

**PEMANFAATAN AMPAS BATANG KELAPA SAWIT SEBAGAI BAHAN
BAKU (BIOPELET)**

(Skripsi)

Oleh

DEVI ZUHaida SARI



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2023

ABSTRACT

UTILIZATION OF PALM OIL RESIDUE AS RAW MATERIAL (BIOPELLETS)

By

DEVI ZUHaida SARI

The aim of this study was to determine the effect of particle size and pressing pressure on the quality of biopellets from oil palm dregs. The pressing pressure used is 0.4882 kg/cm², 0.9764 kg/cm², 1.4647 kg/cm². Particle size passes mesh 10, passes mesh 20, and passes mesh 40. Biopellets are made using a hydraulic shop press and produce biopellets with a length of 2.5 cm and a diameter of 1.2 cm. The quality of the biopellets was assessed by SNI 8021: 2014. The results of the study showed hemicellulose with a value of 25.7% -34%, cellulose with a value of 27.1% -47.6%, lignin with a value of 7.2% -10.2%. Water content with a value of 6.49%-9.39%, ash content with a value of 5.00%-7.32%, heat with a value of 4380.43 cal/g-4621.86 cal/g. The quality of the biopellets meets the standard requirements of SNI 8021: 2014, except for the ash content. The best results were obtained for particles with a mesh size of 10 with a pressure of 4621.86 cal/g and a positive added value > 0, namely 38.91%.

Keywords: Biopellets, palm oil, value added.

ABSTRAK

PEMANFAATAN AMPAS BATANG KELAPA SAWIT SEBAGAI BAHAN BAKU (BIOPELET)

Oleh

DEVI ZUHaida SARI

Penelitian bertujuan untuk mengetahui kondisi terbaik dari ukuran partikel dan tekanan pengepresan terhadap kualitas biopelet dari ampas batang kelapa sawit. Tekanan pengepresan yang digunakan yaitu 0.4882 kg/cm², 0.9764 kg/cm², 1.4647 kg/cm². Ukuran partikel lolos mesh 10, lolos mesh 20, dan lolos mesh 40. Biopelet dibuat dengan alat hydraulic shop press dan menghasilkan biopelet dengan ukuran panjang 2.5 cm dan diameter 1.2 cm. Kualitas biopelet dinilai dengan SNI 8021 : 2014. Hasil dari penelitian menunjukkan hemiselulosa dengan nilai 25.7%-34%, selulosa dengan nilai 27.1%-47.6%, lignin dengan nilai 7.2%-10.2%. Kadar air dengan nilai 6.49%-9.39%, kadar abu dengan nilai 5.00%-7.32%, kalor dengan nilai 4380.43 cal/g-4621.86 cal/g. Kualitas biopelet memenuhi standar persyaratan SNI 8021 : 2014, kecuali pada kandungan abu. Hasil terbaik diperoleh pada partikel dengan ukuran lolos mesh 10 dengan tekanan 4621.86 cal/g dan nilai tambah positif > 0 yaitu sebesar 38.91%.

Kata kunci : Biopelet, nilai tambah, sawit.

**PEMANFAATAN AMPAS BATANG KELAPA SAWIT SEBAGAI BAHAN
BAKU (BIOPELET)**

Oleh

Devi Zuhaida Sari

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN

Pada

Jurusan Teknologi Hasil Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMUNG
2023**

Judul Skripsi : **PEMANFAATAN AMPAS BATANG KELAPA
SAWIT SEBAGAI BAHAN BAKU
(BIOPELET)**

Nama Mahasiswa : **Devi Zuhaida Sari**

No. Pokok Mahasiswa : **1914231023**

Program Studi : **Teknologi Industri Pertanian**

Fakultas : **Pertanian**



1. **Komisi Pembimbing**

Prof. Dr. Ir. Udin Hasanudin, M.T.
NIP. 19640106 198803 1 002

Dr. Ir. Sri Hidayati, M.P.
NIP. 19710930 199512 2 001

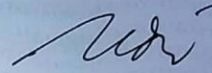
2. **Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian**

Dr. Erdi Suroso, S.T.P., M.T.A.
NIP. 19721006 199803 1 005

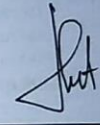
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

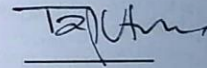
Ketua : Prof. Dr. Ir. Udin Hasanudin, M.T.



Sekretaris : Dr. Ir. Sri Hidayati, M.P.



Penguji
Bukan Pembimbing : Dr. Ir. Tanto Pratondo Utomo, M. Si.

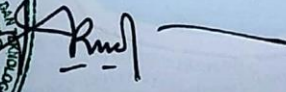


2. Dekan Fakultas Pertanian



Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.

NIP. 19611020 198603 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 14 April 2023

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya Devi Zuhaida Sari NPM 1914231023, dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil kerja saya sendiri berdasarkan pada pengetahuan dan penelitian yang telah saya lakukan. Karya ilmiah ini tidak berisi materi yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukan hasil dari plagiat karya orang lain.

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

Bandar Lampung, 14 April 2023
Pembuat Pernyataan,



Devi Zuhaida Sari

1914231023

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Paku Negara pada tanggal 20 Desember 2001. Penulis merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Zamah Sari dan Ibu Zubaidah. Penulis memiliki dua kakak perempuan bernama Novita Sari dan Herlinda Sari. Penulis menyelesaikan pendidikan di Sekolah Dasar Negeri 62 Krui pada tahun 2013, Sekolah Menengah Pertama Negeri 13 Krui pada tahun 2016, dan Sekolah Menengah Atas Negeri 1 Pesisir Selatan pada tahun 2019. Tahun 2019, penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur Penerimaan Mahasiswa Perluasan Akses Pendidikan (PMPAP).

Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Paku Negara, Kecamatan Pesisir Selatan, Kabupaten Pesisir Barat, Provinsi Lampung dan menyelesaikan laporan Praktik Umum (PU) yang berjudul “Penerapan *Hazard Analysis Critical Control Point* (HACCP) Produksi *Black Pepper Powder* di PT. HPSLP Kabupaten Pesawaran Lampung” pada bulan Juli 2022.

Selama menjadi mahasiswa penulis juga aktif dalam kegiatan kemahasiswaan diantaranya Anggota Departemen Humas Fosi FP Unila periode 2020/2021, Anggota Departemen Humas Birohmah Unila periode 2020/2022, Anggota Departemen Minat dan Bakat Kopma Unila periode 2020/2021, dan Anggota Departemen Humas Ikatan Mahasiswa Pesisir Barat periode 2020/2021.

SANWACANA

Puji dan syukur penulis haturkan kehadiran Allah SWT, karena atas rahmat, hidayah, dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “Pemanfaatan ampas batang kelapa sawit sebagai bahan baku (biopellet)”. Skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan Program Sarjana (S-1) dalam memperoleh gelar Sarjana Teknologi Pertanian di Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

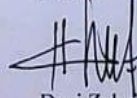
Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan terimakasih atas segala dukungan, bantuan, dan bimbingan dari berbagai pihak selama proses studi dan juga selama proses penyusunan skripsi ini. Penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Erdi Suroso, S.T.P., M.T.A., selaku Ketua Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
3. Bapak Ir. Harun Al Rasyid, M. T., selaku Ketua Program Studi Teknologi Industri Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Udin Hasanudin, M.T., selaku dosen Pembimbing Utama atas kesabarannya dalam membimbing, member saran, arahan, motivasi, dan nasihat serta ilmu yang diberikan selama masa studi dan penyusunan skripsi.
5. Ibu Dr. Ir. Sri Hidayati, M. P., selaku dosen Pembimbing Kedua yang telah memberikan bimbingan, arahan, saran, dan motivasi selama masa studi dan penyusunan skripsi.
6. Bapak Dr. Ir. Tanto Pratondo Utomo, M.Si., selaku pembahas, yang telah memberikan saran dan perbaikan dalam penyusunan skripsi.

7. Bapak dan Ibu dosen pengajar, staf administrasi, dan laboratorium di Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung serta laboratorium di Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lampung atas bimbingan serta keikhlasan dalam memberikan ilmunya dan juga arahan selama penulis menjadi mahasiswa dan penyusunan skripsi.
8. Keluarga besar Laboratorium Pengelolaan Limbah Agroindustri Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Bapak Joko, Mba Belia, Bang Teguh, dan Kak Febri serta semua pihak yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian dengan memberikan dukungan, semangat, dan juga nasihat.
9. Kedua orang tua tercinta, kakak-kakaku yang selalu memberikan nasihat, motivasi, semangat, do'a tulus yang selalu tercurah tiada henti bagi penulis.
10. Teman seperjuangan Eriska Mei Wulandari, Siti Fadilah, Linda Mareta Sary, Agustin Setya Ningsih, Cindy Aulia Agustin, Napiatul Pitriyah, Sholeha Tulaila yang selalu memberikan doa dan semangat kepada penulis.
11. Teman-teman TIP dan THP angkatan 2019 yang telah memberikan dukungan dan semangat kepada penulis.
12. Semua pihak yang terlibat dalam penulisan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan dan akan diterima dengan terbuka untuk karya yang lebih baik di masa yang akan datang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis pada khususnya maupun kepada pembaca.

Bandar Lampung, 14 April 2023
Penulis



Devi Zuhaida Sari
NPM. 1914231023

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Kerangka Pikir.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Kelapa Sawit	5
2.2 Limbah Batang Kelapa Sawit.....	6
2.3 Sifat Fisika Batang Sawit.....	6
2.4 Sifat Kimia Batang Sawit.....	7
2.5 Biopellet	8
2.6 Nilai Tambah.....	10
III. METODELOGI PENELITIAN	11
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	11
3.2 Bahan dan Alat.....	11
3.3 Metode Penelitian.....	11
3.4 Pelaksanaan Penelitian	12

3.4.1	Persiapan Bahan Baku	12
3.4.2	Penyerutan Kelapa Batang Sawit	12
3.4.3	Proses Penghalusan dan Pengayakan	12
3.4.4	Proses Pembuatan Biopelet	13
3.5	Pengamatan.....	15
3.5.1	Analisis Komposisi.....	15
3.5.2	Kadar Air	15
3.5.3	Kadar Abu	16
3.5.4	Nilai Kalor.....	17
3.5.5	Nilai Tambah (<i>Value Added</i>)	17
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	19
4.1	Produk Biopelet Ampas Batang Sawit	19
4.2	Analisis Komposisi Bahan Baku.....	20
4.3	Kadar Air	21
4.4	Kadar Abu.....	23
4.5	Nilai Kalor	24
4.6	Penentuan Perlakuan Terbaik	25
4.7	Nilai Tambah (<i>Value Added</i>)	26
V.	KESIMPULAN DAN SARAN.....	31
5.1	Kesimpulan	31
5.2	Saran	31
	DAFTAR PUSTAKA	32
	LAMPIRAN	37

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Sifat Penting Dari Setiap Batang Sawit	7
2. Persyaratan Pelet Kayu	10
3. Tabel Kandungan Hemiselulosa, Selulosa, dan Lignin Ampas Batang Sawit dengan Perbedaan Ukuran Mesh	20
4. Penentuan Kadar Air, Kadar Abu dan Nilai Kalor Biopelet	26
5. Perhitungan Biaya Variabel	27
6. Perhitungan Biaya Penyusutan Alat	28
7. Hasil Pengujian Komposisi.....	38
8. Hasil Pengujian Kadar Air	40
9. Hasil Pengujian Kadar Abu	42
10. Hasil Pengujian Nilai Kalor.....	44
11. Perhitungan Biaya Variabel.....	45
12. Perhitungan Biaya Penyusutan Alat.....	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Pohon Sawit	5
2. Diagram Alir Pembuatan Biopelet	14
3. Biopelet Ampas Batang Sawit	19
4. Diagram Kadar Air Biopelet dengan Perbedaan Ukuran Mesh dan Tekanan Pengepresan	22
5. Diagram Kadar Abu Biopelet dengan Perbedaan Ukuran Mesh dan Tekanan Pengepresan	23
6. Diagram Nilai Kalor Biopelet dengan Perbedaan Ukuran Mesh dan Tekanan Pengepresan	24
7. Ampas Batang Kelapa Sawit	48
8. Pengeringan Ampas Batang Kelapa Sawit	48
10. Pengecilan Ukuran Ampas Batang Kelapa Sawit	49
11. Sampel Ampas Batang Kelapa Sawit	49
12. Uji Komposisi Sampel	50
13. Penyaringan Sampel dan Pencucian Dengan Aquades	50
14. Penimbangan Sampel	51
15. Pengovenan Menguji Kadar Air	51
16. Penimbangan Menguji Kadar Air	52
17. Pengujian Kadar Abu	52
18. Kadar Abu	53
19. Pencetakan Biopelet	53
20. Biopelet	54
21. Pengujian Nilai Kalor	54

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan perkebunan kelapa sawit di Indonesia telah tumbuh secara signifikan dari tahun ke tahun. Menyebabkan terjadinya peningkatan penggunaan lahan perkebunan kelapa sawit di Indonesia, yang dipengaruhi oleh permintaan konsumsi minyak sawit olahan dan produk turunannya. Hampir setiap pulau di Indonesia memiliki daerah perkebunan kelapa sawit, termasuk Sumatera. Menurut data Statistik Perkebunan Unggulan Nasional Komoditi Kelapa Sawit tahun 2021, total luas perkebunan kelapa sawit perusahaan besar swasta (PBS) menempati posisi pertama yaitu sebesar 54,94% atau seluas 7.942.335 Ha, perkebunan rakyat menempati posisi kedua seluas 5.896.755 Ha atau 40,97%, dan perusahaan besar negara (PBN) sebesar 4,27% atau 617.501 Ha. Total luas area perkebunan kelapa sawit di Indonesia sebesar 14.456.591 Ha (Statistik Perkebunan Unggulan Nasional, 2021).

Satu hektar kebun sawit terdapat 120-125 batang pohon sawit Aripin *et al* (2015). Tanaman sawit memiliki umur ekonomis sekitar 25 tahun. Setelah itu, pohon kelapa sawit biasanya ditebang dan dibiarkan membusuk atau dibakar. Limbah batang kelapa sawit bila tidak dimanfaatkan lebih lanjut akan menimbulkan permasalahan baru salah satunya sarang bagi kumbang *Oryctes rhinoceros* dan penyakit *Ganoderma* yang potensial menyerang tanaman muda. Jika dibakar, berarti jutaan batang kelapa sawit akan dibakar, yang tentunya akan mencemari lingkungan. Oleh karena itu, perlu dilakukan langkah-langkah untuk mengolah limbah batang kelapa sawit dan menjadikannya lebih bermanfaat agar tidak menjadi limbah yang dapat mencemari lingkungan.

Batang sawit masih bisa dimanfaatkan karena di dalamnya masih terdapat kandungan air nira. Nira sawit adalah kandungan berupa getah dihasilkan oleh pohon sawit yang sudah tidak produktif. Nira sawit dapat dimanfaatkan menjadi produk turunan diantaranya gula cair, alcohol, dan asam asetat Wulandika *et al* (2019). Batang sawit yang telah diambil air niranya menyisakan ampas, salah satu pemanfaatan limbah ampas batang kelapa sawit yaitu sebagai bahan bakar rumah tangga atau industri adalah *biomass pellets* (Biopellet). Biopellet adalah jenis bahan bakar padat berbasis limbah dengan ukuran lebih kecil dari ukuran briket (Windarwati, 2011).

Penggunaan biopellet sendiri di Indonesia masih terbatas sedangkan sumberdaya biopellet di Indonesia sangatlah melimpah seperti limbah dari industri perkebunan. Biopellet memiliki keseragaman ukuran, bentuk, kelembapan densitas, dan kandungan energi. Keunggulan utama pemakaian bahan bakar biopellet biomassa adalah penggunaan kembali bahan limbah seperti ampas kayu yang biasanya dibuang begitu saja. Ampas kayu yang terbuang begitu saja dapat teroksidasi dibawah kondisi yang tak terkendali akan membentuk gas metana atau gas rumah kaca. pellet memiliki konsistensi dan efisiensi bakar yang dapat menghasilkan emisi yang lebih rendah dari kayu. Bahan bakar pellet menghasilkan emisi bahan partikulat yang paling rendah dibandingkan jenis lainnya. Pada umumnya biopellet digunakan sebagai bahan bakar boiler pada industri dan pemanas ruangan di musim dingin (Reza *et al*, 2016).

Faktor yang berpengaruh terhadap kualitas biopellet adalah ukuran serbuk dan tekanan pengepresan pada saat pencetakan biopellet. Batang sawit memiliki serat yang cukup panjang yaitu 2-4 cm Agustira *et al* (2019). Sehingga untuk menjadikannya biopellet perlu di lakukan pengecilan ukuran, dan tekanan dalam pengepresan juga merupakan salah satu faktor penting dalam pembuatan biopellet. Dimana ukuran serbuk dan tekanan pengepresan memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap kadar air, dan nilai kalor. Oleh karena itu pada penelitian dilakukan pemanfaatan limbah batang kelapa sawit untuk dijadikan biopellet dengan perlakuan berbagai jenis ukuran serbuk dan tekanan pengepresan

yang di gunakan pada saat pembuatan biopelet sehingga menghasilkan kualitas yang optimal.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui kondisi terbaik dari ukuran partikel dan tekanan pengepresan terhadap kualitas biopelet dari ampas batang kelapa sawit.
2. Mengetahui analisis biaya biopelet ampas batang sawit.

1.3 Kerangka Pikir

Ukuran partikel dan tekanan pada proses pembuatan biopelet berpengaruh terhadap karakteristik biopelet yang dihasilkan. Hasil penelitian Zulfadhli *et al* (2017) menunjukkan bahwa ukuran partikel serbuk gergaji sebesar 20 mesh. Menghasilkan kadar air 2,88%, kadar abu 3,88%, kadar zat terbang 17,14%, kadar karbon tetap 23%, kerapatan 0,811 g/cm³. Nilai kalor 47,24,0509 kkl/g dan memenuhi standar biopelet SNI 8021 : 2014.

Menurut Qadry *et al* (2018) melakukan penelitian tentang pembuatan biopelet dari cangkang dan serbuk kayu. Pembuatan biopelet menggunakan mesh 80 dengan tekanan 200 kg/cm². Hasil pengujian karakterisasi biopelet dari campuran cangkang kelapa sawit dan serbuk kayu diperoleh 7,6-11% kandungan kadar air, 67,6-68,08% kandungan kadar zat terbang, 1,53-2,57% kadar abu, 19,38-22,23% nilai karbon terikat, 3563,73 kkl/g nilai kalor, dan 1,03-1,32 g/cc nilai kerapatan. Biopelet dengan kualitas terbaik terdapat pada jenis biopelet B dengan persentasi 70% cangkang kelapa sawit dan 30% serbuk kayu, Biopelet B habis terbakar sampai dengan menit 23.

Zulfian *et al* (2015) menambahkan, pembuatan biopelet dengan perekat tapioka dan sagu. Ukuran partikel melewati 10 mesh tertahan 20 mesh, melewati 20 mesh tertahan 40 mesh, dan melewati 40 mesh tertahan 60 mesh. Biopelet dibuat dengan alat pencacah daging skala rumahan dan menghasilkan biopelet dengan

ukuran panjang 2 cm dan diameter 0,4 cm. Biopelet kemudian di keringkan dalam oven selama 24 jam dengan suhu 600°C-700°C, kualitas biopelet dinilai dengan SNI 8021:2014. Hasil penelitian menunjukkan nilai rata-rata kadar air 5,27%-6,75%, kadar abu 4,69%-8,73%, kandungan zat terbang 72,62%-77,46%, nilai karbon tetap 14,02%-21,60%, kalori 3719,67 kal/g-4451,67 kal/g. Kualitas biopelet memenuhi standar persyaratan SNI 8021:2014, kecuali pada kandungan abu. Hasil terbaik diperoleh pada partikel dengan ukuran lolos mesh 10 dan tertahan 20 mesh perekat tapioka.

Tekanan pengepresan pada saat pembuatan biopelet dari serbuk cangkang biji mete dan serbuk sekam padi dengan perbandingan 100% : 0%, 50% : 50%, 0% : 100%, dan tekanan pengepresan 50 kg/cm², 100 kg/cm², 150 kg/cm². Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kalor tertinggi didapat pada bahan 100% cangkang biji mete dengan tekanan pengepresan 150 kg/cm² Hakim (2019). Penelitian tentang pemanfaatan limbah menjadi biopelet telah banyak dilakukan. Penelitian yang telah dilakukan belum dapat meningkatkan potensi dari biopelet, sehingga perlu dilakukan evaluasi karakterisasi mutu biopelet yang dihasilkan, dengan mengkaji pemanfaatan ampas batang kelapa sawit sebagai energi (biopelet ampas batang sawit) dengan perlakuan berbagai ukuran serbuk dan tekanan pengepresan yang digunakan pada saat pencetakan biopelet. Perlakuan yang digunakan adalah lolos mesh 10 dengan tekanan 0.4882 kg/cm², 0.9764 kg/cm², 1.4647 kg/cm², lolos mesh 20 dengan tekanan 0.4882 kg/cm², 0.9764 kg/cm², 1.4647 kg/cm² dan lolos mesh 40 dengan 0.4882 kg/cm², 0.9764 kg/cm², dan 1.4647 kg/cm² menghasilkan biopelet dengan ukuran panjang 2.5 cm dan diameter 1.2 cm.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kelapa Sawit

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) merupakan anggota famili *Palmae*, subfamili *Cocoideae* yang termasuk ke dalam kelompok tumbuhan monokotil. Tanaman ini berasal dari Nigeria, Afrika Barat dan tumbuh baik di luar daerah asalnya, seperti Malaysia, Indonesia, Thailand, dan Papua Nugini. Sawit dalam klasifikasi botanis dapat diuraikan sebagai berikut :

- Kingdom : *Plantae*
Divisi : *Magnoliophyta*
Kelas : *Angiospermae*
Ordo : *Palmales*
Familia : *Arecaceae*
Genus : *Elaeis*
Spesies : *Elaeis guineensis*
Elaeis odora (tidak ditanam di Indonesia)
Elaeis melanococca (*Elaeis oleivera*)
Varietas : *Dura, Psifera, Tenera* (Rahman, 2011).



Gambar 1. Pohon Sawit

Sumber: (Perkebunan kelapa sawit milik PTPN VII Rejosari, Natar-Lampung Selatan, 2022)

2.2 Limbah Batang Kelapa Sawit

Limbah kelapa sawit adalah sisa tanaman kelapa sawit yang tidak termasuk dalam produk utama atau merupakan hasil ikutan dari pengolahan kelapa sawit.

Berdasarkan tempat pembentukannya, limbah kelapa sawit dapat digolongkan menjadi dua jenis, yaitu limbah perkebunan kelapa sawit dan limbah industri kelapa sawit. Limbah perkebunan kelapa sawit adalah limbah yang dihasilkan dari sisa tanaman yang tertinggal pada saat pembukaan areal perkebunan, peremajaan dan panen kelapa sawit (Bantacu *et al*, 2013).

Limbah padat kelapa sawit yang tersedia adalah berupa batang, tandan kosong, ampas buah dan cangkang, limbah tersebut mengandung lignoselulosa.

Lignoselulosa yang terkandung dalam limbah kelapa sawit memungkinkan kelapa sawit dapat digunakan sebagai bahan baku produk ampas. Batang sawit memiliki kadar selulosa yang tinggi yaitu 67,88% dan 38,76% selulosa dengan kadar ampas sebanyak 72,67% dan kadar bukan ampas sebanyak 27,33%. Karakteristik tersebut menunjukkan bahwa batang sawit berpotensi sebagai bahan baku produk berbasis ampas seperti pulp, kertas, papan partikel dan papan ampas (Bantacu *et al*, 2013).

2.3 Sifat Fisika Batang Sawit

Sifat fisis merupakan sifat-sifat yang berhubungan dengan kadar air, kerapatan, berat jenis, kembang susut, sifat panas, keawetan alami, warna, kelistrikan, penampilan, ketahanan pada suatu zat, ketahanan terhadap cuaca, ketahanan terhadap organisme perusak, dan sifat penyerapan terhadap air. Beberapa sifat penting dari setiap bagian batang sawit dijelaskan pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat Penting Dari Setiap Bagian Batang Sawit.

Sifat-sifat Penting	Bagian Dalam Batang		
	Tepi	Tengah	Pusat
Berat Jenis	0,35	0,28	0,20
Kadar Air, %	156	257	365
Kekuatan Lentur, kg/cm ²	29996	11421	6980
Keteguhan Lentur, kg/cm ²	295	129	67
Susut Volume	26	39	48
Kelas Awet	V	V	V
Kelas Kuat	III-V	V	V

Sumber : Hasibuan (2010)

2.4 Sifat Kimia Batang Sawit

Komponen kimia dapat dibedakan antara komponen makromolekul utama dinding sel selulosa, hemiselulosa dan lignin, yang terdapat pada semua kayu, dan komponen-komponen minor dengan berat molekul kecil (ekstraktif dan zat-zat mineral), yang biasanya lebih berkaitan dengan jenis kayu tertentu dalam jenis dan jumlahnya. Perbandingan dan komposisi kimia lignin dan poliosa berbeda pada kayu lunak dan kayu keras, sedangkan selulosa merupakan komponen yang seragam pada semua kayu. Disamping komponen-komponen dinding sel terdapat juga sejumlah zat-zat yang disebut bahan tambahan atau ekstraktif kayu. Komponen ini dapat memberikan pengaruh yang besar pada sifat dan kualitas pengolahan kayu (Saputro, 2009).

Lignin merupakan salah satu komponen penyusun kayu baik untuk jenis kayu jarum (*Gymnospermae*) maupun kayu daun lebar (*Angiospermae*) selain komponen polisakarida dan ekstraktif. Lignin berasal dari kata “lignum” yang berarti kayu, merupakan suatu polimer yang mempunyai bobot molekul tinggi, tersusun dari unit-unit fenil propane yang terjadi secara biologi, biokimia, dan kimia. Struktur senyawa lignin sangat kompleks, merupakan suatu jaringan aromatik, mudah teroksidasi dengan fenol dan tiol serta larut dalam alkali panas,

mempunyai afinitas yang kuat terhadap molekul air dan bersifat menolak air. Lignin non-kayu mempunyai kandungan metoksil dengan kisaran antara lignin kayu lunak dan kayu keras (Saputro, 2009).

Beraneka ragam komponen kayu, meskipun biasanya merupakan bagian kecil, larut dalam pelarut-pelarut organik netral atau air disebut *ekstraktif*. Ekstraktif terdiri atas jumlah yang sangat besar dari senyawa-senyawa tunggal tipe lipofil maupun hidrofil. Ekstraktif dapat dipandang sebagai konstituen kayu yang tidak struktural, hampir seluruhnya terbentuk dari senyawa-senyawa ekstraseluler dan berat molekul rendah. Meskipun ada kesamaan terdapat ekstraktif kayu di dalam family. Perbedaan yang jelas dalam komposisi bahkan diantara spesies-spesies kayu yang sangat dekat (Saputro, 2009).

2.5 Biopelet

Tingkat ketergantungan terhadap penggunaan bahan bakar fosil di Indonesia masih sangat tinggi. Sementara cadangan energi fosil baik batu bara maupun minyak bumi setiap tahunnya menurun. Salah satu energi terbarukan yang dapat dikembangkan di Indonesia adalah biomassa. Limbah pertanian yang merupakan biomassa termasuk sumber energi alternatif yang melimpah, dengan kandungan energi yang relatif besar. Limbah pertanian tersebut apabila diolah bisa menjadi suatu bahan bakar padat yang lebih luas penggunaannya sebagai bahan bakar alternatif (Zulfian *et al*, 2015).

Limbah ampas batang sawit menimbulkan masalah serius bagi lingkungan, terutama karena pembakaran limbah akan menimbulkan polusi yang hebat dan juga membahayakan lingkungan. Padahal energy yang terkandung dalam limbah organik padat dapat dimanfaatkan melalui pembakaran langsung atau dengan terlebih dahulu mengkonversikannya dalam bentuk lain yang bernilai ekonomis, yang lebih efisien dan efektif penggunaannya, diantaranya pembakaran langsung (biomassa) melalui proses gasifikasi, sebagai alternatif bahan bakar (Zulfian *et al*, 2015). Biomassa adalah bahan organik yang berasal dari tumbuhan, hewan yang terbentuk baik dari hasil produksinya, sisa metabolisme maupun limbah yang

dihasilkannya. Energi Biomassa dapat di gunakan sebagai sumber energi alternatif pengganti bahan bakar fosil (Aripin *et al*, 2015).

Limbah ampas batang sawit tidak hanya bisa di manfaatkan sebagai bahan baku produk pulp seperti kertas, papan partikel tetapi dapat diolah menjadi biopelet. Biopelet merupakan bahan bakar bersifat padat yang terbuat dari bahan lunak seperti limbah pertanian yang kemudian di keraskan. Faktor-faktor yang mempengaruhi sifat biopelet adalah berat jenis bahan baku, kehalusan serbuk, suhu karbonisasi, tekanan pengempaan, dan pencampuran formula bahan baku biopelet. Kualitas biopelet yang baik merupakan biopelet yang memiliki kadar karbon tinggi dan kadar abu rendah, karena dengan kadar karbon tinggi maka energi yang dihasilkan semakin tinggi (Zulfian *et al*, 2015).

Biopelet merupakan bahan bakar padat yang mengandung karbon, mempunyai nilai kalor yang tinggi, dapat menyala dalam waktu yang lama. Merupakan salah satu bahan bakar terbarukan yang berasal dari biomassa, biopelet padat dapat digunakan sebagai bahan bakar boiler pada industri dan pemanas ruangan. Terdapat empat tahapan proses pembuatan biopelet, yaitu pengeringan, penggilingan, pencetakan, dan pendinginan (Qadry *et al*, 2018). Biopelet dapat digunakan sebagai penghasil panas bagi pemukiman atau industry skala kecil. Biopelet memiliki ukuran diameter 6-12 mm serta panjang 10-20 mm. Biopelet juga akan terbakar perlahan-lahan dan menghasilkan panas konstan dengan membuat api kecil dengan batang kayu lalu ditambahkan biopelet ketika api mulai menyala perlahan dan biopelet akan terbakar dengan sendirinya Menurut Qadry *et al* (2018). Biopelet yang baik menurut SNI 8021:2014 disajikan pada tabel 2.

Tabel 2. Persyaratan Pelet Kayu.

No	Parameter	Satuan	Persyaratan
1	Kerapatan	g/cm ³	Min. 0,8
2	Kadar abu	%	Maks. 1,5
3	Kadar air	%	Maks.12
4	Zat yang mudah menguap/bagian yang hilang	%	Maks. 80
5	Kadar karbon	%	Min. 14
6	Nilai kalor	kkl/g	Min. 4.000

Sumber : Standar Nasional Indonesia (2014)

Energi alternatif merupakan pengganti dari energi berbahan konvensional. Energi terbarukan merupakan energi yang tidak di khawatirkan jumlahnya karena energi ini berasal dari alam yang berkelanjutan. Semakin berkurangnya bahan bakar konvensional di masa kini tentu saja energi terbarukan dan energi alternatif sangat diperlukan. Sementara itu meningkatnya kebutuhan energi semakin melonjak. Dengan semakin berkurangnya jumlah yang berasal dari minyak ataupun batu bara, muncul berbagai alternatif sebagai substitusi dari energi minyak ataupun batu bara tersebut. Energi alternatif meliputi energi surya, energi air, energi panas bumi, energi ombak, dan energi angin (Ali *et al*, 2010).

2.6 Nilai Tambah

Nilai tambah (value added) adalah penambahan nilai suatu komoditi karena komoditi tersebut telah mengalami proses pengolahan, pengangkutan, atau penyimpanan dalam suatu proses produksi. Analisis nilai tambah berfungsi sebagai salah satu indikator dalam keberhasilan sektor agroindustri. Kegunaan dari menganalisis nilai tambah adalah salah satunya untuk mengetahui besarnya nilai tambah yang terjadi akibat perlakuan tertentu yang diberikan pada komoditas pertanian menurut (Reza *et al*, 2016).

III. METODELOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Pengelolaan Limbah Agroindustri Fakultas Pertanian dan Laboratorium Analisis dan Instrumentasi Fakultas Teknik Universitas Lampung. Pelaksanaan penelitian ini dimulai dari bulan Januari 2023 sampai dengan Maret 2023.

3.2 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah hammer mill, bomb calorimeter, oven, desikator, cawan porselen, spatula, penjepit, gelas ukur, carbolite furnace, hot plate, erlenmeyer, mesin cetak biopellet, ayakan, kertas saring, penggaris dan timbangan digital. Sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah ampas batang kelapa sawit yang diperoleh dari perkebunan kelapa sawit milik PTPN VII Rejosari, Natar-Lampung Selatan.

3.3 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode deskriptif dengan menyajikan hasil pengamatan dalam bentuk grafik, kemudian dilakukan analisis secara deskriptif. Penelitian ini menggunakan 2 faktor perlakuan yaitu berbagai ukuran serbuk dan tekanan pengepresan yang digunakan pada saat pencetakan biopellet. Perlakuan yang digunakan adalah lolos mesh 10 dengan tekanan 0.4882 kg/cm², 0.9764 kg/cm², 1.4647 kg/cm², lolos mesh 20 dengan tekanan 0.4882 kg/cm², 0.9764 kg/cm², 1.4647 kg/cm² dan lolos mesh 40 dengan tekanan 0.4882 kg/cm²,

0.9764 kg/cm², dan 1.4647 kg/cm² menghasilkan biopelet dengan ukuran panjang 2.5 cm dan diameter 1.2 cm.

3.4 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian diawali dengan persiapan bahan baku, penyerutan batang kelapa sawit, penghalusan dan pengayakan serta proses pembuatan biopelet.

3.4.1 Persiapan Bahan Baku

Pembuatan bahan baku dimulai dengan mempersiapkan batang sawit yang telah menjadi limbah. Limbah batang sawit diperoleh dari perkebunan kelapa sawit milik PTPN VII Rejosari, Natar-Lampung Selatan yang sudah tidak produktif dengan umur pohon berkisar 25 tahun. Batang kelapa sawit kemudian dibersihkan dari pangkal hingga bagian ujung yang meliputi pembuangan pelepah dan buah sawit sehingga tersisa batang sawit (panjang 5-7 meter). Selanjutnya batang sawit tersebut dibuang kulitnya dan dipotong sepanjang setiap 0.5 meter. Dari hasil potongan, batang sawit dibelah menjadi 4 bagian. Tahapan ini menggunakan *chainsaw* sebagai alat pemotong limbah batang sawit tersebut.

3.4.2 Penyerutan Batang Kelapa Sawit

Balok yang telah diperoleh dari batang sawit selanjutnya dilakukan penyerutan menggunakan mesin *planner* sehingga menjadi partikel-partikel kecil. Penyerutan balok ini dilakukan untuk mendapatkan partikel batang sawit yang terdiri atas kumpulan *vascular bundle* (ikatan pembuluh) dan pati sawit. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan ampas sawit yang diinginkan.

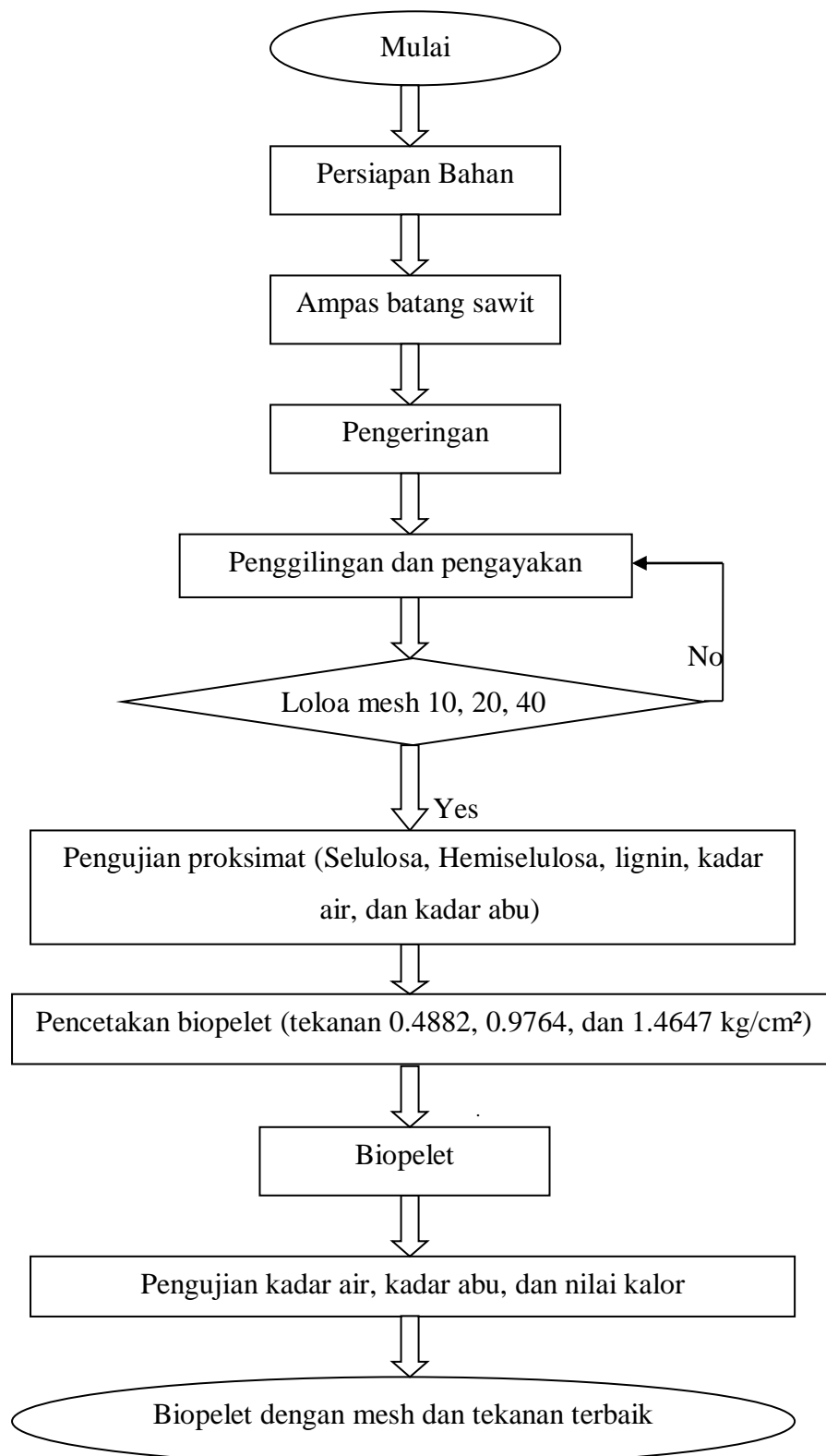
3.4.3 Proses Penghalusan dan Pengayakan

Setelah proses penyerutan batang kelapa sawit selanjutnya yang dilakukan adalah mengeringkan ampas batang sawit pada suhu 60°C selama 24 jam. Setelah ampas

kering tahap selanjutnya penghalusan ampas batang kelapa sawit untuk memperoleh ampas dalam bentuk serbuk. Penghalusan ampas dilakukan dengan cara menggiling ampas batang sawit menggunakan blender. Serbuk ampas batang sawit yang diperoleh kemudian dilakukan proses pengayakan untuk mendapatkan ukuran partikel yang sudah ditentukan. Pengayakan dilakukan dengan ayakan manual dengan ukuran masing-masing lolos mesh 10, 20 dan 40.

3.4.4 Proses Pembuatan Biopelet

Prosedur pembuatan biopelet dari ampas batang kelapa sawit di sajikan pada diagram alir Gambar 2



Gambar 2. Diagram Alir Pembuatan Biopellet

Sumber: Qodri *et al* (2018). Permatasari *et al* (2022) dengan modifikasi.

3.5 Pengamatan

Pengamatan yang dilakukan terhadap biopelet meliputi hemiselulosa, selulosa, lignin, kadar air, kadar abu, nilai kalor dan nilai tambah (value added).

3.5.1 Analisis Komposisi

Analisis komposisi kimia meliputi lignin, selulosa, dan hemiselulosa dilakukan dengan mengacu pada metode Chesson (1981). Sampel dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 105°C sampai bobot konstan. Diambil 1 g sampel kering dan ditambahkan 150 ml aquades, lalu dididihkan selama 2 jam disertai dengan pendingin balik. Saring dan dioven pada suhu 105°C kemudian ditimbang sehingga diperoleh residu pertama. Selanjutnya dididihkan kembali residu pertama menggunakan 150 ml H₂SO₄ 0,5 M selama 2 jam disertai dengan pendingin balik lalu disaring. Residu dicuci dengan 300 ml aquades dan dioven pada suhu 105°C lalu ditimbang sehingga didapatkan residu kedua.

Residu kedua ditambahkan dengan 10 ml H₂SO₄ 72% dan didiamkan selama 4 jam pada suhu kamar. Setelah itu, residu ditambahkan dengan H₂SO₄ 1N sebanyak 150 ml dan dididihkan selama 2 jam disertai dengan pendingin balik. Kemudian residu disaring lalu dicuci dengan 300 ml aquades dan dioven pada suhu 105°C sehingga didapat residu ketiga. Residu keempat diperoleh dengan pengabuan residu ketiga pada suhu 575°C selama 3 jam dan ditimbang.

$$a. \text{ Hemiselulos} = \frac{\text{Residu pertama} - \text{Residu kedua}}{\text{Sampel}} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

$$b. \text{ Selulos} = \frac{\text{Residu kedua} - \text{Residu ketiga}}{\text{Sampel}} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

$$c. \text{ Hemiselulos} = \frac{\text{Residu ketiga} - \text{Residu keempat}}{\text{Sampel}} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

3.5.2 Kadar Air

Analisis kadar air dilakukan dengan metode gravimetric. Prinsip pengujian adalah bobot yang hilang selama pemanasan pada suhu 105-110°C dianggap sebagai kadar air yang terkandung pada sampel. Langkah pertama yaitu cawan di

panaskan dalam oven pada suhu 105-110°C selama 30 menit dan didinginkan dalam desikator selama 15 menit, lalu ditimbang. Selanjutnya sampel sebanyak 2 g dimasukkan ke dalam cawan lalu ditimbang. Setelah itu, dikeringkan kembali selama 2 jam menggunakan oven lalu didinginkan dalam desikator selama 15 menit selanjutnya ditimbang dan lakukan pengeringan secara berulang sampai bobot konstan AOAC (2016). Kadar air yang terkandung pada contoh dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\text{Kadar air} = \frac{B-C}{B-A} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

Dimana :

A : berat cawan kosong (g)

B : berat cawan + sampel awal (g)

C : berat cawan + sampel kering (g)

3.5.3 Kadar Abu

Prosedur penentuan kadar abu menggunakan ASTM *International* (1997). Prosedurnya adalah sebagai berikut, sisa contoh uji dari penentuan kadar air dimasukkan ke dalam furnace bersuhu 600°C selama 2 jam. Selanjutnya dimasukkan ke dalam desikator dan kemudian di timbang untuk mencari berat akhirnya. Berat akhir (abu) dinyatakan dalam persen terhadap berat kering tanur contoh uji merupakan kadar abu contoh uji AOAC (2005). Kadar abu yang terkandung pada contoh dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\text{Kadar abu} = \frac{C-A}{B-A} \times 100\% \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan :

A : berat cawan kosong (g)

B : berat cawan + sampel awal (g)

C : berat cawan + sampel kering (g)

3.5.4 Nilai Kalor

Penentuan kadar kalor menggunakan standar pengujian ASTM *International* (1997), pengukuran nilai kalor menggunakan bomb kolorimeter PARR 1261. Prosedur pengukuran nilai kalor sebagai berikut, sampel ditimbang 0.3 g dan dimasukkan ke dalam cawan, hubungkan ke dua kutub bomb kolorimeter dengan 10 cm kawat pembakar nikel krom, isi bomb kalorimeter dengan oksigen pada tekanan 30 atmosfer, masukkan bomb calorimeter tersebut ke dalam vessel yang berisi 2 kg air, selanjutnya masukan vessel ke dalam water jacket, jalankan aliran listrik pemanas dan alat pendingin, atur skala dari “initial balance” sampai lampu dan ampermeter dari pemanas berjalan secara otomatis (suhu vessel dan jacket sama). Pengukuran secara otomatis dilakukan untuk mengukur suhu awal, kenaikan suhu dan nilai kalor ekivalen dari hasil penembakan dalam bom kalorimeter (Sipayung, 2015). Penentuan kadar kalor ditentukan berdasarkan rumus berikut ini :

$$\text{Nilai kalor HHV (cal/g)} = \frac{[(\Delta t) \times EEV] - (e_1 + e_2)}{m} - e_s \dots\dots\dots (6)$$

Dimana :

Δt adalah kenaikan suhu pembakaran di dalam bom calorimeter ($^{\circ}\text{C}$)

EEV adalah energy ekivalen saat terjadi pembakaran ($\text{cal}/^{\circ}\text{C}$)

e_1 adalah koreksi panas karena pembentukan asam (cal)

e_2 adalah koreksi panas pembakar dari kawat pembakar (cal)

e_s adalah koreksi sulfur yang ada dalam bahan bakar (cal/g)

m adalah berat contoh (g)

3.5.5 Nilai Tambah (Value Added)

Nilai tambah adalah pertambahan nilai suatu komoditas karena mengalami proses pengolahan. Pengangkutan ataupun penyimpanan dalam suatu proses produksi. Tujuan dilakukannya analisis nilai tambah adalah untuk melihat berapa besar nilai tambah dari pengolahan produk, persentase nilai tambah dari pengolahan yang dilakukan. Keuntungan yang diterima perusahaan dari pengolahan bahan baku.

Melihat besarnya persentase keuntungan dari pengolahan bahan baku (Ridwansyah *et al*, 2017).

Pada penelitian ini, analisis nilai tambah digunakan untuk melihat besarnya nilai tambah dari pengolahan pemanfaatan limbah batang kelapa sawit sebagai bahan baku biopelet. Data yang digunakan dalam analisis ini adalah bahan baku yang diolah pada bulan Januari - Maret 2023. Kriteria nilai tambah (NT) adalah

1. Jika $NT > 0$, berarti usaha pemanfaatan limbah ampas batang sawit sebagai biopelet memberikan nilai tambah (Positif).
2. Jika $NT < 0$, berarti usaha pemanfaatan limbah ampas batang sawit sebagai biopelet tidak memberikan nilai tambah (Negatif).

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan pada penelitian ini adalah

1. Hasil terbaik dengan ukuran serbuk lolos mesh 10 kadar air 6.49% tekanan pengepresan 0.4882 kg/ cm², nilai kalor 4621.86 cal/g tekanan pengepresan 1.4647 kg/cm² telah memenuhi standar SNI 8021 : 2014 kecuali pada nilai kadar abu 5.00% tekanan pengepresan 0.9764 kg/cm² tidak memenuhi standar SNI 8021 : 2014.
2. Berdasarkan analisis biaya, nilai tambah positif > 0 yaitu sebesar 38.91% artinya pengembangan agroindustri biopelet dari ampas batang kelapa sawit memberikan nilai tambah bagi industri pengelola biopelet.

5.2 Saran

Saran pada penelitian ini adalah perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai kadar abu, tingginya kadar silika abu biopelet dapat diolah menjadi produk baru selain bahan bakar dan mesin pencetak biopelet yang digunakan memenuhi standar SNI untuk mendapatkan kualitas biopelet yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmadi dan Suminar. 2010. *Kimia Kayu*. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan. Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi. Pusat Antar Universitas. Ilmu Hayat. Institut Pertanian Bogor.
- Ali A. dan Restuhasi, F. 2010. Optimasi Pembuatan Biopellets dari Bungkil Picung (*Pangium edule Reinw*) dengan Penambahan Solar dan Perekat Tapioka. *Jurnal Sagu* 9: 1-7.
- Agustira, M.A. Siahaan, D., dan Hasibuan. H. A. 2019. Nilai Ekonomi Nira Sawit Sebagai Potensi Pembiayaan Peremajaan Kebun Kelapa Sawit Rakyat. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit* 27 (2):115-126.
- AOAC. 2016. *Official Methods of Analysis Association of Official Analytical Chemists 20th edition*. Benjamin Franklin Station. Washington DC.
- AOAC. 2005. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. Published by the Association of Official Analytical Chemists. Marlyand.
- Aripin, Marliani, Lina L, Sukmawati, Yanti., dan Zainudin. 2015. Analisis Kualitas Briket Arang Tongkol Jagung yang Menggunakan Bahan Perekat Sagu dan Kanji. *Jurnal Aplikasi Fisika* 6:93-94.
- ASTM International. (1997). ASTM C 29/C 29M-97. *Standar Test Method For Bulk Density ("Unit Wegh") and Voids in Aggregate*. United States: ASTM International.

- ASTM International. (1997). ASTM C 566-97. *Standar Test Method For Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying*. United States: ASTM International.
- Bantacut, T., D. Hendra., dan Nurwigha. R. 2013. Mutu Biopellet dari Campuran Arang dan serabut cangkang sawit. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 23 (1): 1-12.
- CP Artemio, NH Maginot, C.-U.Serafin, FP Rahim, RQ Jose Guadalupe, and C.-M. Fermin, “*Physical, mechanical and energy characterization of wood pellet From three common tropical species.*” *Pertj*, vol. 6, Sep 2018.
- Chesson. 1981. *Cara Uji Komposisi*. 0492:2008. Jakarta.
- Hakim, H.M. 2019. Pengaruh Komposisi Bahan dan Tekanan Pengepresan pada Pembuatan Biopellet Terhadap Nilai Kalor Hasil Pembakaran. *Jurnal Riset dan Konseptual*. Vol.4, No. 4, Nop 2019.
- Hasibuan, S. R. 2010. *Kualitas Serat dari Limbah Batang Kelapa Sawit Sebagai Bahan Baku Papan Serat*. Universitas Sumatera Utara.
- Jonsson A. 2006. Planning For Increased Bioenergy Use – Strategies For Minimising Environmental Impact and Analysing The Consequences. *Tesis*. Swedish University Of Agricultural Sciences. Sweden.
- Kementerian Pertanian. 2015. *Statistik Pertanian 2014*. Jakarta.
- Nasution D.Y. 2011. Fungsionalisasi Polipropilena Terdegradasi Menggunakan Benzoil Peroksida, Ahidrida Meleat dan Divinil Benzene Sebagai Bahan Perikat Papan Partikel Kayu Kelapa Sawit. *Disertasi*. Medan: Universitas Sumatra Utara.
- Permatasari, R. Artikayanti, M., dan Ginting, E. R. 2022. Characteristic Tests of Bio-pellets Made of Calliandra Wood as a Renewable Alternative Fuel.

International Journal of Electrical, Energy and Power System Engineering (IJEPPSE). Vol. 5, No. 2, June 2022.

Qadry, A. G. M. Saputro, D. D., dan Widodo, D. R. 2018. Karakteristik dan Uji Pembakaran Biopellet Campuran Cangkang Kelapa Sawit dan Serbuk Kayu Sebagai Bahan Bakar Alternatif Terbarukan. *Jurnal Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang*. Vol. 16 No. 2.

Rahman. 2011. Uji keragaan biopellet dari biomassa limbah sekam padi (*Oryza sativa* sp.) sebagai bahan bakar alternatif terbarukan. Fateta, IPB, Bogor, *Jurnal Rekayasa Mesin* 4(3): 199-203.

Reza, G dan Septina, E. 2016. Analisis Agroindustri Kedelai di Kecamatan Seberinda Kabupaten Indragiri Hulu Provinsi Riau. *Jurnal Agribisnis* Vol:18 No: 2 Desember 2016 ISSN P:1412-4807 ISSN-O: 2503-4375. Fakultas Pertanian. Universitas Islam Riau.

Ridwansyah, M. Z. Nasution, T. C. Sunarti, A. M., dan Fauzi. 2007. Karakteristik Sifat Fisiko-Kimia Pati Kelapa Sawit. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 17:1-6.

Saputro dan Dwi. (2012). Karakterisasi Briket Dari Limbah Pengolahan Kayu Sengon Dengan Metode Cetak Panas. *Jurnal Posinding Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi (SNAST) Periode III Yogyakarta*, 3 November 2012. ISSN: 1979 911X.

Saputro, D. D. 2009. Karakteristik Pembakaran Briket Arang Tongkol Jagung. *Jurnal Kompetensi Teknik*, 1(1).

Saras, D. P. 2012. Panas Lebur Es, *Jurnal Laboratorium Fisika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Muhammadiyah*.

Sipayung, R. F. 2015. *Pendugaan Cadangan Karbon Pada Tanaman Karet (hevea brasiliensis Muell. Arg)*. di Perkebunan Rakyat Desa Tarean

Kecamatan Silindak, Kabupaten Serdang Bedagai. Universitas Sumatera Utara.

Standarisasi Nasional Indonesia. 2014. *Pelet Kayu*. SNI 8021 : 2014. Jakarta.

Standarisasi Nasional Indonesia. 2010. *Kadar Karbon (SNI) 06-3730-2010*. Jakarta.

Standarisasi Nasional Indonesia. 2008. *Cara Uji Kadar Lignin*. SNI 0492:2008. Jakarta.

Statistik Perkebunan Unggulan Nasional. 2021. *Kelapa Sawit*. 2019-2021. Jakarta.

Sudarja. 2009. Analisis Rekayasa dan Karakterisasi Briket Bahan Bakar dari Limbah Serat Kenaf. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*, 12(1): 92-98.

Sudiro dan Sigit. 2014. Pengaruh Komposisi dan Ukuran Serbuk Briket Yang Terbuat dari Batu Bara dan Jerami Padi Terhadap Karakteristik Pembakaran, Surakarta : *Jurnal Saintek Politeknik Indonusa Surakarta*. ISSN, Vol. 2 No. 2.

Sulistyowati dan Anita. 2010. Kualitas Briket Arang Berdasarkan Komposisi Bahan Baku dan Ukuran Serbuk. (*skripsi*) Pontianak. Fakultas Kehutanan, Universitas Tanjungpura.

Windarwati, S. 2011. *Seminar Nasional Teknologi Kimia Kayu*. Bogor.

Wulandika, V. Novianti, N. Silahaan., dan Zulfansyah, O.S.H. 2019. Pembuatan Gula Merah dari Nira Batang Sawit dengan Teknologi Vakum. *Jurnal Teknologi dan Pengelolaan Lingkungan*. 12.1: 85-92.

Zulfadhli. Ali, N. dan Munazir, R. 2017. Pengaruh Komposisi Serat Limbah Batang Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis Jacq*), Studi Terhadap Uji Tarik. *Prosending Seminar Nasional Teknologi Rekayasa (SNTR) IV*. 02 Des.

Zulfian, Diba, F. Setyawati, D. Nurhaida., dan Roslinda, E. 2015. Kualitas Biopellet dari Limbah Batang Kelapa Sawit pada Berbagai Ukuran Serbuk dan Jenis Perekat. *Jurnal Hutan Lestari*. Vol.3 (2) : 208-216.

Zulkarnaen, S. Zulfansyah. dan Helwani, Z. 2020. Pengambilan Pati dari Batang Sawit. *Jurnal FTEKNIK*. Vol.7 (2).