocarp kelapa sawit, cangkang inti sawit, dan limbah cair atau palm oil mill effluent (POME). Saat ini, Limbah padat seperti serat dan cangkang digunakan sebagai bahan bakar boiler untuk menghasilkan uap bertekanan tinggi untuk pembangkit listrik di pabrik kelapa sawit (Iryani et al, 2019). Sementara itu, limbah padat lain seperti tandan kosong kelapa sawit belum digunakan, padahal jumlahnya melimpah dan berpotensi diolah menjadi produk yang bernilai ekonomi tinggi. Setiap ton tandan buah segar (TBS) menghasilkan 22% tandan kosong kelapa sawit (Kusumaningrum dan Munawar , 2014).

Di pabrik kelapa sawit dengan perkebunan, tandan kosong kelapa sawit digunakan sebagai mulsa atau kompos untuk perkebunan kelapa sawit (Ahmad et al, 2019). Tandan kosong kelapa sawit yang ditempatkan di sekitar tanaman muda mampu mengendalikan gulma, mencegah erosi dan memelihara kelembaban tanah. Namun, di pabrik tanpa perkebunan, tandan kosong kelapa sawit hanya ditumpuk dan dibakar. Menurut Purnomo (2018) tandan kosong kelapa sawit berpotensi menghasilkan gas metana ( $\text{CH}_4$ ) sebesar 2,420 liter/kg volatile solid (VS), jika suatu pabrik kelapa sawit beroperasi 45 ton/jam TBS akan menghasilkan tandan

kosong kelapa sawit sebanyak 9,9 ton/jam dan akan menghasilkan gas metana sebesar 108,9 juta liter. Jika dimanfaatkan untuk pembangkit listrik tenaga uap setiap ton tandan kosong kelapa sawit akan membangkitkan energi sebesar 0,77 MW (Wibowo, 2016)

Pada pabrik kelapa sawit, tandan kosong kelapa sawit dapat diolah yang selanjutnya dijual sebagai bahan bakar padat. Namun, permasalahannya jika dijadikan sebagai bahan bakar, tandan kosong kelapa sawit bersifat hidrofilik, kadar air tinggi, densitas rendah, dan nilai kalor rendah. Selain itu tandan kosong kelapa sawit juga mengandung logam alkali tinggi terutama kalium dan silika (Stemann, *et al.*, 2013). Salah satu pemanfaatan tandan kosong kelapa sawit sebagai biopellet sudah dilakukan pada industri kelapa sawit di Sumatera Utara. Namun kualitasnya masih rendah, sehingga perlu dilakukan treatment sebelum dijadikan sebagai biopellet.

Faktor yang harus diperhatikan dalam pembuatan biopellet dari tandan kosong kelapa sawit yakni tingginya kadar abu dan kandungan mineral seperti K, Na, Ca, Mg, Si serta P, karena dua faktor tersebut dapat menimbulkan hal yang merugikan pada proses pembakaran di boiler dan menghasilkan energy kalor yang rendah. kandungan unsur Kalium pada tandan kosong kelapa sawit adalah 50% dari total kadar abu biomasanya (Nurdiawati *et al.*, 2015). Kalium (K) memiliki dampak negatif pada boiler yang dapat menyebabkan penumpukan abu dan korosif pada proses pemanasan di pipa-pipa boiler (Novianti *et al.*, 2016). Masalah slagging dan fouling dari penggunaan biomasa tandan kosong kelapa sawit sebagai pembangkit listrik memiliki keterkaitan pada tingginya kandungan unsur K, sehingga berdampak pada meningkatnya biaya pengoperasian dan waktu off-line pada pembangkit listrik, oleh sebab itu memahami pengaruh zat aditif unsur K selama proses pembakaran adalah hal yang penting bagi pembangkit tenaga listrik (Clery *et al.*, 2018).

Terdapat beberapa teknik untuk menghilangkan masalah slagging dan fouling, diantaranya dengan menambahkan zat aditif, perlakuan kimia, biologis dan perlakuan dengan panas (Kristiani A *et al.*, 2015). Jika menggunakan bahan kimia tambahan dikhawatirkan dapat menyebabkan masalah lingkungan lainnya, dan menyebabkan biaya operasi tinggi. Leaching treatment dapat diterapkan untuk

menghilangkan zat anorganik dan menghasilkan nilai tambah biopellet dan filtratnya dapat dijadikan sebagai pupuk cair (Nurdiawati *et al*, 2015). Mineral kalium (K) dari tandan kosong kelapa sawit dapat dihilangkan mencapai 74% menggunakan hot water leaching treatment dan hingga 92% bila diikuti dengan pencucian air (Novianti *et al*, 2016), karena sel struktural tandan kosong kelapa sawit akan melemah oleh suhu tinggi dan ion K bisa larut dalam air. Berdasarkan penjelasan diatas dapat disimpulkan bahwa proses pencucian biomassa dapat menggunakan pelarut air pada kondisi hot water.

Selain jenis pelarut, ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan diantaranya ukuran partikel tandan kosong kelapa sawit, rasio biomassa/liquid, waktu pencucian, dan kecepatan pengadukan. Namun, pada penelitian ini akan dilakukan optimasi proses pencucian dengan melibatkan variabel suhu pelarut, rasio biomassa/liquid dan waktu pencucian. Selanjutnya dilakukan studi kelayakan ekonomi pemanfaatan tandan kosong kelapa sawit sebagai bahan bakar padat dalam bentuk pellet dengan menerapkan teknologi pencucian. Perhitungan kelayakan didasarkan atas kriteria yang disebut dengan Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR) dan Pay Back Period (PBP).

## **1.2. Tujuan**

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui kondisi optimasi leaching treatment dengan variabel suhu, rasio biomass/pelarut dan holding time terhadap penurunan kandungan mineral pada tandan kosong kelapa sawit
2. Untuk mengetahui kelayakan ekonomi industri biopellet tandan kosong kelapa sawit dengan menerapkan teknologi pencucian (*leaching treatment*).

## **1.3. Kerangka pemikiran**

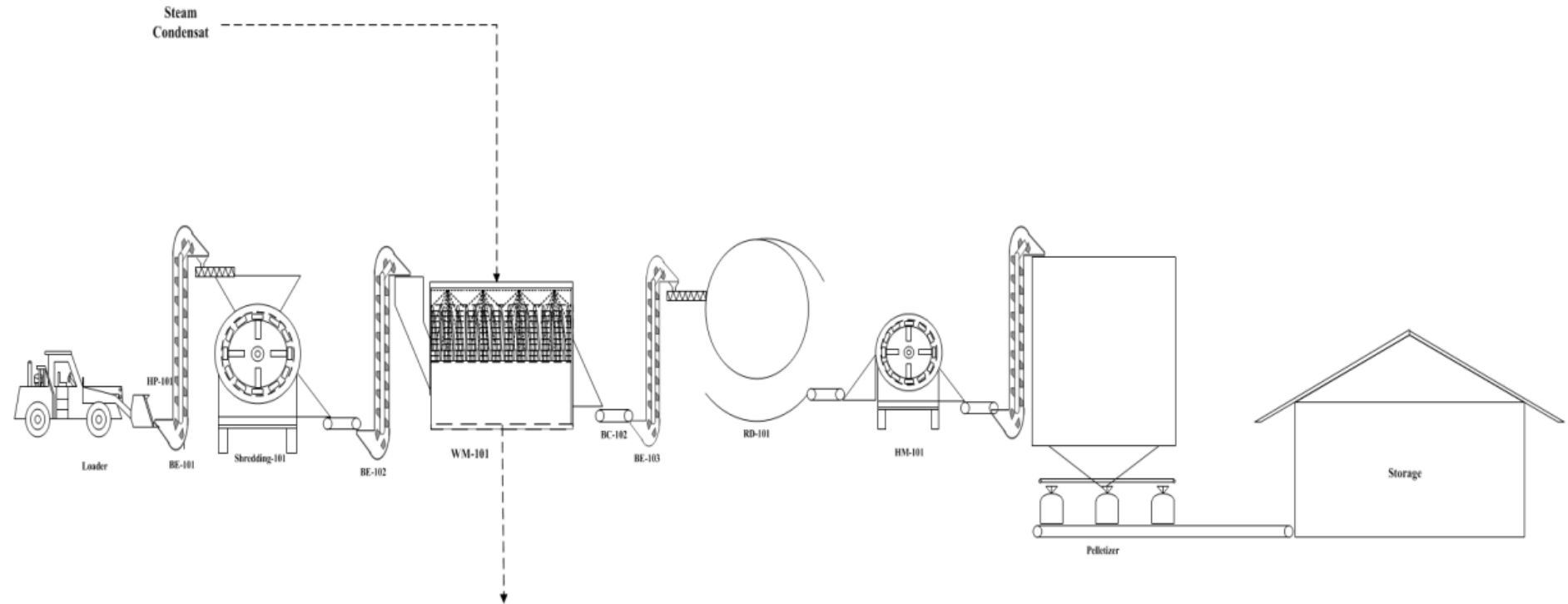
Pemanfaatan tandan kosong kelapa sawit (TKKS) sebagai biopellet merupakan sebuah solusi yang baik untuk mencegah polusi dan dampak buruk yang ditimbulkan ke lingkungan maupun masyarakat sekitar pabrik serta menambah nilai ekonomis dari limbah padat dari pengolahan kelapa sawit. Namun, permasalahannya jika dijadikan sebagai bahan bakar, tandan kosong kelapa sawit bersifat hidrofilik, kadar air tinggi, densitas rendah, kadar abu dan nilai kalor

rendah. Selain itu abu pada tandan kosong kelapa sawit juga mengandung logam alkali tinggi terutama kalium dan silika (Stemann, *et al.*, 2013).

Pembakaran bahan bakar yang mengandung abu, memiliki efek negatif pada efisiensi boiler. Beberapa komponen dalam abu seperti KCl, NaCl, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> akan menurunkan suhu leleh abu sehingga meningkatkan daya rekat partikel abu terbang. Hal ini dapat menyebabkan pengotoran di daerah perpindahan panas boiler dan dengan demikian mengurangi efisiensi dan meningkatkan frekuensi perawatan. Menurut Martijn (2015) sifat unsur K mudah larut dalam air sehingga metode pencucian dengan air dapat menurunkan 90% kandungan unsur K pada tandan kosong kelapa sawit dapat meningkatkan hasil oil yield selama proses pirolisis dari 40% hingga lebih dari 60%. Metode lain untuk menurunkan kadar abu, kandungan unsur K dan chlorine adalah kombinasi proses hydrothermal pada suhu 180<sup>0</sup> C dan pencucian dengan rasio 1:10 (biomasa/air) yang dapat dengan efektif menurunkan kadar abu hingga 82%, kandungan chlorine 71,6% dan 82% unsur K (Novianti *et al.*, 2016). Disisi lain pencucian dengan air keran sangat efektif dalam mengurangi kandungan kadar abu tandan kosong kelapa sawit sekitar 24,9% - 70,3% dengan cara 100 g tandan kosong kelapa sawit direndam selama 5 menit di dalam 3 L air, sedangkan metode yang baik dalam mengurangi 90% kadar unsur K dan 98% sodium adalah tandan kosong yang direndam di dalam 5 L air keran selama 30 menit (Abdullah and Sulaiman, 2013).

Pencucian kalium dari tandan kosong kelapa sawit dipengaruhi oleh suhu, holding time dan rasio biomassa-liquid (B/L). Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan bahwa unsur K pada TKKS dapat di turunkan dengan berbagai macam metode yakni dengan proses pirolisis dan kombinasi hydrothermal pada suhu tertentu dengan air pencucian, serta dengan perendaman dengan menggunakan air keran atau air proses. Oleh karena itu, berdasarkan uraian diatas, maka pada penelitian ini menerapkan teknologi pencucian/ leaching dengan pelarut air proses pada produksi biopellet tandan kosong kelapa sawit. Berikut dibawah ini proses produksi biopellet dengan menerapkan teknologi leaching.

## PENGOLAHAN TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT MENJADI BIOPELET



Gambar 1. *Flowsheet* proses produksi biopelet tandan kosong kelapa sawit dengan menerapkan teknologi leaching

Pada penelitian ini akan dilakukan proses optimasi leaching dengan variabel suhu pelarut, rasio biomassa/liquid dan waktu pencucian. Selanjutnya studi kelayakan ekonomi pemanfaatan tandan kosong kelapa sawit menjadi bahan bakar dalam bentuk pellet dengan menerapkan teknologi pencucian akan dilaksanakan. Perhitungan kelayakan didasarkan atas kriteria yang disebut dengan Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR) dan Pay Back Period (PBP).

#### **1.4. Hipotesis**

- a. Terdapat kondisi optimum pada leaching treatment terhadap penurunan kandungan mineral tandan kosong kelapa sawit.
- b. Industri biopellet yang menerapkan teknologi leaching layak didirikan.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

#### 2.1.1. Potensi TKKS

Limbah Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan produk samping utama yang dihasilkan dari proses pengolahan kelapa sawit menjadi CPO, menurut Kusumaningrum dan Munawar (2014) sebanyak 22.508 ton/ tahun CPO yang dihasilkan berasal dari 20% tandan buah segar (TBS). Tandan kosong kelapa sawit merupakan limbah biomasa yang melimpah keberadaannya namun masih minim dalam pengolahan dan memanfaatkannya menjadi suatu hal yang memiliki nilai ekonomi, hal ini dapat dilihat dari presentasi jenis limbah yang disajikan pada Tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1 Potensi limbah Biomassa dari pengolahan CPO

Jenis Limbah	Proporsi	Produksi Kelapa Sawit (Ton)		
		2020	2021	2022
Jumlah TBS	100%	45.741.845	46.854.457	48.235.405
TKKS	23% TBS	10.520.624	10.776.526	11.094.143
Cangkang Kelapa Sawit	6,5 % TBS	2.973.220	3.045.540	3.135.301
Mesocarp palm oil	13% TBS	5.946.439	6.091.079	6.270.602

Sumber : (Ditjen Perkebunan, 2022)

Kresnawaty *et al.*, (2018) menyatakan bahwa produksi minyak sawit mentah di pabrik kelapa sawit (PKS) menghasilkan produk samping berupa tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang jumlahnya mencapai 21–23% dari berat total tandan buah segar (TBS) tidak di manfaatkan secara baik hanya ditumpuk pada landfill akan menghasilkan bau busuk yang membetuk gas metan (CH<sub>4</sub>), namun jika dimanfaatkan sebagai bahan bakar dengan kapasitas pembangkit tenaga uap

sebesar 25 MW dapat menurunkan pembentukan CO<sub>2</sub> sebesar 188.730 ton/tahun. Oleh sebab itu TKKS perlu di kelola dengan baik sehingga gas yang dihasilkan dapat di manfaatkan dan mencegah pencemaran terhadap lingkungan, salah satunya adalah di jadikan produk bioenergi yakni biopelet. Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan potensi yang melimpah yang dapat dimanfaatkan sebagai biopelet pengganti bahan bakar berbahan fosil atau batu bara. Setiap ton tandan kosong kelapa sawit dengan kadar air 60% akan setara dengan 400 kg kering yang dengan nilai kalor sebesar 18,795 MJ/kg (4.492 kcal/kg) dapat dikonversi pada PLT biomasa dengan efisiensi 20% akan menghasilkan listrik sebesar 418 kWh (Wijono, 2014).

### 2.1.2. Karakteristik Tandan Kosong Kelapa Sawit

Berikut dibawah ini karakteristik pada tabel 2.2 dibawah ini.

Tabel 2.2. Karakteristik Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

	Komponen	Unit	*	**
Analisa proksimat	Moisture	% massa	-	-
	Ash	kering	4,9	3,77
	Volatile Matter		-	-
	Fixed Carbon		-	-
Analisa Ultimasi	Carbon	% massa	43,6	-
	Hydrogen	(kering)	5,3	-
	Nitrogen		0,6	-
	Sulfur		0,11	0,0063
	Chlorida		0,7	0,-38
	Oxygen		45,5	
Nilai Panas	HHV	Kj/kg	16,8	-
	LHV	(basah) Kj/kg (kering)	-	-
Analisa komponen	SiO <sub>2</sub>		-	30,8
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		-	0,53
Abu (ash)	TiO <sub>2</sub>		-	0,1



Lanjutan Tabel 2.2 Karakteristik Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

Komponen	Unit	*	**
Na <sub>2</sub> O	% massa	-	2,93
K <sub>2</sub> O		-	37,8
CaO		-	4,35
MgO		-	9,51
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		-	4,87
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		-	0,99
SO <sub>3</sub>		-	1,89
Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub>		-	0,12

Sumber :\*(Yoshikawa, 2017), \*\*(Meesters *et al*, 2018)

Berdasarkan karakteristik tandan kosong kelapa sawit, unsur Kalium (K) dan Silika (Si) merupakan unsur dominan pada abu deposit, sedangkan senyawa utamanya adalah K<sub>2</sub>O dengan titik leleh yang rendah sehingga dapat meningkatkan penumpukan abu deposit pada dinding boiler (Sidarta, 2017). Masalah slagging dan fouling dari penggunaan biomasa padat sebagai pembangkit listrik memiliki keterkaitan pada tingginya kandungan unsur K pada beberapa tipe biomasa, sehingga berdampak pada meningkatnya biaya pengoperasian dan waktu off-line pada pembangkit listrik. Oleh sebab itu memahami penurunan unsur K selama proses pembakaran adalah hal yang penting bagi pembangkit tenaga listrik (Clery *et al.*, 2018). Salah satu cara untuk menurunkan kandungan mineral biomassa untuk pengolahan biopellet dapat dilakukan dengan metode pencucian (leaching treatment) untuk mengurangi kadar unsur hara K pada Tandan kosong kelapa sawit.

## 2.2. Leaching

### 2.2.1. Pengertian Leaching

Leaching merupakan proses ekstraksi zat padat menggunakan pelarut yang dapat melarutkan zat terlarut (solut). Perpindahan massa dari zat padat ke larutan leaching merupakan transfer dari fase padat ke cair. Pelarutan yang terjadi dalam proses leaching bersifat selektif sehingga senyawa senyawa yang tidak diinginkan dalam bahan tidak akan terpengaruh dengan adanya proses ini dan tetap ada dalam padatan. Zat yang terlarut dalam larutan leaching hanya bisa diambil saat padatan dan larutan leaching dipisahkan. Padatan yang dihasilkan dari proses leaching disebut residu/raffinat. Proses leaching terdiri dari 5 tahapan, yaitu :

1. Difusi massa pelarut dari bulk pelarut ke permukaan padatan
2. Difusi pelarut ke dalam pori padatan
3. Perubahan fasa solute menjadi terlarut dalam pelarut
4. Difusi melalui pelarut di dalam pori padatan ke lapisan luar padatan
5. Transfer solute dari lapisan luar padatan ke bulk pelarut

Secara umum, berdasarkan bahan dan metodenya, ekstraksi dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu ekstraksi padat cair dan ekstraksi cair-cair. Berikut penjelasannya:

#### A. Ekstraksi Padat Cair (Leaching)

Ekstraksi padat cair (leaching) adalah proses pemisahan suatu zat terlarut yang terdapat dalam suatu padatan dengan mengontakkan padatan tersebut dengan pelarut (solvent) sehingga padatan dan cairan bercampur dan kemudian zat terlarut terpisah dari padatan karena larut dalam pelarut. Pada ekstraksi padat cair terdapat dua fase yaitu fase overflow (ekstrak) dan fase underflow (rafinat/ampas). Metode yang digunakan untuk ekstraksi akan ditentukan oleh banyaknya zat yang larut, penyebarannya dalam padatan, sifat padatan dan besarnya partikel. Jika zat terlarut menyebar merata di dalam padatan, material yang dekat permukaan akan pertama kali larut terlebih dahulu. Pelarut kemudian akan menangkap bagian pada lapisan luar sebelum mencapai zat terlarut selanjutnya, dan proses akan menjadi lebih sulit dan laju ekstraksi menjadi turun.

Biasanya proses leaching berlangsung dalam tiga tahap, yaitu:

1. Perubahan fase dari zat terlarut yang diambil pada saat zat pelarut meresap masuk.
2. Terjadi proses difusi pada cairan dari dalam partikel padat menuju keluar.
3. Perpindahan zat terlarut dari padatan ke zat pelarut

#### B. Ekstraksi Cair-Cair

Ekstraksi cair-cair adalah ekstraksi yang digunakan jika pemisahan campuran dengan cara destilasi tidak mungkin dilakukan (misalnya karena pembentukan azeotrop atau karena kepekaannya terhadap panas) atau tidak ekonomis. Seperti ekstraksi padat cair, ekstraksi cair-cair selalu terdiri dari sedikitnya dua tahap, yaitu pencampuran secara intensif bahan ekstraksi dengan pelarut dan pemisahan kedua fase cair itu sesempurna mungkin.

## **2.2.2. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Leaching**

### **1. Ukuran Partikel**

Ukuran partikel mempengaruhi efektivitas proses pencucian, contohnya pada pencucian batubara. Kandungan abu dari batubara mentah bervariasi dengan partikel ukuran. Tingkat demineralisasi meningkat dengan penurunan ukuran partikel. Hal ini karena ukuran partikel yang lebih halus memiliki luas permukaan yang besar sehingga meningkatkan demineralisasi. Kadar abu batubara mentah berkurang dengan peningkatan ukuran partikel sementara ini meningkat di Batubara pencucian. Oleh karena itu, persentase demineralisasi meningkat dengan penurunan ukuran partikel. Dari eksperimen hasilnya, ukuran partikel yang lebih halus adalah memperoleh demineralisasi dengan persen tertinggi, sekitar 46% dan 34% dari batubara A, 42% dan 32% dari batubara B oleh konsentrasi pelarut masing-masing pelindian 30% NaOH dan 30% Larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Ukuran partikel yang menurun menyebabkan luas permukaan lebih besar, sehingga meningkatkan interaksi antara leachant dan coalbearing mineral. Sehingga mineral yang mengandung abu mudah larut dalam pelarut kimia

### **2. Suhu**

Suhu adalah salah satu parameter paling efektif pada proses pencucian. Demineralisasi meningkat karena peningkatan suhu reaksi selama percobaan, dikarenakan energi panas menghasilkan peningkatan laju reaksi pencucian. Dalam hal ini, semakin besar demineralisasi diperoleh pada suhu tinggi (100°C) sekitar 32,40%. Efek pemanasan menyebabkan peningkatan energi aktivasi. Reaksi lebih mudah untuk melepaskan ikatan yang kuat antara mineral dan batubara dalam matriks batubara. Temperatur juga mempengaruhi hasil batubara. Semakin tinggi suhu maka derajat demineralisasi juga meningkat.

### **3. Waktu**

Waktu berperan yang paling penting selama proses leaching karena memutuskan kontak antara fase mineral dalam batubara dan leachant. Persentase demineralisasi meningkat seiring waktu. Alasan di balik demineralisasi yang lebih tinggi karena semakin besar waktu kontak antara mineral batubara dan leachant, yang menyebabkan peningkatan pembebasan mineral dalam proses pencucian.

### 2.2.3. Leaching pada Tandan Kosong Kelapa Sawit

Menurut Martijn (2015) sifat unsur K mudah larut dalam air sehingga metode pencucian dengan air dapat menurunkan 90% kandungan unsur K pada tandan kosong kelapa sawit dapat meningkatkan hasil *oil yield* selama proses pirolisis dari 40% hingga lebih dari 60%. Metode lain untuk menurunkan kadar abu, kandungan unsur K dan chlorine adalah kombinasi proses *hydrothermal* pada suhu 180<sup>0</sup> C dan pencucian dengan rasio 1:10 (biomasa/air) yang dapat dengan efektif menurunkan kadar abu hingga 82%, kandungan chlorine 71,6% dan 82% unsur K (Novianti et al., 2016). Disisi lain pencucian dengan air keran sangat efektif dalam mengurangi kandungan kadar abu tandan kosong kelapa sawit sekitar 24,9% - 70,3% dengan cara 100 g tandan kosong kelapa sawit direndam selama 5 menit di dalam 3 L air, sedangkan metode yang baik dalam mengurangi 90% kadar unsur K dan 98% sodium adalah tandan kosong yang direndam di dalam 5 L air keran selama 30 menit (Abdullah & Sulaiman, 2013). Pencucian dengan air dapat menurunkan secara nyata nilai kandungan unsur alkali pada biomasa rerumputan hingga 92% kandungan unsur sodium, 62% unsur K dan 100% unsur Cl. (Saddawi et al., 2013). Pencucian kalium dari tandan kosong kelapa sawit dipengaruhi oleh suhu, holding time dan rasio biomassa-liquid (B/L). Dihasilkan bahwa pencucian menggunakan air pada suhu kamar (28°C), K menurun menjadi 9886,5 ± 643,0 mg / kg, suatu pengurangan dari 51,7%. Pada 60°C, K selanjutnya dilepaskan dari tandan kosong kelapa sawit, menghilangkan K dari 2428,1 ± 144,9 mg / kg. *Hydrothermal treatment* menunjukkan bahwa pada suhu yang lebih tinggi (120°C), tidak ada perbedaan dalam K tetap pada B/L 50 dan 75 g /L.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah di lakukan bahwa unsur K pada TKKS dapat di turunkan dengan berbagai macam metode yakni dengan proses pirolisis dan kombinasi *hydrothermal* pada suhu tertentu dengan air pencucian, serta dengan perendaman dengan menggunakan air keran. Pada penelitian ini dilaksanakan metode pencucian unsur alkali pada TKKS menggunakan tap water atau air proses.

### 2.3. Analisis Kelayakan Tekno Ekonomi

Secara garis besar, analisis kelayakan finansial yang dilakukan, meliputi:

1. Analisis Finansial, terdiri atas:
  - a. Net Present Value (NPV)
  - b. Internal Rate of Return (IRR)
  - c. Payback Period
  - d. Minimum Attractive of Return (MARR)
2. Analisis Sensitivitas/Kepekaan (Sensitivity Analysis)

Dalam mengevaluasi kelayakan suatu proyek, dapat dilakukan dengan menganalisis ketiga komponen tersebut di atas. Sama dengan pada analisis kelayakan ekonomi, maka sebelum melakukan analisis kelayakan finansial perlu adanya penyusunan cash flow.

#### 1. Cash Flow

Seperti telah dijelaskan pada analisis kelayakan ekonomi, maka dalam penyusunan cash flow analisis finansial terdiri atas cash in dan cash out, dengan cash in terdiri atas semua revenue yang diprediksi akan diterima setelah proyek jadi. Cash out terdiri atas biaya investasi, operasi pemeliharaan serta biaya bunga atas pinjaman.

#### 2. Analisis Net Present Value (NPV)

Sama seperti analisis kelayakan ekonomi, maka analisis Net Present Value pada kelayakan finansial adalah selisih antara Present Value Benefit dikurangi dengan Present Value Cost. Hasil NPV dari suatu proyek yang dikatakan layak secara finansial adalah yang menghasilkan nilai NPV bernilai positif. Yang membedakan dengan analisis kelayakan ekonomi adalah data pada cash in, cash out dan discount rate.

#### 3. Analisis Internal Rate Of Return (IRR)

##### 3.1 Pengertian FIRR

Internal rate of return (EIRR) merupakan tingkat pengembalian berdasarkan pada penentuan nilai tingkat bunga (discount rate), dimana semua keuntungan masa depan yang dinilai sekarang dengan discount rate tertentu adalah sama dengan biaya kapital atau present value dari total biaya.

Dalam perhitungannya IRR adalah besarnya tingkat suku bunga pada saat nilai NPV = 0. Nilai IRR dari suatu proyek harus lebih besar dari nilai suku bunga yang berlaku atau yang ditetapkan dipakai dalam perhitungan kelayakan proyek. Nilai ini digunakan untuk memperoleh suatu tingkat bunga dimana nilai pengeluaran sekarang bersih (NPV) adalah nol. Perhitungan untuk dapat memperoleh nilai IRR ini dilakukan dengan cara coba-coba (trial and error). Jika nilai IRR lebih besar dari discount rate yang berlaku, maka proyek mempunyai keuntungan secara finansial dan nilai IRR pada umumnya dapat dipakai untuk membuat ranking bagi usulan-usulan proyek yang berbeda.

### 3.2 Metode Analisis IRR

Dimana pada analisis kelayakan finansial IRR bisa dibedakan atas :

#### - On Project

IRR on Project biasa disebut sebagai IRR, yaitu tingkat pengembalian atas biaya yang sudah dikeluarkan atas proyek, baik modal sendiri maupun dari pinjaman atau subsidi. Sehingga biasanya yang ditunjukkan dalam kelayakan finansial adalah IRR on Project.

#### - On Equity

IRR on Equity biasa disebut dengan Return on Equity (ROE) atau profitabilitas adalah suatu pengukuran dari penghasilan atau income yang tersedia bagi pemilik perusahaan atas modal yang mereka investasikan di dalam perusahaan ROE sangat mendukung apakah proyek ability atau tidak.

### **III. METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1. Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus 2020 - Desember 2020 di Laboratorium Pengolahan Limbah Agroindustri Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Universitas Lampung. Analisis kandungan mineral dilakukan di Laboratorium Kimia, Universitas Negeri Padang. Analisis Nilai Kalori dan Kandungan Mineral dilakukan di Laboratorium Analisis Politeknik Negeri Lampung.

#### **3.2. Alat dan Bahan**

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah reaktor autoclave, timer, oven, pH meter, hummer mill, gunting, timbangan analitik (Ohaus), gelas ukur, cawan petri, cawan porselin, plastik ziplock, botol sampel, alat tulis, furnace, stopwatch filter, X-ray Fluorescence (XRF) Pan Analytical Epsilon, Atomic Absorption Spectrometer Shimadzu dan bomb calorimeter Parr 6100, AS.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah air, tandan kosong kelapa sawit dari PT. Lambang Bumi Perkasa dan bahan-bahan kimia untuk kebutuhan analisis.

#### **3.3. Metode Penelitian**

Rancangan percobaan menggunakan Response surface method design experiment dengan variabel suhu pelarut (30°C, 75°C, dan 120°C), rasio biomassa/Liquid (1:5, 1:10, 1:15), dan holding Time (15, 37.5, 60 menit)

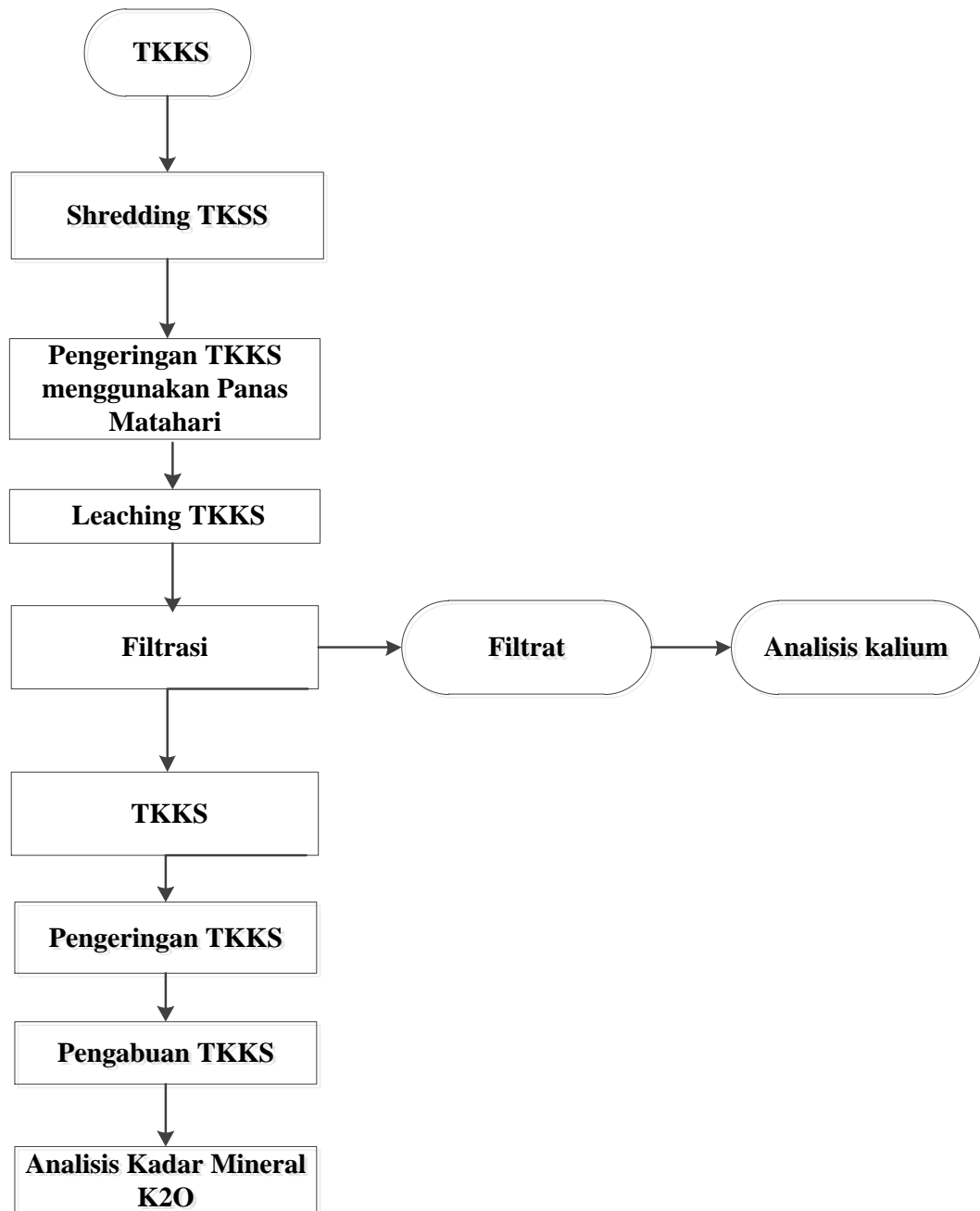
Berikut dibawah ini tabel rancangan percobaan yang dilaksanakan.

Tabel 3.1 Rancangan Percobaan

No	Run	Suhu Pelarut (°C)	Rasio Pelarut	Waktu (Menit)
1	T0 (Kontrol)			
2	T1	30	5	15
3	T2	30	10	15
4	T3	30	10	37.5
5	T4	30	10	60
6	T5	30	15	37.5
7	T6	30	5	60
8	T7	75	5	60
9	T8	75	10	37.5
10	T9	75	10	15
11	T10	75	15	15
12	T11	75	15	60
13	T12	120	10	60
14	T13	120	5	37.5
15	T14	120	10	15
16	T15	120	15	37.5



### 3.4. Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Diagram alir penelitian

### 3.5. Pelaksanaan Penelitian

#### 3.5.1. Pretreatment Sample

Tandan kosong kelapa sawit dari yang diperoleh dari PT. Lambang Jaya Lampung dianalisis kandungan air (moisture content) dan kadar abu.

#### 3.5.2. Leaching Treatment

Percobaan leaching treatment dilakukan secara batch. Percobaan dilakukan rancangan percobaan response surface methode dengan variabel suhu pelarut pada 3 level (30°C, 75°C, dan 120°C), rasio biomassa/liquid pada 3 level (1:5, 1:10, dan 1:15), dan holding time (HT) pada 3 level (15, 37,5, dan 60 menit). Setelah proses pencucian, sampel disaring untuk memisahkan tandan kosong kelapa sawit dan fraksi cairnya. Selanjutnya dilakukan pengeringan pada suhu 105 °C sampai konstan.

#### 3.5.3. Analisis sampel

##### 3.5.3.1. Analisis Proksimat

###### 1. Kadar Air

Kadar air adalah perbandingan berat air yang terkandung dalam tandan kosong kelapa sawit dengan berat yang sudah dikeringkan. Kadar air bahan dapat ditentukan dengan mengeringkan sampel pada 105°C dalam oven pengeringan sampai berat konstan (ASTM D 3173).

Berikut perhitungan kadar air pada persamaa (1)

$$\text{Kadar Air} = \frac{(mB - mK)}{mB} \times 100\% \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan :

mB = Massa sampel sebelum dikeringkan (g)

mK = Massa sampel setelah dikeringkan (g)

###### 2. Kadar Abu

Kadar Abu adalah jumlah bahan yang tersisa atau tidak dapat terbakar selama proses pembakaran. Kadar abu didapatkan setelah dilaksanakan proses pembakaran sampel kering di dalam cawan porselin yang diletakan di dalam furnace pada temperatur 575°C selama 3 jam.

Berikut perhitungan kadar abu pada persamaan (2)

$$\text{Kadar Abu} = \frac{(m_2)}{m_1} \times 100\% \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan :

$m_2$  = massa abu (g)

$m_1$  = massa sampel kering (g)

### 3. Volatile Matter

Volatile Matter adalah ukuran kemampuan bahan bakar padat dapat terbakar secara cepat atau lambat. Semakin tinggi kadar volatil pada bahan bakar, maka bahan bakar tersebut akan semakin cepat terbakar. Sementara volatile matter dapat dianalisa dengan cara memanaskan sampel kering dalam cawan porselin kedap udara di dalam furnace pada temperatur 950°C selama 7 menit.

Berikut perhitungan volatile matter pada persamaan (3)

$$\text{Kadar Volatile Matter} = \frac{(m_2)}{m_1} \times 100\% \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan :

$m_2$  = massa setelah proses pembakaran (g)

$m_1$  = massa sampel kering (g)

### 4. Fix Carbon

Kandungan karbon tetap didapatkan dari selisih 100% - ( kadar air + kadar abu + kadar volatile matter ).

### 5. Analisis Komposisi Abu

Untuk menganalisis senyawa oksida utama  $Fe_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ , dan  $TiO_2$  digunakan X-ray Fluoresence (XRF)).

### 6. Slagging dan Fouling Index

Indikator Slagging dan Fouling dapat analisis menggunakan persamaan dibawah ini.

Tabel 3.2 Indikator Slagging dan fouling

Indikator	Persamaan/wt%	Derajat Deposit
Base/Acid	$\frac{(Fe_2O_2 + CaO + MgO + K_2O)}{(SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2)}$	<0,206 Slight
Ratio (B/A)		0,206-0,4 Moderate
		>0,4 Severe

Fouling Index (FI)	$B/A \times (Na_2O + K_2O)$	<0,6 Slight 0,6- 40 Severe >40 Extremely Severe
Slagging Index (SI)	$R_s = (B/A) \times S_d$ $S_d = \% \text{ of S in dry fuel}$	<0,6 Slight 0,6- 2,0 Moderate 2,0 -2,6 Severe >2,6 Extremely Severe
Alkali index (AI)	$(Na_2O + K_2O) \text{ KG/Gj}$	0,17 – 0,34 Probable >0,34 Certain to occur
Chloride Index	Cl Content	<0,2 Slight 0,2- 0,3 Moderate 3,0 -0,5 Severe >0,5 Extremely Severe

### 7. Analisis Kalium terlarut

Unsur kalium dalam sampel cairan menggunakan Atomic Absorption Spectrometer (AAS).

### 8. Analisis Higher Heating Value (HHV)

*Higher Heating Value* (HHV) dari tandan kosong kelapa sawit setelah proses pencucian dianalisis menggunakan bomb calorimeter (Parr 6100, AS) menurut metode ASTM D5865-07 (ASTM International, 2013).

### 9. Analisis Statistik

Untuk menentukan pengaruh beberapa variabel dan optimasi proses digunakan aplikasi minitab 18 dengan analisis Response Surface Methode (RSM).

## 10. Analisis Tekno Ekonomi

Sebuah proyek dapat dikatakan layak atau tidak secara finansial dapat diketahui dari kriteria investasi. Berdasarkan nilai uang, kriteria investasi antara lain Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR) dan Benefit of Cost, sedangkan berdasarkan nilai waktu antara lain Payback Periode (PP) dan Break event Point (BEP). Kriteria investasi tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut.

### 1. Net Present Value (NPV)

Net Present Value merupakan metode analisis keuangan yang memerhatikan adanya perubahan nilai uang karena faktor waktu; proyeksi arus kas dapat dinilai sekarang (periode awal investasi) melalui pemotongan nilai dengan faktor pengurang yang dikaitkan dengan biaya modal (persentase bunga). Proyek akan dinilai layak jika NPV bernilai positif dan dinilai tidak layak jika NPV bernilai negative.

Keterangan:

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{(C)t}{(1+i)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{(Co)t}{(1+i)^t}$$

NPV : Nilai sekarang bersih

(C)t : Arus kas masuk tahun ke-t

(Co)t : Arus kas keluar tahun ke-t

n : umur unit usaha hasil investasi

i : Arus pengembalian (rate of return)

t : waktu

### 2. Internal Rate of Return (IRR)

Internal Rate of Return merupakan metode penilaian kelayakan proyek dengan menggunakan perluasan metode nilai sekarang. Pada posisi NPV=0 akan diperoleh tingkat persentase tertentu. Proyek dinilai layak jika IRR lebih besar dari persentase biaya modal (bunga kredit) atau sesuai dengan persentase keuntungan yang ditetapkan oleh investor, dan sebaliknya, proyek dinilai tidak layak jika IRR lebih kecil dari biaya modal atau lebih rendah dari keinginan investor.

$$IRR = i_2 \frac{-NPV_2 x (i_2 - i_1)}{NPV_1 + NPV_2}$$

### 3. Payback Periode (PP)

Payback period merupakan jangka waktu periode yang diperlukan untuk membayar kembali semua biaya-biaya yang telah dikeluarkan dalam investasi suatu proyek dengan hasil yang diperoleh oleh investasi tersebut. Alasan dasar metode payback period adalah semakin cepat suatu investasi dapat ditutup kembali maka semakin diinginkan investasi tersebut. Apabila investasi akan dinilai dengan menggunakan kriteria penilaian payback period maka sebelumnya ditetapkan terlebih dahulu payback period maksimal. Dalam pengambilan keputusan diperbandingkan antara payback period maksimal yang telah ditetapkan dengan payback period investasi yang akan dilaksanakan, apabila payback period investasi yang akan dilaksanakan lebih singkat waktunya dibandingkan payback period maksimal yang disyaratkan maka investasi akan dilaksanakan.

### 4. Break Event Point (BEP)

Break Event Point atau titik impas adalah titik dimana total biaya produksi sama dengan pendapatannya. Titik impas memberikan petunjuk bahwa tingkat produksi telah menghasilkan pendapatan yang sama besarnya dengan biaya produksi yang dikeluarkan. Selain itu bagi manajemen dapat memberikan informasi mengenai biaya tetap dan biaya variabel yang dapat digunakan untuk mempertimbangkan tentang pengadaan bahan baku, pemilihan peralatan dan mengikuti perkembangan proses teknologi. Dengan diketahui titik impas maka suatu perusahaan akan dapat mengetahui jumlah produksi (volume produksi) yang harus dipertahankan agar tidak mengalami kerugian, akan tetapi setiap perusahaan hendaknya dapat memproduksi diatas volume ini dengan merencanakan jumlah tambahan kebutuhan akan modal berkaitan dengan

volume produksi.

#### 5. Analisis Sensitivitas

Analisis finansial diperlukan adanya analisis sensitivitas untuk mengkaji pengaruh perubahan unsur-unsur dalam aspek ekonomi finansial terhadap keputusan yang diambil. Hal ini dikarenakan analisis finansial dibuat berdasarkan sejumlah asumsi dengan ketidakpastian situasi dan kondisi di masa mendatang. Analisis sensitivitas dapat diketahui tingkat sensitivitas keputusan yang sudah dipilih terhadap perubahan suatu unsur tertentu. Jika nilai unsur tertentu berubah dengan variasi yang relatif besar tetapi tidak berpengaruh terhadap keputusan, maka dapat dikatakan bahwa keputusan tidak sensitif terhadap unsur tersebut. Sebaliknya, jika perubahan kecil suatu unsur mengakibatkan perubahan keputusan, maka dapat dinilai bahwa keputusan sensitif terhadap unsur tersebut. Evaluasi pendirian pabrik biopellet yang dilengkapi dengan teknologi leaching di simulasikan menggunakan software SuperPro Designer V.10. SuperPro Designer V.10 dapat digunakan untuk simulasi proses, optimasi proses dan evaluasi ekonomi.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

1. Tandan kosong kelapa sawit setelah proses leaching mengalami penurunan kandungan kalium dari 4,9% menjadi 0,63%. Nilai kalor mengalami peningkatan dari 18 MJ/kg menjadi 22,1 MJ/Kg dan kadar abu sebesar 6,61% menjadi 1,76%. Kondisi optimum proses leaching tandan kosong kelapa sawit untuk memperoleh kalium yang rendah maka pada kondisi operasi suhu 77°C, Rasio pelarut 1:15 dan waktu 15 menit dengan kadar kalium sebesar 0,33%. Kondisi optimum untuk memperoleh kalium yang rendah pada tkks, nilai kalor yang tinggi serta kadar abu yang rendah maka kondisi operasi yang optimum yaitu pada suhu 117,27°C, Rasio pelarut 1:15 dan waktu 15 menit dengan kadar abu sebesar 1,8%, kadar kalium 0,9% dan nilai kalor sebesar 21,19 MJ/Kg.
2. Berdasarkan analisis tekno ekonomi pada kondisi operasi optimum maka prarancangan pabrik biopelet dengan fasilitas leaching layak didirikan. Proyek tersebut layak didirikan pada harga jual biopelet sebesar 0,3\$ dengan nilai return on investment (ROI) sebesar 102%, nilai IRR sebesar 44%, NPV sebesar 22.495.682 \$ dan pay back periode pada 2,22 tahun.

### 5.2. Saran

1. Melakukan optimasi proses leaching memasukkan variabel ukuran partikel.
2. Menambahkan variabel daya tekan setelah proses leaching.



## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah. N. dan Sulaiman. F. 2013. The Properties of the Washed Empty Fruit Bunches of Oil Palm. *Journal of Physical Science*. 24(2): 117–137.
- Ahmad, F. B., Zhang, Z., Doherty, W. O. and O'Hara, I. M. 2019. The outlook of the production of advanced fuels and chemicals from integrated oil palm biomass biorefinery. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 109. 386–411
- Badan Pusat Statistik. 2021. Produktivitas Minyak Sawit di Indonesia tahun 2021
- Clery. D.S.. Mason. P.E.. Rayner. C.M. dan Jones. J.M. 2018. The Effects of an Additive on The Release Of Potassium in Biomass Combustion. *Journal Fuel*. 214: 647–655.
- Direktorat Jenderal Perkebunan. Kementerian Pertanian. 2022. Luas lahan Kelapa sawit di Indonesia (2020-2022). Hal 3-5.
- Iryani D., Haryanto A., Hidayat W., Amrul, Talambanua M., Hasanudin U., Sihyun Lee. 2019. Torrefaction Upgrading Of Palm Oil Empty Fruit Bunches Biomass Pellets For Gasification Feedstock By Using Comb (*Counter Flow Multi-Baffle*) Reactor. 7<sup>th</sup> International Conference on Trends in Agricultural Engineering. 212-217
- Kresnawaty, I., Putra, S.M., Budiani, A., dan Darmono, T. 2018. Konversi Tandan Kosong Kelapa Sawit (tkks) Menjadi Arang Hayati Dan Asap Cair. *J. Penelit. Pascapanen Pertan*. 14, 171–179
- Kristiani A. Effendi N. Aristiawan Y. Aulia F. and Sudiyani Y. 2015. Effect of combining chemical and irradiation pretreatment process to characteristic of oil palm's empty fruit bunches as raw material for second generation bioethanol. *Energy Procedia*: 195–204.
- Kusumaningrum. W.B. and Munawar. S.S. 2014. Prospect of Bio-pellet as an Alternative Energy to Substitute Solid Fuel Based. *Journal Energy Procedia*. 47: 303–309.
- Meesters. K.. Elbersen. W., Van der Hoogt. P. and Hristov. H. 2018. Biomass pretreatment for Bioenergy. *IEA Bioenergy*.
- Novianti. S., Zaini. I.N., Nurdiawati. A. and Yoshikawa. K. 2016. Low

Potassium Content Pellet Production by Hydrothermal-Washing Co-Treatment – IARAS *International Journal of Chemistry and Chemical Engineering Systems*. 1: 28–38.

- Nurdiawati A. Novianti S. Zaini IN. Nakhshinieva B. Sumida H. and Takahashi F. .2015. Evaluation of hydrothermalt treatment of empty fruit bunch for solid fuel and liquid organic fertilizer co-production. *Energy Procedia* : 226–32.
- Nurdiawati A., Novianti S., Zaini IN., Sumida H., and Yoshikawa. 2015. Production of Low-Potassium Solid Fuel from Empty Fruit Bunches (EFB) by Employing Hydrothermal Treatment and Water Washing Process. *Journal of the Japan Institute of Energy*, 94. 775-780
- Purnomo A., Suprihatin, Romli M., and Hasanudin U. 2018. Biogas Production from oil palm empty fruit bunches of post mushroom cultivation media. *IOP Conf. Series : Earth and Environmental Series 141 tulis lengkap*
- Saddawi. A.. Jones. J.M.. Williams. A. and Le Coeur. C. 2012. Commodity Fuels from Biomass through Pretreatment and Torrefaction: Effects of Mineral Content on Torrefied Fuel Characteristics and Quality. *Jorunal Energy & Fuels*. 26(11): 6466–6474.
- Sidarta. A. 2017. Kajian Karakteristik Penumpukan Abu Pada Boiler Berbahan Bakar Campuran Serabut dan Cangkang Sawit. *ETD Unsyiah hal*
- Stemann. J.. Erlach. B.. and Ziegler. F. 2014. Hydrothermal carbonisation of empty palm oil fruit bunches: Laboratory trials. plant simulation. carbon avoidance. and economic feasibility. *Waste and Biomass Valorization* 4(3). 441–454.
- Wibowo A. 2016. Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Biomassa Sawit (PLTBS) Kapasitas 5 MW. *Jurnal Mekanika dan Sistem Termal*: 53-60
- Wijono. A. 2014. PLTU Biomasa Tandan Kosong Kelapa Sawit Studi Kelayakan dan Dampak Lingkungan. *Simposium Nasional RAPI XIII - 2014 FT UMS*
- Yoshikawa. K. 2017. Potassium-Free Solid Fuel Production From Palm Empty Fruit Bunch By Hydrothermal Treatment. *Journal DEStech Transactions on Environment. Energy and Earth Sciences*. (eesd).