



Analisis Pemanfaatan Limbah Biomassa sebagai Basis Pengembangan Energi Terbarukan di Kabupaten Jember

Analysis of Utilization of Biomass Waste as a Base for Renewable Energy Development in Jember Regency

Andika Prastika^{1,a)}, Syah Sultan Ali Muzakhar¹

¹Teknik Kimia, Universitas Jember

^{a)}Corresponding author: andika.prastika123@gmail.com

Abstrak

Permasalahan energi dan lingkungan memiliki keterkaitan yang sangat erat, karena dalam proses produksi, distribusi, hingga konsumsi energi yang akan berimplikasi terhadap dampak lingkungan yang signifikan. Karakteristik wilayah yang dimiliki Kabupaten Jember berkorelasi pada melimpahnya potensi kekayaan sumber daya alam biomassa seperti tembakau, padi, jagung, kopi, dan kakao. Pemanfaatan limbah biomassa menjadi salah satu isu strategis dalam pengembangan energi terbarukan. Penelitian dilakukan di Kabupaten Jember dengan rentang waktu September 2022-Februari 2023. Pengolahan data dan informasi dilakukan dengan mengomparasikan kondisi nyata mengenai jumlah produksi dan limbah komoditi biomassa yang tersedia menggunakan *software Origin Graph* 2021. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemanfaatan sumber daya alam biomassa di Kabupaten Jember yang menyisakan limbah yang begitu banyak seperti limbah batang tembakau, tongkol jagung, kulit kopi, dan kulit kakao dapat dikonversi menjadi energi terbarukan seperti bioetanol, *bio-oil*, *biochar*, biobriket, dan biopellet.

Kata Kunci: biomassa; energi terbarukan; limbah

Abstract

Energy and environmental issues are very closely related because the processes of production, distribution, and consumption of energy will have significant environmental impacts. The characteristics of the area owned by Jember Regency correlate with the abundance of the potential wealth of natural biomass resources such as tobacco, rice, corn, coffee, and cocoa. The utilization of biomass waste is one of the strategic issues in the development of renewable energy. The research was conducted in Jember Regency with a period of September 2022 – February 2023. Data and information processing were carried out by comparing the real conditions regarding the amount of available biomass commodity production and waste using Origin Graph 2021 software. The results showed that the utilization of natural biomass resources in Jember Regency which leaves a lot of waste such as waste of tobacco stems, corn cobs, coffee skins, and cocoa shells that can be converted into renewable energy such as bioethanol, bio-oil, biochar, bio-briquettes, and biopellets.

Keywords: biomass; renewable energy; waste

PENDAHULUAN

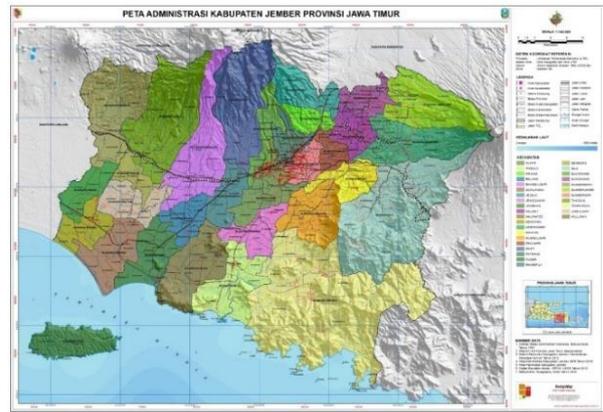
Peradaban manusia telah mengalami berbagai siklus yang beragam, dan salah satu unsur dalam tatanan sistem peradaban manusia yang sangat berperan penting dalam sistem tersebut adalah pertanian [1]. Perkembangan dalam dunia pertanian diawali ribuan tahun yang lalu tepatnya sekitar 12.000 tahun yang lalu dan mengubah pandangan cara hidup dan adaptasi manusia [2]. Pertanian memiliki

dampak yang sangat signifikan sebagai sumber pendapatan atau pencaharian dan elemen utama ketahanan pangan [3]. Sektor pertanian memiliki peran penting dalam struktur pembangunan ekonomi nasional sebagai penyedia lapangan pekerjaan, penyumbang pendapatan nasional, dan penyumbang Pendapatan Domestik Bruto (PDB) di Indonesia [4]. Produksi pertanian dan perkebunan merupakan elemen fundamental yang memiliki peran sangat penting bagi pengembangan ke

depannya karena berkaitan dengan kegiatan yang *sustainable*. Produksi pertanian dan perkebunan memberikan kontribusi terbesar dalam siklus kedaulatan pangan. Ketersediaan dan kesuburan produksi pertanian dan perkebunan turut mendukung ketahanan pangan, energi dan pencapaian *Sustainable Development Goals* (SDGs) [5].

Permasalahan energi dan lingkungan memiliki keterkaitan yang sangat erat, karena dalam proses produksi, distribusi, hingga konsumsi energi yang akan berimplikasi terhadap dampak lingkungan yang signifikan. Masalah lingkungan yang terkait langsung dengan produksi dan konsumsi energi meliputi polusi udara, perubahan iklim, polusi air, polusi termal, dan pembuangan limbah padat. Emisi polutan udara dari pembakaran bahan bakar fosil menjadi penyebab utama. Efek dari hasil pembakaran bahan bakar fosil juga merupakan faktor utama penyumbang utama emisi gas rumah kaca [6]. Oleh karenanya, energi terbarukan menjadi alternatif untuk keluar dari problematik energi berbasis fosil. Konsep energi terbarukan diperkenalkan dalam UU No. 30 Tahun 2007 tentang Energi dan Peraturan Pemerintah No. 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi. Konsep energi terbarukan meliputi penyediaan/produksi dan/atau pemanfaatan dari energi terbarukan. Regulasi yang ada saat ini lebih banyak berfokus pada pemanfaatan energi terbarukan sebagai sumber tenaga listrik dan bahan bakar (bioenergi).

Biomassa adalah produk fotosintesis yang mengubah karbon dioksida dengan air menjadi campuran oksigen, karbon dan hidrogen yang juga dapat menyerap energi matahari [7]. Kandungan biomassa didominasi oleh selulosa, hemiselulosa, lignin, dan kandungan lainnya [8]. Bahan bakar yang berasal dari biomassa mampu digunakan secara tidak langsung dengan diolah dengan beberapa proses sebagai konversi biomassa maupun dapat digunakan secara langsung. Secara umum biomassa memiliki beberapa jenis biomassa yaitu produk pertanian dan kayu produk pertanian, limbah padat, bahan bakar alkohol, dan lain-lain [9]. Jenis-jenis komoditi berbasis biomassa diantaranya tembakau, kopi, kakao, padi, dan jagung. Isu strategis dalam dunia pengembangan energi terbarukan salah satunya yaitu pemanfaatan biomassa [10]. Energi berbasis biomassa memiliki keunggulan yaitu bahan baku tersedia secara luas sebagai bahan utama sumber energi terbarukan, meminimalisir karbon, produksi energi biomassa juga dapat menambah sumber pendapatan bagi produsen, dan mengurangi ketergantungan akan penggunaan bahan bakar fosil [11].



Gambar 1. Peta administratif Kab. Jember

Kabupaten Jember (**Gambar 1.**) merupakan sebuah daerah di ujung Jawa Timur yang terletak pada posisi geografis 7059'6''-8033'56'' LS dan 113016'28''-114003'42'' BT dan memiliki luas area 3.306,689 km² serta tercatat memiliki penduduk sebanyak 2.581.456 jiwa (Badan Pusat Statistik Jember, 2022). Karakteristik topografi yang dimiliki Kabupaten Jember berupa daerah dikelilingi oleh pegunungan yang membentang dan memiliki dataran yang subur, dalam konteks regional Kabupaten Jember memiliki kedudukan dan peran penting sebagai daerah Pusat Kegiatan Wilayah (PKW). Karakteristik geografis dan topografi yang dimiliki oleh Kabupaten Jember berkorelasi pada melimpahnya potensi kekayaan sumber daya alam. Terdapat berbagai macam komoditi unggulan yang menjadi ciri khas dari Kabupaten Jember, diantaranya adalah komoditi berbasis biomassa seperti Tembakau, Padi, Jagung, Kopi, dan Kakao. Dalam praktiknya, pemanfaatan sumber daya alam di Kabupaten Jember umumnya hanya diolah untuk kebutuhan pangan dan menyisakan limbah yang begitu banyak seperti limbah batang tembakau, tongkol jagung, dan lain-lain, padahal komoditi limbah tersebut memiliki potensi untuk pengembangan sumber energi. Artikel ini akan membahas mengenai potensi pemanfaatan limbah biomassa sebagai basis data pengembangan energi terbarukan di Kabupaten Jember.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Kabupaten Jember dengan rentang waktu September 2022-Februari 2023. Pengumpulan data dan informasi yang valid menjadi indikator penting untuk sebuah analisis. Pengumpulan data dan informasi yang digunakan dalam analisis pemanfaatan limbah biomassa menjadi energi terbarukan bersumber dari data badan pusat statistik dan dinas-dinas terkait.

Pengolahan data dan informasi dilakukan dengan mengomparasikan kondisi nyata mengenai jumlah produksi dan limbah komoditi biomassa yang tersedia menggunakan *software Origin Graph 2021*. Data dari

literatur yang diperoleh akan dianalisis secara komprehensif. Adapun tahapan proses analisis data dalam penelitian ini meliputi pengumpulan data (*data collection*), reduksi data (*data reduction*), penyajian data (*data display*), dan kesimpulan (*conclusion*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tembakau

Komoditas yang melimpah di Kabupaten Jember salah satunya yaitu tanaman tembakau. Kabupaten Jember merupakan salah satu dari beberapa daerah di Jawa Timur sebagai penghasil tembakau terbesar. Tingkat produksi tembakau juga akan berimplikasi terhadap jumlah limbah yang dihasilkan.

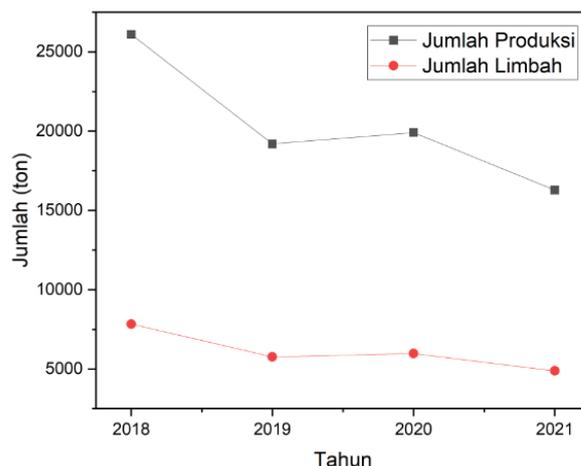


Gambar 2. Limbah batang tembakau

Data Badan Pusat Statistik (BPS Jember), mencatat data produksi tembakau di Kabupaten Jember dari tahun 2018-2021 mengalami produksi yang fluktuatif dengan rincian jumlah produksi pada **Tabel 1.** dan **Gambar 3.** Produksi tembakau di Indonesia tiap tahunnya mencapai 70% dari total tembakau yang dihasilkan atau hanya 70% yang merupakan bagian tembakau yang dapat digunakan untuk kebutuhan produksi rokok. Sisa 30% dari hasil panen merupakan bagian yang tidak digunakan berupa akar dan batang tembakau (**Gambar 2.**).

Tabel 1. Data produksi dan limbah tembakau Kab. Jember tahun 2018-2021 [12]

No.	Tahun	Jumlah Produksi (ton)	Jumlah Limbah(ton)
1	2018	26.103	7.830,9
2	2019	19.193	5.757,9
3	2020	19.909	5.972,7
4	2021	16.280	4.884



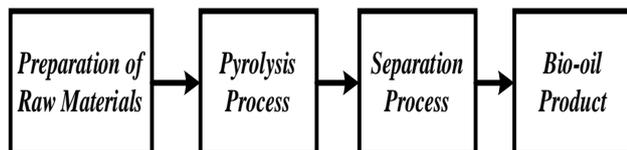
Gambar 3. Grafik produksi dan limbah tembakau Kab. Jember tahun 2018-2021

Tabel 2. Karakteristik limbah tembakau [13–18]

Hasil Analisis (dry & free ash)	wt (%)
C (berat%)	32,66 - 46,96
H (berat%)	4,37 - 8,54
N (berat%)	0,81 - 6,85
O (berat%)	29,08 - 49,96
S	0,04 - 0,76
Rasio atom H/C	1,89
Rasio atom O/C	0,71
Nilai kalor (MJ/kg)	11,3 - 20,43
Hasil analisis proksimat	Berat (%)
Ash (wt%, dry state)	5,2 - 24,33
humidity (wt%, accepted)	2,83 - 9,4
Volatile (wt%, dry state)	59,75 - 70,2
Fixed carbon	6,14 - 17,55
Hasil struktur	Berat (%)
Selulosa	39,01 - 26,43
Lignin	6,51 - 18,63
Hemiselulosa	5,05 - 11,78
Pektin	15,21
Minyak	2,82

Berdasarkan **Tabel 2.** menunjukkan bahwa limbah batang tembakau memiliki potensi dan dapat dimanfaatkan menjadi energi berbasis biomassa sebagai salah satu opsi energi terbarukan. Ada beberapa cara pemanfaatan limbah batang tembakau yaitu *bio-oil*, *biochar*, dan bioetanol. Pirolisis adalah suatu proses dekomposisi bahan kimia organik yang dilakukan dengan proses pemanasan dengan sedikit oksigen atau tanpa adanya oksigen, proses dekomposisi dengan menggunakan teknik ini berada pada suhu antara 350-750 °C. Dalam proses ini dihasilkan tiga jenis produk yaitu cair (*bio-oil*), gas (*biogas*), dan padat (*biochar*) [19]. Reaktor pirolisis yang umum digunakan diantaranya *fluidized bed*, *fluidized bed pilot plants*, *fixed-bed*, reaktor auger, *ablative* reaktor. Reaktor pirolisis dapat mereduksi ukuran biomassa hingga 2 mm [20]. Kadar *Bio-oil* yang dihasilkan dari *fluidized bed reactor* (**Gambar 4.**) pada

kondisi temperatur 400°C yaitu sebesar 67 wt%, hal ini dapat menjadi acuan dalam produksi *bio-oil* yang dihasilkan dari bahan limbah tembakau [21]. Melalui proses *fast pyrolysis*, *bio-oil* limbah batang tembakau tergolong ke dalam jenis *bio-oil* yang bagus atau berkualitas tinggi karena memiliki nilai kalor yang sangat tinggi atau setara dengan nilai kalor dari pemecahan rantai hidrokarbon dari produk biodiesel, hal ini menguatkan potensi dari *bio-oil* limbah batang tembakau yang dapat dijadikan sebagai energi terbarukan yang dapat menggantikan energi berbasis fosil.



Gambar 4. Skema *fluidized bed pyrolysis* [22]

Biochar merupakan produk dengan kandungan karbon melimpah yang dihasilkan dari proses pirolisis biomassa. Berbeda dengan *bio-oil* yang menggunakan metode *fast pyrolysis*, dalam proses pembuatan *biochar* perlu menggunakan metode *slow* pirolisis. Hal ini disebabkan karena dalam proses *slow* pirolisis jumlah kandungan karbon yang dihasilkan jauh lebih tinggi, sehingga *biochar* yang dihasilkan akan memiliki kalor pembakaran yang tinggi [23]. Dalam sebuah penelitian yang dilakukan oleh Astuti, et all pada tahun 2018, didapatkan bahwa *biochar* batang tembakau yang memiliki hasil yield tertinggi dihasilkan dari *biochar* batang tembakau pada suhu 400°C dengan nilai yield sebesar 78,54%. Nilai kadar C-organic pada *biochar* batang tembakau yang memiliki nilai tertinggi pada suhu 400°C yaitu sebesar 57,08%. *Biochar* merupakan pemanfaatan batang tembakau yang paling mudah dan murah.

Sumber daya alam nabati dapat diolah menjadi bioethanol yang merupakan energi ramag lingkungan dan energi terbarukan yang bersih. Bioetanol dapat diproduksi dengan cara menghidrolisis dan memfermentasi limbah batang tembakau. Pertama, limbah batang tembakau perlu dihidrolisis, untuk mendapatkan bioethanol dengan cara memfermentasikan gula yang terdapat pada bahan baku. Asam mineral berupa HCl dan H₂SO₄ biasanya digunakan dalam proses hidrolisis asam encer yang dilakukan pada suhu sekitar 120 - 200 °C. Proses selanjutnya adalah fermentasi. Dalam proses fermentasi ini, mikroba selaku agen pembantu akan memecah molekul glukosa yang terdapat dalam bahan dan diubah menjadi alkohol dan CO₂. Fermentasi merupakan proses dasar yang menggunakan mikroba sebagai agen untuk membantu mengubah sifat-sifat dari bahan yang difermentasi sehingga dapat dijadikan produk bioetanol [21].

Kopi



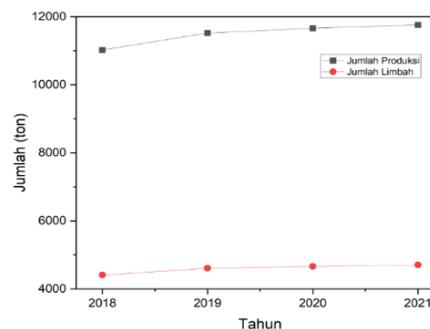
Gambar 5. Limbah kulit kopi

Salah satu negara penghasil komoditas kopi (**Gambar 5.**) terbesar yaitu Indonesia merupakan negara penghasil kopi terbesar keempat di dunia setelah Brazil, Vietnam, dan Kolombia. Kabupaten Jember merupakan daerah di Jawa Timur yang dikenal sebagai penghasil kopi terbanyak. Semakin banyak produksi kopi, semakin banyak pula limbah kulit kopi yang dihasilkan. Data Badan Pusat Statistik (BPS Jember), mencatat data produksi kopi di Kabupaten Jember dari tahun 2018-2021 mengalami peningkatan dengan rincian jumlah produksi pada **Tabel 3.** dan **Gambar 6.**

Tabel 3. Data produksi dan limbah kopi Kab. Jember tahun 2018-2021 [12]

No.	Tahun	Jumlah Produksi(ton)	Jumlah Limbah(ton)
1	2018	11.022	4.408,8
2	2019	11.520	4.608
3	2020	11.660	4.664
4	2021	11.758	4.703,2

Biji kopi merupakan bagian yang paling banyak di manfaatkan dan diambil sebagai komoditas. Kulit kopi hasil pengupasan biji kopi merupakan salah satu hasil sampingan dari olahan kopi yang hampir sama besarnya dengan biji kopi itu sendiri. Komposisi dari limbah buah kopi terdiri dari kulit biji 6%, terdiri dari kulit buah 42% dan daging buah yang secara fisik komposisi mencapai 48% [24]. Sementara menurut penelitian yang dilakukan oleh [25], sekitar 40-45% merupakan proporsi kulit kopi yang dihasilkan dalam pengolahan buah kopi yang mana angka ini cukup besar dalam skala limbah yang dapat dijadikan potensi. Dalam areal pertanaman kopi, limbah kopi segar yang dihasil setiap 1 ha sekitar 1,8 ton [25].



Gambar 6. Grafik produksi dan limbah kopi Kab. Jember tahun 2018-2021

Sejauh ini potensi kulit kopi sebagai biomassa masih terabaikan dan sedikit masyarakat yang mengetahui potensi ini, kebanyakan pengolahan kopi yang dilakukan hanya sebatas pengelupasan kulit hingga menjadi produk kopi bubuk untuk kebutuhan konsumsi saja. Kulit kopi mengandung kadar air rendah, sulfur yang cukup rendah, dan kandungan kalor yang tinggi sehingga sangat cocok dimanfaatkan untuk menjadi biomassa energi terbarukan.



Gambar 7. Biobriket dari limbah kulit kopi [26]

Metode pirolisis dapat digunakan dengan memanfaatkan limbah kulit buah kopi menjadi produk biomassa berupa biogas dan biobriket (**Gambar 7.**). Limbah kulit buah kopi diolah menjadi biobriket dengan ukuran butir 0,180 mm dan 0,150 mm. Biobriket yang dihasilkan memiliki nilai kalori tertinggi sebesar 7.604,09 kal/g dengan kandungan kadar air terendah pada biobriket sebesar 12,07%. Penambahan campuran tepung kayu pada proses pembuatan biobriket dari limbah kulit buah kopi juga dapat membantu meningkatkan nilai kalori biobriket arang. Hasil penelitian menunjukkan waktu pembakaran terlama 72 menit, kadar air terendah 10,76%, nilai kalor tertinggi 4,713 kal/g, sedangkan kadar *fixed carbon* tertinggi 6,89% [27].



Gambar 8. Biopellet dari limbah kulit kopi [28]

Metode selanjutnya yaitu biopellet (**Gambar 8.**), metode ini memiliki prinsip mengubah bahan menjadi biopellet berupa bahan baka padat yang dihasilkan dari proses pengempaan biomassa dan dapat dijadikan sebagai sumber alternatif energi yang dapat diperbarui. Proses pembuatan biopellet sendiri tergolong murah dan mudah. Langkah pertama dalam pembuatan biopellet yaitu dengan pengayakan limbah kulit biji kopi kemudian proses pencampuran dengan perekat alami menggunakan tepung tapioka. Proses selanjutnya pencetakan dengan ukuran 5 cm dan diameter 2,5 cm. Proses terakhir adalah

penjemuran (**Tabel 4.**). Biopellet sendiri merupakan alternatif biomassa limbah kulit kopi yang murah dan mudah [29].

Tabel 4. Nilai kalor biopellet dengan variasi ukuran ayakan [29].

Persen Perekat(%)	Ukuran Ayakan(Mesh)	Nilai Kalor (Kal/g)
7,5	20	4619,28
7,5	50	4608,29
7,5	80	4436,32

Kakao

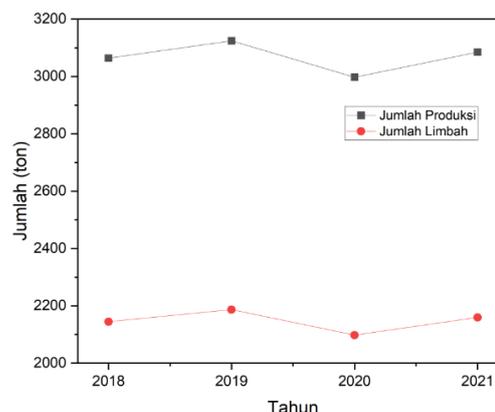


Gambar 9. Limbah kulit kakao [30]

Data Badan Pusat Statistik (BPS Jember), mencatat data produksi kopi di Kabupaten Jember dari tahun 2018-2021 mengalami peningkatan dengan rincian jumlah produksi pada **Tabel 5.** dan **Gambar 10.** Perkebunan kakao yang luas meningkatkan produksi. Secara fisik, 700 hingga 750 kg kulit buah kakao (**Gambar 9.**) dapat dihasilkan dari setiap ton buah kakao yang dipanen, yang merupakan 70-75% dari total berat kakao yang dipanen [31].

Tabel 5. Data produksi dan limbah kakao Kab. Jember tahun 2018-2021 [12]

No.	Tahun	Jumlah Produksi (ton)	Jumlah Limbah (ton)
1	2018	3.064	2.144,8
2	2019	3.124	2.186,8
3	2020	2.997	2.097,9
4	2021	3.085	2.159,5

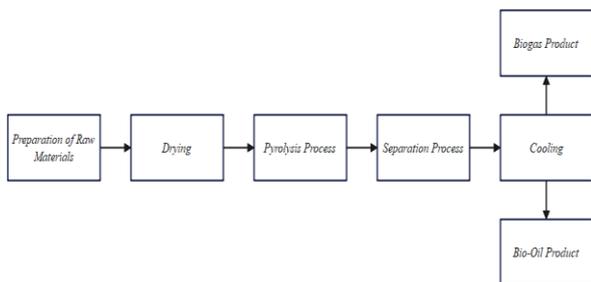


Gambar 10. Grafik produksi dan limbah kakao Kab. Jember tahun 2018-2021

Tabel 6. Komponen limbah kulit kakao [32]

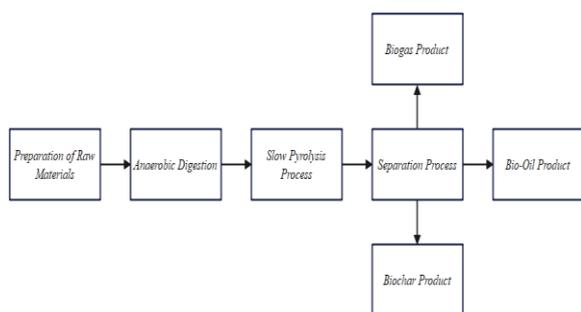
Parameter	Kulit kakao (%)
Protein kasar	5,69 – 9,69
Lemak	0,02 - 0,15
Glukosa	1,16 - 3,92
Sukrosa	0,02 – 0,18
Serat kasar	33,19 – 39,45
Peptin	5,30 – 7,08

Konsentrasi biji kakao yang tinggi dapat dimanfaatkan sebagai bioenergi, khususnya dalam produksi bio-oil, karena konsentrasi yang tinggi dari komponen tersebut dapat meningkatkan pembentukan produk bio-oil. Dalam proses pengolahan biomassa kulit buah kakao dengan komposisi pada Tabel 6. menjadi bio-oil dilakukan dengan metode *fast pyrolysis* (Gambar 11.). Proses *fast pyrolysis* menggunakan temperatur pada kisaran 400-600°C dengan *heating rate* 100°K/dt dalam kondisi tanpa oksigen. Temperatur tersebut merupakan kondisi terbaik karena semakin tinggi suhu pirolisis maka semakin banyak bio-oil yang dihasilkan [27].



Gambar 11. Skema *fast pyrolysis* [33]

Kulit Kakao juga dapat diolah menjadi biobriket. Konversi limbah kulit kakao menjadi biomassa biobriket dilakukan dengan metode *slow pyrolysis* (Gambar 12.). Metode ini merupakan proses pirolisis yang berfungsi untuk mengurangi pembentukan asap yang terdapat pada sampel disebut pirolisis ringan (*mild pyrolysis*), dimana proses pirolisis dilakukan dengan laju pemanasan lambat dalam suasana inert hingga suhu maksimal 300°C. Proses ini menghasilkan produk padat dengan kadar air rendah dan energi yang dihasilkan lebih besar dari biomassa aslinya, metode ini sangat cocok untuk pembuatan briket [34].



Gambar 12. Skema *slow pyrolysis* [35]

Padi



Gambar 13. Jerami dan sekam padi

Padi merupakan bahan pangan utama yang dapat ditanam hampir di seluruh wilayah Indonesia. Padi menghasilkan nasi dan menjadi makanan pokok mayoritas orang di seluruh daerah Indonesia. Limbah berupa sekam padi dan jerami (Gambar 13.) merupakan hasil sisa dari serangkaian proses pengolahan padi menjadi beras dan juga melalui beberapa tahapan pascapanen yang banyak menyisakan limbah pertanian. Limbah didefinisikan sebagai komponen residu yang memiliki nilai ekonomis yang rendah. Mengonversi sekam dan jerami padi sebagai residu menjadi bahan bakar dapat membuat bahan ini lebih ekonomis menguntungkan. Kandungan energi dari kedua jenis limbah olahan padi tersebut dapat dimanfaatkan menjadi biomassa. Kuantitas pada padi tersusun dari 58 % jerami dan sekam, serta 42% gabah. Perhitungan berat sekam dan jerami padi didasarkan pada produksi gabah giling dengan rumus perhitungan :

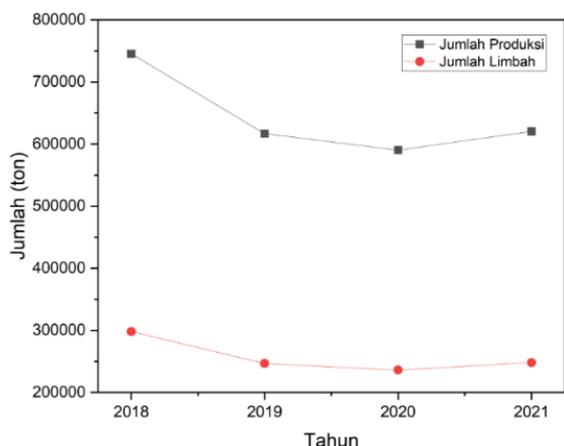
$$\text{Berat jerami} = \frac{0,5}{0,4} \times \text{berat gabah}$$

$$\text{Berat sekam} = 0,2 \times \text{berat gabah} [36].$$

Salah satu penghasil padi terbanyak yang berada di daerah Jawa Timur salah satunya yaitu Kabupaten Jember. Tingkat produksi padi juga akan berimplikasi terhadap jumlah limbah jerami dan sekam padi yang dihasilkan. Data Badan Pusat Statistik (BPS Jember), mencatat data produksi Jagung di Kabupaten Jember dari tahun 2018-2021 mengalami produksi yang fluktuatif dengan rincian jumlah produksi pada Tabel 7. dan Gambar 14.

Tabel 7. Data produksi dan limbah padi Kab. Jember tahun 2018-2021 [12]

No.	Tahun	Jumlah Produksi (ton)	Jumlah Limbah (ton)
1	2018	745.410	298.164
2	2019	616.858	246.743
3	2020	590.263,4	236.105
4	2021	620.338,9	248.136



Gambar 14. Grafik produksi dan limbah padi Kab. Jember tahun 2018-2021

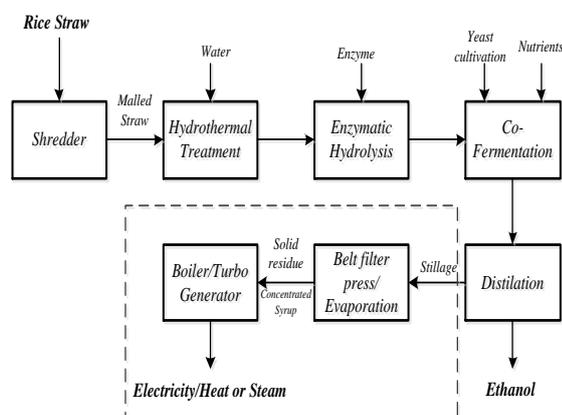
Tabel 8. Komponen kimia jerami padi [37-38]

No.	Komponen Jerami Padi	wt %	Nilai Kalor (MJ Kg ⁻¹)
1.	Pektin	2,3	
2.	Holoseulosa	71	
3.	a-selulosa	34,94	
4.	b-hemiselulosa	36,06	14,08 – 15,09
5.	Lignin	12,3	
6.	Material larut (<i>soluble materials</i>)	14,17	

Tabel 9. Komponen kimia sekam padi [39]

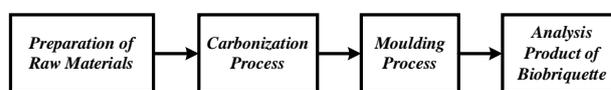
No.	Komponen Sekam Padi	wt%	Nilai Kalor (MJ Kg ⁻¹)
1.	Selulosa	38	
2.	Hemiselulosa	18	13 – 16
3.	Lignin	22	

Kedua jenis limbah padi tersebut dapat diolah menjadi beberapa produk energi terbarukan seperti bioetanol jerami padi. Pembuatan bioetanol dapat dilakukan dengan berbagai macam proses, salah satunya dengan metode fermentasi. Alur proses pembuatan bioetanol jerami padi dengan metode fermentasi dapat dilihat seperti pada Gambar 15.



Gambar 15. Alur proses produksi bioetanol jerami padi [40]

Limbah sekam padi dapat diproduksi menjadi briket. Briket sekam padi dapat digunakan sebagai pengganti kayu bakar atau arang yang juga sebagai bentuk kontribusi terhadap pelestarian hutan. Briket berbasis biomassa memiliki kelebihan diantaranya ramah lingkungan (*eco-friendly*) dan memiliki efisiensi pembakaran yang tinggi dibandingkan batu bara. Diagram alir proses produksi briket berbahan baku sekam padi dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Alur proses produksi *biobriket* jerami padi

Prosedur pembuatan bio briket meliputi empat tahap yaitu persiapan bahan baku, proses karbonisasi, proses pencetakan, dan uji analisis. Tahap pertama adalah persiapan bahan baku. Pada tahap ini langkah awal adalah penyesuaian ukuran sekam padi menjadi lebih kecil dan seragam, kemudian dijemur selama 3 (tiga) hari. Tahap kedua adalah proses karbonisasi. Pada tahap ini sejumlah sekam padi (sesuai takaran) dimasukkan ke dalam drum, proses karbonisasi dilakukan secara terpisah, kemudian tutup drum dengan batang pisang, karung goni dan tambahkan tanah liat basah. Proses karbonisasi dilakukan selama 4 jam. Setelah proses karbonisasi selesai, keluarkan bahan baku yang telah menjadi karbonisasi. Kemudian tumbuk secara terpisah sampai seluruhnya halus.

Tahap ketiga adalah proses pencetakan yang diawali dengan penimbangan sekam padi sesuai dengan yang ditentukan variabel. Kemudian, timbang tepung tapioka sebanyak 20% dari total massa, lalu campurkan tepung tapioka dengan 50 mL air panas. Setelah itu campurkan sekam padi yang ditimbang dengan tepung tapioka dan aduk hingga merata. Meletakkan ke dalam cetakan, kemudian ditempa dengan alat press. Setelah itu, jemur menggunakan sinar matahari selama tiga hari.

Tahap terakhir adalah tes analisis. Ada uji lama nyala briket, uji kadar air, uji panas, uji kandungan abu, uji kadar karbon padat, dan uji kadar volatil. Nilai kalor bisa diperoleh dan diketahui dengan cara membakar briket variabel sebelumnya, kemudian dilakukan proses pengujian nilai kalor dengan menggunakan kalorimeter bom. Kemudian untuk proses uji nyala dilakukan dengan cara menuangkan sedikit minyak tanah ke dalam sampel briket, kemudian dinyalakan. Waktu awal adalah diamati sampai briket benar-benar berubah menjadi abu. Pengujian kadar air dilakukan dengan cara menimbang briket sebelum di oven, selanjutnya sampel briket dimasukkan ke dalam cawan porselen, kemudian di oven selama 24 jam dengan suhu 105 °C. Kemudian dinginkan selama 10 menit, lalu timbang briket tersebut.

Jagung



Gambar 17. Tongkol jagung

Jagung (**Gambar 17.**) merupakan jenis komoditi pangan yang sudah mengakar dan identik sebagai salah satu sumber karbohidrat bagi kalangan masyarakat umum. Jagung merupakan komoditi makanan yang kaya akan zat antioksidan yang mampu melindungi sel dari kerusakan dan kanker, mengandung vitamin C dan mampu melawan penyakit jantung. Selain itu, jagung sangat baik untuk kesehatan mata dan mencegah kerusakan pada lensa mata yang berujung pada katarak, hal ini karena jagung banyak mengandung *zeaxanthin* dan sumber karotenoid lutein yang baik. Jagung juga memiliki jumlah vitamin K, E, B dan juga kandungan beberapa mineral magnesium dan potasium.

Tabel 10. Komposisi kimia tongkol jagung [41]

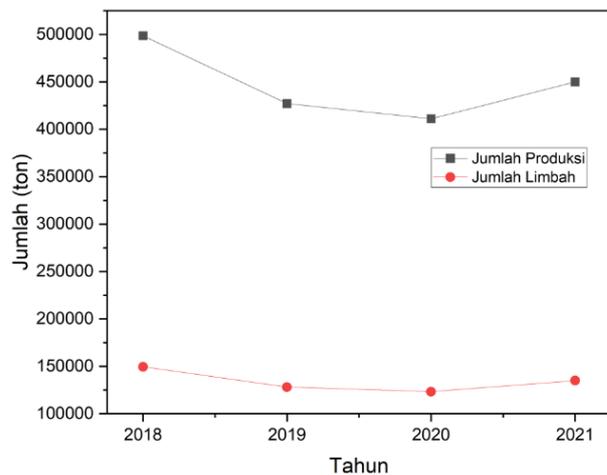
No.	Komponen	Kadar (%)
1	Selulosa	45
2	Lignin	15
3	Hemiselulosa	35

Dari setiap hasil panen jagung sekitar 35% merupakan limbah jagung berupa kulit, daun, tongkol jagung dan batang, sementara sekitar 65% berupa rendemen buah jagung. Setiap 100 kg dari hasil panen jagung sekitar 30% merupakan limbah jagung yang biasanya langsung dibuang. Setiap satu ha lahan pertanian jagung mampu menghasilkan sembilan ton jagung dan sekitar dua hingga tiga ton merupakan sisa limbah dari hasil tanaman jagung yang dipanen. Jagung tua yang siap dipanen terdiri atas 30% batang, 13% daun, 38% biji, 12% kulit, dan 7% tongkol. Jika diambil rata-ratanya, 20 hingga 30% limbah yang dihasilkan pada setiap 100 kg jagung yang dipanen [20]. Sebagai bahan baku terbarukan, tongkol jagung dari biji jagung merupakan bahan baku potensial untuk produksi energi terbarukan, salah satunya adalah bioetanol. Daerah penghasil jagung terbanyak di Jawa Timur salah satunya yaitu Kabupaten Jember. Tingkat produksi jagung juga akan berimplikasi terhadap jumlah limbah tongkol jagung yang dihasilkan. Data Badan Pusat Statistik (BPS Jember), mencatat data produksi Jagung di

Kabupaten Jember dari tahun 2018-2021 mengalami fluktuatif dengan rincian jumlah produksi pada **Tabel 11.** dan **Gambar 18.**

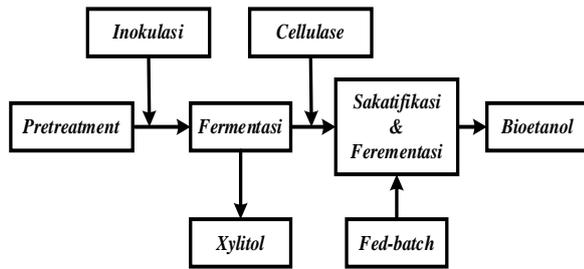
Tabel 11. Data produksi dan limbah jagung Kab. Jember tahun 2018-2021 [12]

No.	Tahun	Jumlah Produksi(ton)	Jumlah Limbah(ton)
1	2018	498.644	149.593
2	2019	427.064	128.119
3	2020	411.168	123.350
4	2021	450.000	135.000



Gambar 18. Grafik produksi dan limbah jagung Kab. Jember tahun 2018-2021

Limbah tongkol jagung dapat dimanfaatkan sebagai bioetanol. Sebelum digunakan sebagai substrat untuk proses fermentasi, bahan baku harus diolah terlebih dahulu. *Pretreatment* adalah salah satu dari banyak langkah dalam proses selulosa-menjadi-etanol, tetapi saat ini merupakan langkah kritis untuk hidrolisis. *Pretreatment* yang efektif dilakukan pada kondisi yang menghindari degradasi pentosa dari hemiselulosa, atau glukosa dari selulosa, dan membatasi pembentukan produk degradasi yang menghambat pertumbuhan mikroorganisme fermentasi. Struktur lignoselulosa dihancurkan dengan perlakuan suhu tinggi dan uap jenuh dalam reaktor diikuti dengan penurunan tekanan secara tiba-tiba [42-43]. Tongkol jagung merupakan bahan lignoselulosa yang tersusun dari selulosa, hemiselulosa dan lignin. Serat polimer ini terdiri dari molekul monomer. Selulosa dibangun dari gula C₆; hemiselulosa terutama dari gula C₅ xilosa dan arabinosa. Lignin terdiri dari makromolekul fenolik. Tongkol jagung mengandung 45% selulosa, 35% hemiselulosa, dan 17% lignin dan dapat diubah menjadi gula yang dapat difermentasi untuk produksi etanol.



Gambar 19. Alur proses pembuatan bioetanol

Konversi limbah biomassa menjadi bioetanol (Gambar 19.) biasanya berpusat pada tiga langkah utama yang saling bergantung: *pretreatment*, hidrolisis enzimatik, dan fermentasi mikroba [44]. *Pretreatment* asam encer dari biomassa dilakukan berdasarkan metode yang dipublikasikan sebelumnya [45]. Singkatnya, tongkol jagung dicampur dengan 0,5% (b/b) H_2SO_4 dan 1,5% (b/b) H_3PO_4 dan diolah pada suhu 128 °C selama 1 jam. Persiapan benih dan fermentasi dua tahap dilakukan dimulai dengan Strain yang digunakan pertama kali dibudidayakan dalam media YPD padat. Satu koloni tunggal dipindahkan ke media prekulturr (media YPD) dan di kultur pada suhu 30 °C, 150 rpm selama 24 jam. Sel-sel benih ditanam dalam labu 500 mL dengan media cair 200 mL (ekstrak ragi 10 g/L, pepton 20 g/L, glukosa 20 g/L, xilosa 10 g/L). Setelah 24-48 jam, sel dikumpulkan dan diinokulasi ke dalam media fermentasi.

Untuk fermentasi dua tahap, bubur tongkol jagung yang diolah dengan asam yang mengandung fraksi padat yang tersisa digunakan langsung untuk fermentasi tanpa langkah detoksifikasi, ekstrak ragi dan pepton juga ditambahkan dengan 12,5% (b / v) muatan padat (tongkol jagung:H₂O=1:8). Fermentasi dilakukan dalam bioreaktor di bawah 40 °C, 200 rpm, dan pH diatur menjadi 5 dengan 6 mol/L NaOH. Pada tahap pertama, ragi memfermentasi xylose untuk menghasilkan xylitol di bawah mikro-aerasi, dan kemudian, pada tahap kedua, setelah selulosa ditambahkan ke media fermentasi, dilakukan skarifikasi dan fermentasi secara bersamaan untuk menghasilkan etanol tanpa aerasi. Durasi tahap pertama dan tahap kedua masing-masing adalah 48 jam dan 36 jam. Tingkat aerasi yang berbeda pada tahap pertama dan dosis selulosa yang berbeda pada tahap kedua, sampel fermentasi dikumpulkan pada interval waktu tertentu.

Sehingga untuk lebih meningkatkan titer etanol maka dilakukan fermentasi *fed-batch*. Padatan bubur tongkol jagung yang diolah dengan asam dan pati skarifikasi digunakan sebagai substrat untuk fermentasi *fed-batch*. Setelah perlakuan awal dengan asam, fraksi padat diperoleh kembali dengan penyaringan, dicuci satu kali dan dikeringkan sampai beratnya tetap sama. Pati jagung dicairkan pada suhu 85 °C selama 4 jam, kemudian ditambahkan glukamilase untuk skarifikasi pada suhu 60 °C selama 10 jam. Prosedur *fed-batch* diberi nutrisi

intermiten 2 kali setiap 24 jam. Setelah fermentasi dua tahap berjalan 72 jam, substrat yang diumpukan dilakukan dengan 200 g padatan asam encer yang diolah sebelumnya dan 10 FPU/g setiap kali atau pati yang disakarifikasi [46].

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam merealisasikan penelitian ini.

PENUTUP

Simpulan

Biomassa memiliki potensi yang sangat baik untuk masa depan sebagai sumber energi alternatif pengganti energi fosil, Hal ini dapat dilihat dari hasil data yang banyak digunakan dalam pemanfaatan biomassa dengan menggunakan berbagai metode seperti pirolisis, fermentasi dan gasifikasi. Metode – metode tersebut dapat menjadi cara efektif untuk memanfaatkan potensi limbah biomassa dari tembakau, kopi, kakao, padi, dan jagung yang ada di Kabupaten Jember sehingga mampu diolah menjadi berbagai macam energi terbarukan. Energi terbarukan yang dapat dikonversi dari limbah biomassa di Kabupaten Jember adalah bioetanol, *biochar*, bio-oil, biobriket, dan biopellet. Sehingga dapat disimpulkan bahwa Kabupaten Jember dengan berbagai limbah biomassa yang melimpah tersebut sangat berpotensi untuk dimanfaatkan menjadi energi terbarukan dan dapat dikembangkan lebih lanjut guna pemanfaatan secara massal dan efektif.

Saran

Dengan adanya basis data potensi limbah biomassa di Kabupaten Jember yang dapat dikonversi menjadi sumber energi terbarukan, sebaiknya kebijakan oleh pemerintah dan pihak terkait dapat dikonsentrasikan pada tahap implementasi dan komersialisasi, sehingga dapat mengembangkan energi terbarukan berbasis limbah biomassa sebagai sumber daya energi lokal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Haris, L. B. Subagio, F. Santoso, and N. Wahyuningtyas, "Perubahan Sosial Ekonomi Masyarakat Desa Karangwidoro Pasca Alih Fungsi Lahan Pertanian Ke Perumahan," *JPG (Jurnal Pendidik. Geogr.*, vol. 5, no. 2, 2019, doi: 10.20527/jpg.v5i2.5284.
- [2] A. D. Mulawarman, "Tazkiyah: Metodologi Rekonstruksi Akuntansi Pertanian," *Assets J. Akunt. dan Pendidik.*, vol. 8, no. 2, 2019, doi: 10.25273/jap.v8i2.4656.
- [3] C. F. Nicholson *et al.*, "Conceptual frameworks

- linking agriculture and food security,” *Nature Food*, vol. 1, no. 9. 2020. doi: 10.1038/s43016-020-00142-3.
- [4] R. Sinaga, L. P. Nainggolan, and K. P. Munthe, “STRATEGI PENGEMBANGAN AGRIBISNIS PRODUK BUNGA KRISAN (*Chrysanthemum indicum* L) DI KABUPATEN KARO,” *J. AGROTEKNOSAINS*, vol. 4, no. 1, 2020, doi: 10.36764/ja.v4i1.291.
- [5] C. M. Viana, D. Freire, P. Abrantes, J. Rocha, and P. Pereira, “Agricultural land systems importance for supporting food security and sustainable development goals: A systematic review,” *Science of the Total Environment*, vol. 806. 2022. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.150718.
- [6] F. Martins, C. Felgueiras, M. Smitkova, and N. Caetano, “Analysis of fossil fuel energy consumption and environmental impacts in european countries,” *Energies*, vol. 12, no. 6, 2019, doi: 10.3390/en12060964.
- [7] A. Tursi, “A review on biomass: Importance, chemistry, classification, and conversion,” *Biofuel Research Journal*, vol. 6, no. 2. 2019. doi: 10.18331/BRJ2019.6.2.3.
- [8] I. Mawardi, Nurdin, Ariefin, R. Usman, and A. HS, “Peningkatan Karakteristik Biopellet Kayu Kelapa Sawit Sebagai Sumber Energi Alternatif,” *Pros. Semin. Nas. Politek. Negeri ...*, vol. 3, no. 1, 2019.
- [9] A. M. James, W. Yuan, M. D. Boyette, and D. Wang, “The effect of air flow rate and biomass type on the performance of an updraft biomass gasifier,” *BioResources*, vol. 10, no. 2, 2015, doi: 10.15376/biores.10.2.3615-3624.
- [10] M. N. Kholis and M. Sari, “Potensi Biomassa Limbah Pertanian dalam Produksi Bioetanol,” *Conf. Innov. Appl. Sci. Technol. (CIASTECH 2018)*, vol. 46, no. 1, 2018.
- [11] N. Febrianti, F. Filiana, and P. Hasanah, “Potential of Renewable Energy Resources from Biomass Derived by Natural Resources In Balikpapan,” *J. Presipitasi Media Komun. dan Pengemb. Tek. Lingkung.*, vol. 17, no. 3, 2020, doi: 10.14710/presipitasi.v17i3.316-323.
- [12] Pemkab Jember, “PPID Kabupaten Jember,” 2022, [Online]. Available: <https://ppid.jemberkab.go.id/berita-ppid/detail/sikeren-aplikasi-produktivitas-kinerja-harian-asn-jember>
- [13] C. R. Cardoso, M. R. Miranda, K. G. Santos, and C. H. Ataíde, “Determination of kinetic parameters and analytical pyrolysis of tobacco waste and sorghum bagasse,” *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, vol. 92, no. 2, pp. 392–400, 2011, doi: 10.1016/j.jaap.2011.07.013.
- [14] B. Liu, Y.-M. Li, S.-B. Wu, Y.-H. Li, S.-S. Deng, and Z.-L. Xia, “Pyrolysis characteristic of tobacco stem,” 2013.
- [15] H. Chen, G. Lin, Y. Chen, W. Chen, and H. Yang, “Biomass Pyrolytic Polygeneration of Tobacco Waste: Product Characteristics and Nitrogen Transformation,” *Energy and Fuels*, vol. 30, no. 3, pp. 1579–1588, Mar. 2016, doi: 10.1021/acs.energyfuels.5b02255.
- [16] B. Onorevoli, G. P. da Silva Maciel, M. E. Machado, V. Corbelini, E. B. Caramão, and R. A. Jacques, “Characterization of feedstock and biochar from energetic tobacco seed waste pyrolysis and potential application of biochar as an adsorbent,” *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 6, no. 1, pp. 1279–1287, Feb. 2018, doi: 10.1016/j.jece.2018.01.039.
- [17] Z. Yang *et al.*, “Combustion behaviours of tobacco stem in a thermogravimetric analyser and a pilot-scale fluidized bed reactor,” *Bioresour. Technol.*, vol. 110, pp. 595–602, Apr. 2012, doi: 10.1016/j.biortech.2011.12.119.
- [18] Z. Yıldız and S. Ceylan, “Pyrolysis of tobacco factory waste biomass: TG-FTIR analysis, kinetic study and bio-oil characterization,” *J. Therm. Anal. Calorim.*, vol. 136, no. 2, pp. 783–794, Apr. 2019, doi: 10.1007/s10973-018-7630-z.
- [19] R. Rajauddin Amin, R. Rodiyana Sova, D. Intan Laily, and D. Kartika Maharani, “Artikel Review Studi Potensi Limbah Tembakau Menjadi Bio-Oil Menggunakan Metode Fast-Pyrolysis Sebagai Energi Terbarukan,” 2020.
- [20] M. Anwar, R. E. Prasteoyo, I. F. Danasari, and D. H. Ningsih, “Identifikasi Peluang Usaha Pemanfaatan Limbah Tanaman jagung (*Zea Mays*) Di Kabupaten Lombok Timur,” Lombok Timur, Jun. 2021.
- [21] S. S. Handayani, A. Amrullah, R. Tarnanda, and B. A. Rahayu, “Proses Degradasi Lignin Pada Limbah Batang Tembakau Sebagai Persiapan Produksi Bioetanol,” *J. Pijar Mipa*, vol. 13, no. 2, pp. 140–146, Sep. 2018, doi: 10.29303/jpm.v13i2.750.
- [22] V. Paasikallio, “Bio-oil production via catalytic fast pyrolysis of woody biomass,” 2016.
- [23] D. Hery Astuti, Y. Gilang Yuandana, K. Jurusan Teknik Kimia, F. Teknik, J. Timur Jl Raya Rungkut Madya, and G. Anyar, “Kajian Karakteristik Biochar Dari Batang Tembakau, Batang Pepaya Dan Jerami Padi Dengan Proses Pirolisis Study Biochar’s Characteristic From Tobacco Stem, Papaya Stem And Rice Straw With Pyrolysis Process,” 2018.
- [24] S. N. Azizah, E. Novita, and D. Purbasari, “Potensi Penerapan Produksi Bersih Pada Proses Pengolahan Kopi Arabika Di Agroindustri Maju Mapan Desa Kemiri Kecamatan Panti Kabupaten Jember,” Sep. 2019. doi: 10.25047/agropross.2019.128.
- [25] K. Simanihuruk and D. J. Sirait, “Seminar Nasional Teknologi Peternakan dan Veteriner,” 2010.

- [26] Berita Jatim, "Ampas Tebu pun bisa Diubah jadi Biobriket," <https://beritajatim.com/gaya-hidup/ampas-tebu-pun-bisa-diubah-jadi-biobriket/>, 2021.
- [27] R. P. Dewi, T. J. Saputra, and S. Widodo, "Studi Potensi Limbah Kulit Kopi Sebagai Sumber Energi Terbarukan Di Wilayah Jawa Tengah," *J. Mech. Eng.*, vol. 5, no. 1, Mar. 2021, doi: 10.31002/jom.v5i1.3946.
- [28] Radar Jember, "Olah Limbah Kulit Kopi menjadi Bahan Bakar Biopellet," <https://radarjember.jawapos.com/sinergi/23/09/2022/olah-limbah-kulit-kopi-menjadi-bahan-bakar-biopellet/>, Sep. 2022.
- [29] S. Bahri and I. Ibrahim, "Pemanfaatan Limbah Ampas Kopi Menjadi Biomassa Pelet (Biopellet) Sebagai Sumber Energi Terbarukan," 2022.
- [30] Kompasiana, "Tahukah Kamu bahwa dari Kulit Biji Kakao bisa menjadi Cookies yang Lebih Nikmat," <https://www.kompasiana.com/vdpsiaasindonesia/5ec6b3c5097f3678310df3c2/tahukah-kamu-bahwa-dari-kulit-biji-kakao-bisa-menjadi-cookies-yang-lebih-nikmat>, 2020.
- [31] I. G. M. T. Pradana, B. A. Harsojuwono, and A. Hartiati, "Karakteristik Papan Partikel Kulit Buah Kakao (*Theobroma Cacao L.*) Pada Variasi Konsentrasi Perekat Polyvinyl Acetate," *J. REKAYASA DAN Manaj. AGROINDUSTRI*, vol. 6, no. 1, 2018, doi: 10.24843/jrma.2018.v06.i01.p08.
- [32] Pratiwi, Eka P, M. Yatim, and L. Edahwati, "Pemanfaatan Limbah Kulit Buah Cokelat Sebagai Bioethanol," *Semin. Nas. Tek. Kim. Soebardjo Brotohardjono*, no. ISSN 1978-0427, 2010.
- [33] G. Perkins, T. Bhaskar, and M. Konarova, "Process development status of fast pyrolysis technologies for the manufacture of renewable transport fuels from biomass," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 90. Elsevier Ltd, pp. 292–315, Jul. 2018. doi: 10.1016/j.rser.2018.03.048.
- [34] A. Hadiyane, A. Rumidatul, and Y. Hidayat, "Aplikasi Teknologi Biopellet Limbah Kopi sebagai Bahan Bakar Alternatif dalam Rangka Pengembangan Desa Mandiri Energi di Desa Jatiroke Kawasan Sekitar Hutan Pendidikan Gunung Geulis ITB," *Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 5, no. 3, 2021.
- [35] S. Ghysels *et al.*, "Integrating anaerobic digestion and slow pyrolysis improves the product portfolio of a cocoa waste biorefinery," *Sustain. Energy Fuels*, vol. 4, no. 7, pp. 3712–3725, Jul. 2020, doi: 10.1039/d0se00689k.
- [36] B. Sudia *et al.*, "Potensi Limbah Padi Sebagai Sumber Energi Alternatif Di Provinsi Sulawesi Tenggara," *Din. J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 12, no. 1, 2020, doi: 10.33772/djitm.v12i1.14820.
- [37] A. M. Shoab, R. A. El-Adly, M. H. M. Hassanean, A. Youssry, and A. A. Bhran, "Developing a free-fall reactor for rice straw fast pyrolysis to produce bio-products," *Egypt. J. Pet.*, vol. 27, no. 4, 2018, doi: 10.1016/j.ejpe.2018.08.002.
- [38] N. Van Hung *et al.*, "Rice Straw Overview: Availability, Properties, and Management Practices," in *Sustainable Rice Straw Management*, 2020. doi: 10.1007/978-3-030-32373-8_1.
- [39] S. Solihudin, R. Rustaman, and H. Haryono, "Pembentukan Karbon Konduktif dari Sekam Padi dengan Metode Hidrotermal Menggunakan Larutan Kalium Karbonat," *Chim. Nat. Acta*, vol. 8, no. 1, 2020, doi: 10.24198/cna.v8.n1.25076.
- [40] N. Q. Diep *et al.*, "Comparison of the potential for ethanol production from rice straw in Vietnam and Japan via techno-economic evaluation," *Int. Energy J.*, vol. 13, no. 3, 2012.
- [41] Fitriani, S. Bahri, and Nurhaeni, "Produksi Bioetanol Tongkol Jagung (*Zea Mays*) dari Hasil Proses Delignifikasi," *J. Nat. Sci.*, vol. 2, no. 3, 2013.
- [42] V. Menon and M. Rao, "Trends in bioconversion of lignocellulose: Biofuels, platform chemicals & biorefinery concept," *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 38, no. 4. 2012. doi: 10.1016/j.pecs.2012.02.002.
- [43] K. Eisenhuber, A. Jäger, J. Wimberger, and H. Kahr, "Comparison of different pretreatment methods for straw for lignocellulosic bioethanol production," *Agron. Res.*, vol. 11, no. 1, 2013.
- [44] T. Y. Nguyen, C. M. Cai, R. Kumar, and C. E. Wyman, "Overcoming factors limiting high-solids fermentation of lignocellulosic biomass to ethanol," *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 114, no. 44, 2017, doi: 10.1073/pnas.1704652114.
- [45] K. K. Cheng, J. Wu, Z. N. Lin, and J. A. Zhang, "Aerobic and sequential anaerobic fermentation to produce xylitol and ethanol using non-detoxified acid pretreated corncob," *Biotechnol. Biofuels*, vol. 7, no. 1, 2014, doi: 10.1186/s13068-014-0166-y.
- [46] C. Du, Y. Li, H. Zong, T. Yuan, W. Yuan, and Y. Jiang, "Production of bioethanol and xylitol from non-detoxified corn cob via a two-stage fermentation strategy," *Bioresour. Technol.*, vol. 310, 2020, doi: 10.1016/j.biortech.2020.123427.