



Analysis of the Electrical Energy Potential and Economic Feasibility of Biogas from Coconut Residue in Riau Province

Analisis Potensi Energi Listrik dan Ekonomis Biogas dari Ampas Kelapa Provinsi Riau

Nanda Putri Miefthawati^{1*}, Fadhillah Benedicto²

^{1,2} Electrical Engineering, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, Indonesia

Corresponden E-Mail: ¹nandamiefthawati@uin-suska.ac.id, ²11755101123@uin-suska.ac.id

Paper: Received 23 December 2025; Fixed 25 December 2025; Approved 31 December 2025
Corresponding Author: Nanda Putri Miefthawati

Abstrak

Data BPS tahun 2021 menyebutkan bahwa produksi kelapa di Indonesia terbesar di dunia dengan jumlah produksi sebesar 988,3 ribu ton kelapa, dengan produksi kelapa terbesar dari Provinsi Riau dengan produksi 1.100 ton. Pada umumnya kelapa dimanfaatkan untuk dijadikan santan, dan meninggalkan limbah berupa ampas kelapa. Limbah ini dianggap sampah karena tidak memiliki nilai manfaat lagi, sehingga langsung dibuang. Pembuangan ini memiliki dampak terhadap lingkungan, karena limbah biomassa yang dibuang secara langsung akan menimbulkan bau busuk dan emisi gas metana yang 20 kali lebih berbahaya dibanding emisi CO₂, padahal limbah ampas kelapa memiliki kandungan nutrisi yang dapat diolah menjadi sumber energi baru berupa biogas. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi biogas yang dapat dihasilkan dari limbah ampas kelapa, mencakup potensi energi listrik yang dapat dibangkitkan dan juga analisis ekonomisnya. Penelitian ini menggunakan metode respirasi anaerob untuk memproduksi biogas dalam reaktor anaerobic digestion yang disimulasikan dengan menggunakan aplikasi superpro designer. Dari penelitian yang telah dilakukan diperoleh potensi biogas yang dapat dihasilkan dari limbah ampas kelapa dalam setahun di Provinsi Riau adalah sebesar 15.321.231,9 m³ yang diperoleh dari 134 ton limbah ampas kelapa Provinsi Riau tahun 2021. Selain itu biogas yang dihasilkan mampu mebangkitkan energi listrik sebesar 141.703.473 kWh / tahun dengan potensi pendapatan yang dapat diperoleh sebesar Rp.212.555.209.500 dengan keuntungan tahunan sebesar Rp.163.532.903.700. Dengan nilai rasio B/C 1,26 dan periode pengembalian modal selama 9,6 bulan, dapat dikatakan bahwa investasi ini adalah menguntungkan dan layak untuk dapat direalisasikan..

Keyword: Biogas, Ampas Kelapa, Energi Listrik, Ekonomi.

Abstract

BPS data from 2021 states that coconut production in Indonesia is the largest in the world, with a total production of 988.3 thousand tonnes of coconuts. The largest coconut production comes from Riau Province, with a production of 1,100 tonnes. Generally, coconuts are used to make coconut milk, leaving behind coconut pulp as waste. This waste is considered garbage because it no longer has any beneficial value, so it is disposed of directly. This disposal has an impact on the environment because biomass waste that is disposed of directly will cause a foul odour and methane gas emissions that are 20 times more harmful than CO₂ emissions, even though coconut husk waste contains nutrients that can be processed into a new energy source in the form of biogas. This research aims to analyse the biogas potential that can be generated from coconut husk waste, including the potential for electricity generation and its economic analysis. This research uses the anaerobic respiration method to produce biogas in an anaerobic digestion reactor simulated using the SuperPro Designer application. From the research conducted, it was found that the potential biogas that can be produced from coconut husk waste in a year in Riau Province is 15,321,231.9 m³, which is obtained from 134 tonnes of coconut husk waste in Riau Province in 2021. In addition, the biogas produced is capable of generating 141,703,473 kWh of electricity per year, with a potential revenue of Rp. 212,555,209,500 and an annual profit of Rp. 163,532,903,700. With a B/C ratio of 1.26 and a payback period of 9.6 months, it can be said that this investment is profitable and feasible to be realised.

Keyword: Biogas, Coconut Waste, Electricity, Economics.

1. Pendahuluan

Kelapa (*Cocos Nucifera L.*) merupakan salah satu jenis tumbuhan monokotil yang berasal dari keluarga paleopaleman yang banyak tumbuh di daerah tropis[1]. Tumbuhan ini juga memiliki julukan “Tanaman Seribu Manfaat” karena seluruh bagian dari tumbuhan ini dapat dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari, mulai dari sebagai sumber makanan, bahan material bahkan sampai sumber obat dan energi[2]. Kelapa juga merupakan salah satu sektor perkebunan paling produktif di Indonesia. Data menyebutkan bahwa kelapa merupakan penyumbang devisa nomor 4 dari sektor pertanian dan perkebunan setelah komoditi sawit, karet dan kakao. Hingga triwulan tahun 2020 saja, Indonesia telah mampu mengekspor 988.3 ribu ton kelapa dengan pemasukan sebesar 519.2 Juta dolar Amerika, meningkat dan dibanding ekspor tahun sebelumnya pada tahun yang sama. Hal ini selaras dengan status Indonesia sebagai produsen kelapa terbesar di dunia, dengan produksi tahunan mencapai 18.9 juta ton, diikuti Filipina dan India dengan masing-masing negara tersebut memproduksi 14.04 juta ton dan 9.6 ton[3]. Besarnya produksi kelapa di Indonesia disumbang oleh Provinsi Riau. Data BPS tahun 2021, menyebutkan bahwa produksi kelapa di Riau mencapai 1.100 ton, yang diperoleh dari total 1450 Ha lahan yang tersebar di seluruh Riau[4].

Banyak industri pengolahan kelapa yang ada di Riau. Daerah penghasil produk kelapa terbesar di Riau adalah Kabupaten Indragiri Hilir. Rata-rata, dalam 1 hektar lahan kelapa yang ada di Indragiri hilir menghasilkan 1.196 Kg kelapa. Selain itu Indragiri hilir juga subur akan industri pengolahan kelapa, salah satunya PT Pulau Sambu yang merupakan industri pengolah kelapa terbesar di dunia. Produk yang dihasilkannya juga beragam meliputi *nata de coco*, minyak kelapa dan juga utamanya santan kelapa. Besarnya produksi tersebut berdampak pada besarnya potensi limbah yang dihasilkan. Limbah yang dihasilkan jenisnya beragam, meliputi sabut, tempurung dan yang paling banyak adalah ampas daging kelapa tua, karena produk utama dari PT Sambu Guntung adalah minyak kelapa dan santan kelapa yang menghasilkan limbah berupa ampas kelapa. [5]. Umumnya, ampas kelapa merupakan sampah karena tidak memiliki nilai manfaat lagi, sehingga langsung dibuang tanpa mengalami proses lebih lanjut. Dalam dunia industri, ampas kelapa akan ditumpuk atau diproses dengan cara dibakar. Metode yang lain, umumnya limbah ampas santan hanya akan ditebar di ladang perkebunan untuk kemudian membusuk dan dimanfaatkan untuk menambah unsur hara pada tanah. Pembuangan sisa biomassa ini tentu memiliki dampak terhadap lingkungan, karena limbah biomassa yang dibuang secara langsung akan menimbulkan bau busuk. Bau busuk tersebut berasal dari gas metana yang terbuang ke atmosfer. Gas metana yang terbuang ke atmosfer memiliki dampak buruk yang 20 kali lebih berbahaya jika dibandingkan dengan emisi yang ditimbulkan dari gas carbon yang terbuang ke udara[6]. Dalam penelitian sebelumnya yang telah dilakukan, kandungan gas metana (biogas) yang dapat dihasilkan dari limbah ampas kelapa adalah 5000-7000 ml. Dengan kandungan gas metana tersebut, tentu emisi yang terbuang ke atmosfer adalah semakin besar.

Faktanya, limbah kelapa masih memiliki kandungan gizi yang melimpah yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi. Kelapa mengandung nutrisi meliputi 11.31% air, 5.78% protein, 38.24% lemak, 23.77% karbohidrat, 5.92% abu dan 15.07% serat kasar[7]. Nutrisi tersebut akan terbuang menjadi gas methana yang terbuang ke atmosfer jika tidak diolah lebih lanjut. Salah satu upaya yang dilakukan untuk memanfaatkan nutrisi tersebut dan sekaligus mengurangi emisi gas methana ke udara adalah mengubahnya menjadi sumber energi yakni biogas. Biogas sendiri merupakan sumber energi terbarukan yang bersumber dari proses pembusukan biomassa atau bahan organik. Proses pembusukan tersebut menghasilkan gas methana yang memiliki sifat mudah terbakar, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi untuk bahan bakar, baik konsumsi rumah tangga sebagai bahan bakar di dapur, atau lebih jauh dikonversi menjadi energi listrik[8].

Beberapa penelitian terkait yang telah dilakukan sebelum ini telah meneliti terkait pemanfaatan limbah ampas kelapa menjadi sumber energi, antara lain penelitian[8] dengan tujuan menganalisis pengaruh penambahan ampas kelapa dan kulit pisang untuk meningkatkan produktivitas biogas dari kotoran sapi. Penelitian[9] juga meneliti dengan topik yang sama, dengan tujuan untuk menghasilkan produk biogas dari campuran kulit pisang, kotoran sapi dan limbah ampas kelapa dengan menggunakan alat bioreaktor anaerobik. Selain itu penelitian yang dilakukan oleh[10] juga membahas terkait pemanfaatan ampas kelapa untuk dijadikan sumber energi alternatif berupa biogas. Selain dimanfaatkan menjadi sumber energi berupa biogas, ampas kelapa juga dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi lain yaitu biodiesel. Penelitian[6] telah meneliti terkait pemanfaatan ampas kelapa sebagai biodiesel di Indonesia. Penelitian serupa juga dilakukan oleh[11], dalam penelitiannya, ampas kelapa yang ada diolah menjadi biodiesel dengan membandingkan beberapa variasi konsentrasi katalis berupa senyawa kalium hidroksida (KOH).

Selain biogas dan biodiesel, limbah ampas kelapa juga dapat dimanfaatkan menjadi sumber energi lain diantaranya seperti yang dilakukan oleh[12]. Dalam penelitian yang telah dilakukan, peneliti melakukan pemanfaatan ampas kelapa menjadi sumber energi baru berupa bioetanol dengan menggunakan metode *pretreatment autoclave*. Selain itu, limbah ampas kelapa juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar berupa

briket. Penelitian yang dilakukan oleh[5] meneliti terkait pemanfaatan ampas kelapa menjadi bahan baku pengolahan bio briket pada warga yang ada di Kelurahan Kalisari. Selain sebagai sumber energi ampas kelapa juga dapat dimanfaatkan lebih jauh untuk menyimpan energi yang ada melalui teknologi bio baterai. Penelitian yang dilakukan oleh[13] meneliti terkait potensi ampas kelapa dengan bantuan tomat busuk untuk dimanfaatkan menjadi bio baterai. Selain sebagai sumber energi, ampas kelapa juga banyak dimanfaatkan sebagai sumber bahan pangan bagi manusia, diantaranya diolah menjadi tepung serat tinggi dengan metode pengeringan beku vakum yang dilakukan oleh[14], sebagai sumber serat dengan menjadi bahan campuran nugget jamur tiram pada penelitian[15], menjadi bahan baku pembuatan kue[16] dan dimanfaatkan menjadi bahan baku pembuatan cereal seperti yang dilakukan oleh[17].

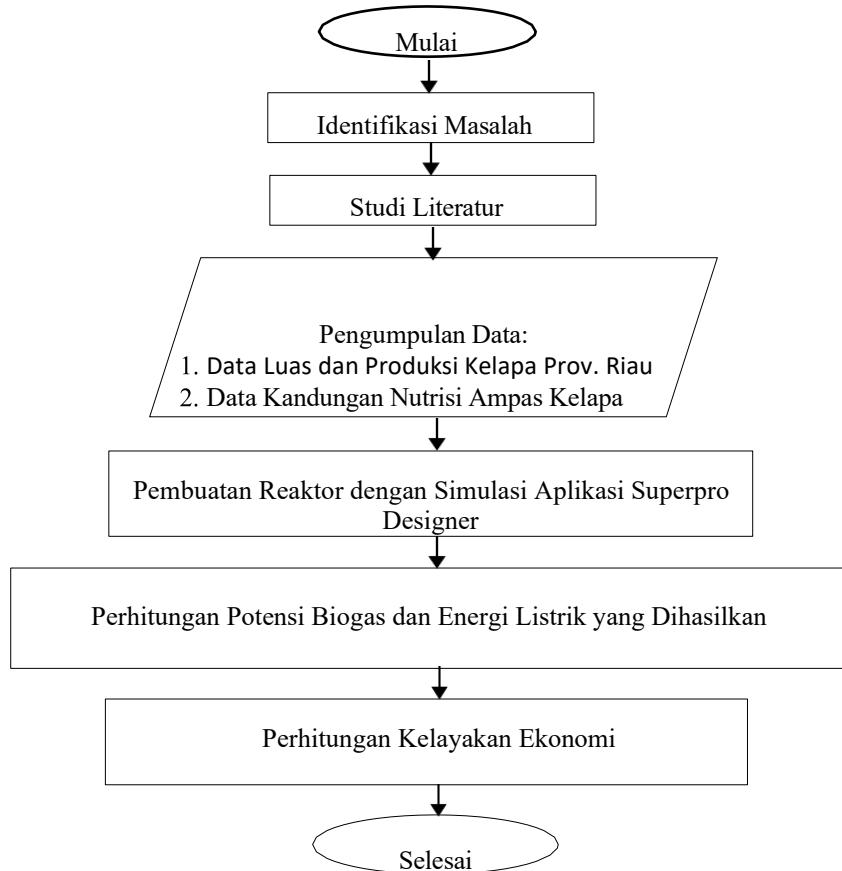
Dari penelitian yang telah dilakukan, masih belum ada penelitian yang bertujuan untuk mengkonversi energi yang dimiliki oleh limbah ampas kelapa untuk menjadi sumber energi listrik. Penelitian yang ada masih sebatas mengolah menjadi sumber energi primer berupa biogas, bio briket, bio diesel maupun bioetanol. Oleh karena itu, penelitian ini lebih jauh bertujuan untuk mengolah limbah ampas kelapa yang ada untuk dijadikan biogas yang akan dihitung potensi energi listriknya dengan metode perhitungan matematis. Biogas dipilih dibanding sumber energi lain seperti biodiesel, bioetanol ataupun biobriket karena dalam pengolahannya, biogas tergolong lebih mudah dari segi pengolahannya karena memanfaatkan metode pembusukan alami pada sumber biomassa yang ada yakni limbah ampas kelapa. Selain itu, dalam pengolahannya biogas tidak memerlukan katalis untuk mempercepat reaksi seperti halnya pada proses pembuatan biodiesel, ataupun memerlukan ragi untuk membangkitkan bakteri *saccharomyces cerevisiae* seperti pada pembuatan bioetanol. Biogas juga memiliki manfaat yang lebih luas, karena selain dapat dijadikan sebagai sumber energi listrik, biogas juga dapat dimanfaatkan menjadi bahan bakar untuk memasak pada skala rumah tangga.

Dalam penelitian ini, potensi biogas yang dapat diproduksi dari limbah ampas kelapa disimulasikan dengan menggunakan simulasi superpro dengan menggunakan metode respirasi anaerob dengan menggunakan reaktor *anaerobic digestion*. Metode respirasi anaerob merupakan metode ruang tertutup dengan oksigen atau udara terbatas yang tidak memungkinkan udara keluar dan masuk ke dalam tangki reaktor sehingga gas metana yang ada di dalam limbah biomassa berupa limbah ampas kelapa dapat terbentuk dengan baik. Dengan menggunakan simulasi superpro, diperoleh potensi gas metana yang kemudian disebut biogas dari limbah ampas kelapa untuk kemudian dapat dikonversi potensi energi listrik yang dapat diproduksi dari limbah ampas kelapa tersebut dengan menggunakan metode perhitungan matematis berdasarkan persamaan yang ada. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk menghitung potensi nilai ekonomis dari investasi yang akan dibangun yakni reaktor *anaerobic digestion* untuk pembuatan biogas dari limbah ampas kelapa, meliputi biaya investasi awal yang diperlukan untuk reaktor biogas ini dan juga jangka waktu pengembalian modal awal dari investasi yang direncanakan..

2. Metode Penelitian

Objek yang di teliti dalam penelitian ini merupakan limbah biomassa berupa ampas kelapa yang sudah tidak terpakai. Limbah ampas kelapa merupakan sisa dari pengolahan daging kelapa tua yang pada umumnya dimanfaatkan untuk menghasilkan santan kelapa. Jenis penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan menggunakan data sekunder data produksi kelapa yang bersumber dari data BPS[4]. Provinsi Riau telah memproduksi total 1.100 ton kelapa yang diperoleh dari total 1.450 Ha lahan kelapa yang tersebar di seluruh Provinsi Riau, sedangkan untuk data karakteristik kandungan nutrisi yang ada pada limbah ampas kelapa bersumber dari penelitian terkait yang telah dilakukan oleh[7]. Penelitian ini menguji tingkat kadar biogas yang dapat dibangkitkan dari limbah biomassa berupa ampas kelapa dengan tujuan akhir yakni mengukur kadar biogas yang dapat diproduksi, potensi energi listrik yang dapat dibangkitkan lengkap dengan periode balik modal untuk investasi biogas di Provinsi Riau. Penelitian ini mengambil studi kasus Provinsi Riau karena 3 hal, yakni besarnya produksi kelapa di Indonesia disumbang mayoritas oleh Provinsi Riau. Dengan besarnya produksi tersebut, serta diiringi dengan masifnya perusahaan pengolahan kelapa yang ada di Riau, berdampak pada semakin banyaknya limbah yang dihasilkan, yang dapat berdampak pada lingkungan, seperti ancaman penyakit atau bau yang tidak sedap yang dapat ditimbulkan dari tumpukan limbah ampas kelapa yang ada. Ketiga, Riau menjadi objek penelitian ini adalah sebagai bentuk sumber energi baru dan terbarukan alternatif yang dapat dimanfaatkan menjadi pemasok kebutuhan energi yang ada di Provinsi Riau. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode simulasi dengan reaktor *anaerobic digestion* yang disimulasikan pada aplikasi superpro designer.

Adapun tahapan langkah yang dilakukan dalam penelitian ini terdiri atas identifikasi masalah, studi literatur pengumpulan data, melakukan pembuatan reaktor dengan metode simulasi dengan menggunakan aplikasi superpro designer, melakukan perhitungan potensi biogas dan energi listrik, melakukan analisis biaya berupa periode pengembalian modal, serta diakhiri dengan penarikan kesimpulan.

Gambar 1. *Flowchart* Penelitian

A. Pengumpulan Data

Kelapa merupakan salah satu komoditi perkebunan unggulan di Indonesia. Total sampai tahun 2020, Indonesia telah mengekspor kurang lebih 18,9 juta ton kelapa ke seluruh dunia dan salah satu provinsi di Indonesia yang menyumbang produksi kelapa terbesar adalah Provinsi Riau. Pada tahun 2021, data BPS[4] menyebutkan bahwa pada tahun tersebut Provinsi Riau telah memproduksi total 1100 ton komoditi kelapa hibrida dengan produktivitas per hektarnya mencapai 781 Kg/Ha lahan yang diperoleh dari total 1450 Ha lahan yang tersebar di 12 kabupaten kota yang ada di Riau dengan data lengkap seperti pada tabel 1 berikut :

Tabel 1. Luas dan Produksi Kelapa Provinsi Riau 2021[4]

Komoditi	Jenis Perkebunan	Luas Tanaman (Ha)				Produksi (Ton)	Produktifitas (Kg/Ha)
		TBM	TM	TTR	Jumlah		
Kelapa	PBN	0	0	0	0	0	0
	PBS	3	1409	38	1450	1100	781
Jumlah		3	1409	38	1450	1100	781

Keterangan :

PBN = Perkebunan Besar Negara

PBS = Perkebunan Besar Swasta

TBM = Tanaman Belum Menghasilkan

TM = Tanaman Menghasilkan

TTR = Tanaman Tua Rusak

Limbah ampas kelapa merupakan limbah biomassa yang bersumber dari sisa pengolahan daging kelapa tua yang pada umumnya diperas untuk dimanfaatkan santannya. Serat daging kelapa sisa perasan pada umumnya menjadi limbah yang tidak diolah kembali dan dibuang langsung. Limbah ampas kelapa ini masih memiliki kandungan nutrisi yang melimpah, meliputi kandungan air, protein, lemak karbohidrat, serat kasar dan

kandungan lainnya. Adapun kandungan nutrisi yang masih terkandung dalam limbah ampas kelapa adalah seperti pada tabel 2 dibawah ini :

Tabel 2. Kandungan Nutrisi Ampas Kelapa[15]

No	Kandungan	Nilai (%)
1	Air	11,31
2	Protein Kasar	5,78
3	Lemak Kasar	38,24
4	Karbohidrat	23,77
5	Serat Kasar	5,92
6	Lain-lain	15,07
Total		100

Dengan mengacu pada penelitian[18], yang menyebutkan bahwa rata-rata berat 1 butir buah kelapa adalah 1,6 Kg, maka total pada tahun 2021, Provinsi Riau memproduksi 687500 butir kelapa. Dengan mengacu pada penelitian[15], bahwa setiap 100 butir kelapa menghasilkan ampas kelapa sebesar 19,5 Kg, maka total potensi limbah ampas kelapa yang dapat dihasilkan dari 1100 ton kelapa yang ada di Riau adalah sebesar 134062,5 Kg atau setara 134 ton. Data 134 ton limbah ampas kelapa ini yang kemudian menjadi masukan data untuk disimulasikan pada aplikasi superpro untuk memperoleh potensi biogas yang dapat dihasilkan dari limbah biomassa tersebut.

B. Pembuatan Reaktor dengan Simulasi Aplikasi Superpro Designer

Dalam penelitian ini, potensi biogas yang dapat dihasilkan dari limbah biomassa ampas kelapa diperoleh menggunakan metode simulasi dengan menggunakan reaktor *anaerobic digestion* yang ada pada aplikasi superpro designer. Adapun proses yang dilakukan dalam pembuatan simulasi adalah sebagai berikut[20]:

i. Menentukan Model Simulasi

Dalam aplikasi superpro menyediakan 2 jenis model, yakni batch dan continuous. Adapun model proses yang digunakan pada simulasi ini adalah model proses batch. Pemilihan ini dikarenakan fitur batch memungkinkan untuk melakukan perubahan pada penjadwalan proses simulasi saat simulasi sedang berjalan.

ii. Mendaftarkan Komponen Nutrisi dan Bahan Baku

Tahapan selanjutnya setelah menentukan model proses adalah mendaftarkan komponen kandungan murni dan bahan baku yang diolah pada aplikasi superpro. Adapun komponen yang dimasukkan merupakan kandungan nutrisi yang terkandung di dalam limbah ampas kelapa meliputi kandungan karbohidrat, lemak, protein, serat kasar dan air dengan kandungan masing-masing komponen seperti yang ditunjukkan pada bagian tabel 2.

iii. Pengolahan Limbah Biomassa Ampas Kelapa Menjadi Biogas

Pada tahapan ini dilakukan penyusunan reaktor yang digunakan untuk menghasilkan produk biogas dari limbah ampas kelapa. Selain itu pada tahapan ini dilakukan juga pengaturan parameter pada reaktor serta mengatur reaksi apa saja yang akan berlangsung pada reaktor tersebut. Tahapan ini merupakan tahapan kunci karena seluruh parameter dan pengaturan proses terjadi pada tahapan ini, sehingga memiliki pengaruh yang besar pada luaran simulasi yang diperoleh. Reaktor yang digunakan pada simulasi pengolahan bahan baku limbah biomassa ampas kelapa menjadi biogas ini adalah reaktor anaerobic digestion. Pada reaktor ini memungkinkan terjadinya reaksi dengan sistem terisolasi sehingga memungkinkan terjadinya proses fermentasi tanpa oksigen yang mampu menghasilkan produk utama berupa gas methana (CH_4) atau sering disebut dengan biogas dan produk samping berupa gas karbondioksida. Pada reaktor ini, masukan yang diinputkan ke dalam reaktor berupa limbah ampas kelapa yang diolah dengan metode fermentasi untuk menghasilkan produk akhir berupa biogas.

iv. Menjalankan Simulasi

Tahapan terakhir pada simulasi ini adalah menjalankan simulasi yang telah disusun dan dirancang serta diatur parameter terkait sebelumnya. Setelah simulasi yang dirancang selesai dan dijalankan, maka superpro akan menghasilkan luaran berupa potensi biogas dan produk samping berupa gas karbondioksida yang dihasilkan dari bahan baku limbah ampas kelapa yang telah diinputkan. Hasil

potensi biogas inilah yang kemudian dihitung dengan menggunakan persamaan matematis untuk memperoleh nilai potensi energi listrik yang dapat dibangkitkan dari biogas dengan bahan baku limbah biomassa ampas kelapa di Provinsi Riau.

C. Perhitungan Potensi Biogas dan Energi Listrik yang dihasilkan

Biogas juga memiliki gas-gas penyusun di dalamnya. Kandungan gas penyusun biogas ini beraneka ragam menyesuaikan dengan bahan baku biomassa yang diolah. Umumnya, biogas tersusun atas 3 unsur gas penyusun utama yakni gas methana (CH_4), karbondioksida (CO_2) dan hidrogen sulfida (H_2S). kandungan gas lain yang dimiliki seperti sulfur organik, senyawa hidrokarbon dan gas lainnya memiliki kandungan yang kecil dari 3 unsur penyusun gas utama tersebut. Adapun komposisi biogas lebih lengkapnya adalah seperti pada tabel 3 dibawah ini[22]:

Tabel 3 Komposisi Kandungan Biogas[22]

No	Kandungan	Presentase (%)
1	Methana	55-75
2	Karbondiaoksida	25-45
3	Nitrogen	0-0,3
4	Hidrogen	1-5
5	Hidrogen Sulfida	0-3
6	Oksigen	0,1-0,5

Sebagai gas yang memiliki sifat mudah terbakar, biogas juga memiliki nilai kalor pembakaran. Adapun spesifikasi nilai kalor untuk masing-masing gas adalah seperti pada tabel 4 berikut :

Tabel 4 Spesifikasi Kalor Biogas[22]

Komponen	High Heating Value		Low Heating Value	
	Kkal/m3	Kkal/Kg	Kkal/m3	Kkal/Kg
Hidrogen	2842,21	33903,61	2402,62	28661,13
Karbonmonoksida	2811,95	2414,31	2811,95	2414,31
Gas Methana	8851,43	13265,91	7973,13	11953,76
Netral Gas	9165,55	12943,7	8320,18	11749,33

Adapun reaksi pembentukan biogas dengan limbah biomassa ampas kelapa yang terjadi pada simulasi adalah seperti pada tabel 5 di bawah ini :

Tabel 5. Reaksi Simulasi Biogas[22]

No	Reaksi	Reaktan		Produk	
		Komponen	Koefisien Massa	Komponen	Koefisien Massa
1	Hidrolisis Karbohidrat	Karbohidrat Air	147,6 147,6	Glukosa	295,2
2	Hidrolisis Lemak	Lemak	147,6	Gliserol Oleic Acid	36,8447 110,7
3	Hidrolisis Protein	Protein	147,6	Crystine	147,6
4	Asidogenesis Crystine	Crystine	164,16	Lactic Acid Propionic Acid	90,08 74,08
5	Asidogenesis Oleic Acid	Oleic Acid	0,6875	Acetic Acid Butyric Acid Ethyl Alcohol	1 1 1
6	Asidogenesis Glukosa	Glukosa	106,122	Acetic Acid Ethyl Alcohol	60,05 46,09
7	Asidogenesis Gliserol	Gliserol	0,8044	Propionic Acid	1

8	Asetogenesis Ethyl Alcohol	Ethyl Alcohol	62,0729	Acetic Acid Hydrogen	60,05 2,0199
9	Asetogenesis Lactic Acid	Lactic Acid	90,0788	Acetic Acid CO2 H	60,05 28,009 2,016
10	Asetogenesis Butyric Acid	Nutyric Acid	88,106	Acetic Acid CO2	60,05 28,053
11	Asetogenesis Propionic Acid	Propionic Acid	74,08	Acetic Acid CO2 H	60,05 12,011 2,016
12	Metanogenesis Acetic Acid	Acetic Acid	60,053	CO2 CH3	30 30,05
13	Metanogenesis Karbondioksida	CO2 H	1 1	CH3 Air	1,74 1

Dalam perhitungan matematis untuk mencari nilai potensi energi listrik yang dapat dibangkitkan dari biogas dengan bahan baku limbah biomassa ampas kelapa dapat menggunakan persamaan 1 seperti dibawah ini[25]:

$$\text{Energi Listrik} = \text{Volumetric Flow} \times \text{LHV}$$

Dimana :

Waktu Operasi = Lama generator set beroperasi (h)
 Volumetric Flow = Laju aliran volume biogas (m³/day)
 Low Heating Value = Nilai kalor rendah (kkal/m³)

D. Perhitungan Kelayakan Ekonomi

Adapun untuk analisis biaya yang dilakukan pada penelitian ini adalah analisis jangka periode pengembalian modal dari investasi yang dilakukan. Periode pengembalian modal dapat dihitung dengan mengkalkulasikan waktu yang diperlukan saat arus kas masuk sama dengan total arus keluar seperti pada persamaan 2 berikut[25]:

$$K_{(PBP)} = \frac{\text{Investasi}}{\text{Annual Benefit}} \times \text{Periode Waktu}$$

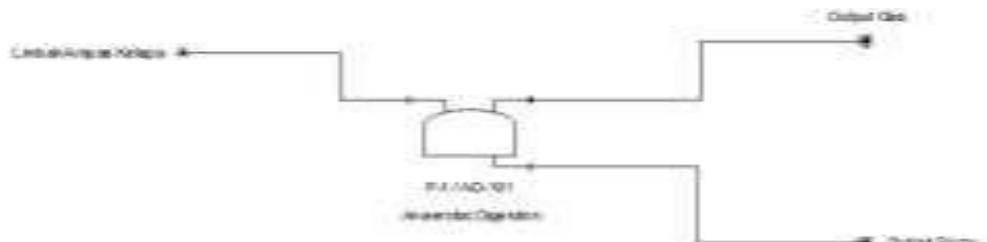
Dimana :

K = Lama Pengembalian Modal Investasi = Modal Awal
 Annual Benefit = Keuntungan Tahunan Periode Waktu = Satuan Waktu

3. Hasil dan Pembahasan

A. Perhitungan Potensi Biogas Limbah Ampas Kelapa

Adapun simulasi reaktor biogas yang dirancang adalah seperti pada gambar dibawah ini :



Gambar 1. Simulasi Reaktor Biogas

Gambar 1 di atas merupakan simulasi rektor biogas dengan menggunakan aplikasi superpro designer. Pada simulasi di atas, tangki reaktor yang digunakan untuk memproduksi biogas menggunakan jenis tangki anaerobic digestion. Dengan menggunakan tangki ini memungkinkan untuk melakukan proses pembusukan limbah biomassa ampas kelapa untuk menghasilkan gas methana yang kemudian disebut biogas. Proses pembusukan dilakukan dengan sistem terisolasi dimana di dalam tangki tidak memungkinkan terjadinya transfer energi dan oksigen dari sistem ke lingkungan ataupun sebaliknya. Dengan menggunakan metode ini,

memungkinkan produksi gas methana yang dihasilkan akan lebih optimal. Dalam alur simulasi di atas, limbah biomassa berupa ampas kelapa dimasukkan melalui inlet di bagian atas reaktor anaerobic digestion.

Setelah limbah masuk ke dalam reaktor, terjadi beberapa proses pembentukan biogas meliputi proses hidrolisis, asidogenesis dan metanogenesis untuk kemudian menghasilkan produk utama berupa biogas. Biogas yang dihasilkan dari reaktor anaerobic digestion kemudian akan dikeluarkan melalui outlet gas di bagian atas dengan keterangan output gas. Gas yang dihasilkan berupa gas utama yakni gas methana sebagai biogas dan gas samping berupa karbondioksida, sedangkan produk samping berupa sisa pembusukan yakni *slurry*, akan di keluarkan melalui outlet di bawah. *Slurry* ini dapat dimanfaatkan kemudian untuk dijadikan sebagai pupuk penyubur tanaman.

Adapun input masukan dalam simulasi ini adalah limbah ampas kelapa yang ada di Provinsi Riau dengan total massa 134 ton. Limbah ampas kelapa ini diperoleh dengan metode perhitungan berdasarkan penelitian [15], dimana pada setiap 100 butir kelapa dapat menghasilkan limbah ampas kelapa sebanyak 19,5 Kg. Dengan berdasarkan data BPS, bahwa pada tahun 2021, Provinsi Riau memproduksi 1100 Ton kelapa dengan berat rata-rata masing-masing kelapa adalah 1,6 Kg/butir, maka total terdapat 687500 butir kelapa yang akan menghasilkan limbah ampas kelapa sebanyak 134062,5 Kg atau setara 134 ton.

Dari 134 ton ampas kelapa tersebut kemudian disimulasikan dengan menggunakan aplikasi superpro designer untuk memperoleh nilai potensi biogas yang dapat dihasilkan. Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, produksi biogas dan produk samping dari limbah biomassa ampas kelapa yang dijadikan bahan baku adalah seperti pada tabel 6 berikut :

Tabel 6. Hasil Produksi Biogas Simulasi Superpro Designer

No	Produksi Biogas	Nilai (m ³)
1	Produksi per jam	1934,5
2	Produksi per hari	46427,9
3	Produksi per minggu	324995,8
4	Produksi per bulan	1392839,2
5	Produksi per tahun	15321231,9

Tabel di atas merupakan produksi biogas dari inputan berupa limbah biomassa ampas kelapa di Provinsi Riau. Dari total limbah yang dimasukkan sebanyak 134 ton, dihasilkan produksi biogas per jam sampai per tahun dengan nilai seperti pada tabel di atas. Dari simulasi yang telah dilakukan, diperoleh nilai rata-rata biogas yang mampu diproduksi dari limbah biomassa ampas kelapa setiap jam nya adalah sebesar 1934,5m³. Jika dirincikan lebih lanjut terkait keluaran gas yang diproduksi dari hasil simulasi, diperoleh kandungan untuk output gas dari simulasi adalah seperti pada tabel 7 berikut:

Tabel 7. Kandungan Biogas

No	Kandungan Gas	Nilai (%)
1	Methana	79,6
2	Karbondioksida	20,4
	Total	100

Tabel di atas merupakan kandungan masing- masing gas yang dihasilkan dari reaktor anaerobic digestion untuk memproduksi biogas. Dari limbah ampas kelapa yang dimasukkan, dihasilkan biogas dengan kandungan persentase gas methana sebesar 79,6% dengan sisanya yakni karbondioksida berjumlah 20,4%. Besarnya biogas yang dihasilkan dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya jenis bakteri yang digunakan, nilai derajat keasaman, suhu dan rasio kadar gas karbon dan nitrogen yang dimiliki oleh bahan baku. Hasil keluaran biogas dari simulasi yang dilakukan juga menunjukkan hasil optimal, dimana kadar gas methana yang diproduksi adalah 79,6%, mendekati 80%. Hal tersebut dapat dicapai karena dalam simulasi ini, suhu raktor diatur dalam suhu optimum yakni 32-38 derajat celcius dengan derajat keasaman 6,8-8.

B. Perhitungan Potensi Energi Listrik Limbah Ampas Kelapa

Dengan berdasarkan pada penelitian[22], diketahui bahwa nilai kalor LHV yang dimiliki oleh biogas adalah sebesar 7973,13 kkal/m³. Jika diketahui potensi biogas yang dapat dihasilkan dari limbah ampas kelapa untuk masing-masing waktu baik per jam sampai per tahun adalah sesuai pada tabel 6, maka potensi energi listrik

yang dapat dibangkitkan dari limbah biomassa ampas kelapa per jam dapat dihitung dengan menggunakan persamaan matematis (1) seperti di bawah ini :

$$\begin{aligned}
 \text{Energi Listrik} &= \text{Volumetric Flow} \times \text{LHV} \\
 &= 1934,5 \text{ m}^3 \times 7973,13 \text{ kkal/m}^3 \\
 &= 15424020 \text{ kkal}
 \end{aligned}$$

Jika energi tersebut dikonversi dalam satuan kWh dengan cara konversi dengan dikali 0,00116 maka potensi energi listrik dalam kWh yang dapat dibangkitkan dari biogas dengan bahan baku limbah ampas kelapa adalah sebesar 17926,13 kWh. Dengan menggunakan metode dan persamaan matematis yang sama, maka untuk masing-masing produksi biogas per satuan waktu baik per hari sampai per tahun dapat dilihat bahwa energi listrik yang dapat dibangkitkan adalah seperti pada tabel 8 dibawah ini:

Tabel 8. Potensi Biogas dan Energi Listrik Per Satuan Waktu

No	Produksi Biogas	Biogas (m ³)	Potensi Energi Listrik (kWh)
1	Produksi per jam	1934,5	17.926,13
2	Produksi per hari	46427,9	429403,8
3	Produksi per minggu	324995,8	3005831,16
4	Produksi per bulan	1392839,2	12882132,2
5	Produksi per tahun	15321231,9	141703473

Tabel di atas merupakan potensi energi listrik yang dapat dibangkitkan dari biogas yang bersumber dari bahan baku limbah ampas kelapa. Dari tabel dapat dianalisis bahwa setiap per jam, bahan baku biomassa ampas kelapa dapat menghasilkan biogas sebesar 1934,5 m³ yang mampu membangkitkan energi sebesar 17926,13 kWh setiap jam nya. Superpro juga memberikan hasil keluaran berupa keluaran biogas dalam satuan waktu hari, minggu, bulan dan tahun, sehingga dapat dikalkulasikan bahwa dalam total 1 tahun, biogas yang dapat diproduksi dari limbah ampas kelapa adalah sebesar 15321231,9 m³ yang mampu membangkitkan energi listrik sebesar 141703473 kWh atau setara 141703,4 MWh.

C. Perhitungan Kelayakan Ekonomi

Selain mampu memodelkan sistem secara keseluruhan, superpro juga menyediakan analisis ekonomi dari simulasi yang telah dilakukan. Analisis ekonomi yang disediakan oleh superpro mencakup keseluruhan biaya total investasi mencakup biaya pekerjaan dan pengadaan alat, biaya pembangunan dan juga operasional saat investasi tersebut sedang berjalan. Adapun lebih lengkap analisis ekonomi yang disediakan oleh superpro adalah seperti pada tabel 9 dibawah ini:

Tabel 9 Analisis Biaya Investasi

No	Biaya	Nilai
1	Biaya Total Pembangkit Langsung (Biaya Fisik)	
	a. Biaya pengadaan digester dan accessories	2483000
	b. Instrumentasi	993000
	c. Elektrikal	248000
	d. Insulasi	74000
	Sub Total	3798000
2	Biaya Tidak Langsung	
	a. Biaya engineering	1849000
	b. Biaya konstruksi	2589000
	Sub Total	4438000
	Total	8236000

Dari analisis biaya yang telah disediakan oleh aplikasi superpro seperti ditunjukkan pada tabel 9 di atas, dapat dianalisis bahwa dari segi investasi, total biaya yang dibutuhkan untuk membuat sebuah reaktor biogas dengan bahan baku limbah ampas kelapa adalah sebesar \$ 8237000. Nilai tersebut jika dikonversi dalam kurs rupiah pada tanggal 23 Januari 2024 adalah sebesar Rp 129546593800 terbilang seratus dua puluh sembilan miliar lima ratus empat puluh enam juta lima ratus sembilan puluh tiga ribu delapan ratus rupiah (dengan kurs \$ 1 =

Rp.15727,4). Untuk menghitung periode pengembalian modal, maka perlu dihitung keuntungan harga jual dari listrik yang dapat dibangkitkan dari limbah biomassa ampas kelapa.

Dengan berdasarkan kepada penelitian yang telah dilakukan oleh[25], bahwa harga setiap 1 kWh listrik adalah Rp 1500, maka keuntungan harga jual dari listrik yang dibangkitkan dari limbah biomassa ampas kelapa per tahunnya dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\text{Pendapatan} &= \text{Harga jual} \quad \times \text{Potensi listrik/thn} \\ &= \text{Rp 1500} \quad \times 141703473 \text{ kWh} \\ &= \text{Rp 212555209500}\end{aligned}$$

Jika dalam simulasi superpro, biaya operasional reaktor tahunan adalah sebesar \$ 3117000 atau setara dengan Rp 49022305800. Maka keuntungan dapat dihitung dengan rumus :

$$\begin{aligned}\text{Keuntungan} &= \text{Pendapatan} - \text{Biaya operasional} \\ &= \text{Rp 212555209500} - \text{Rp 49022305800} \\ &= \text{Rp 163532903700}\end{aligned}$$

Maka dapat dianalisis bahwa keuntungan tahunan yang dapat dihasilkan dari listrik biogas limbah biomassa ampas kelapa adalah sebesar Rp 163532903700. Jika dilakukan analisis rasio B/C untuk menentukan bahwa apakah investasi ini bernilai layak atau tidak untuk dilanjutkan, dengan cara membagi antara keuntungan dengan total biaya investasi maka rasio B/C dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Rasio B/C} &= \text{Keuntungan} / \text{Biaya Investasi} \\ &= 163532903700 / 129546593800.0 \\ &= 1,26\end{aligned}$$

Dari perhitungan diperoleh bahwa nilai rasio B/C dari investasi biogas limbah ampas kelapa memiliki nilai 1,26. Dengan berdasarkan bahwa jika rasio B/C memiliki nilai lebih dari 1, atau $\text{rasio B/C} > 1$, maka investasi ini dapat disimpulkan sebagai investasi yang layak dan menguntungkan karena memiliki nilai keuntungan per tahun yang lebih tinggi dibanding biaya investasi yang dikeluarkan di awal pembangunan. Hal kemudian yang perlu dianalisis setelah investasi ini layak karena memiliki nilai keuntungan yang lebih dari biaya investasi awal yang dikeluarkan adalah menghitung jangka waktu periode pengembalian modal. Dengan menggunakan persamaan (2), periode pengembalian modal dapat dihitung dengan perhitungan berikut:

$$\begin{aligned}K &= \frac{\text{Biaya Investasi}}{\text{Keuntungan Tahunan}} \times \text{Periode Waktu} \\ &= \frac{129546593800}{163532903700} \times 12 \text{ Bulan} \\ &= 9,6 \text{ Bulan}\end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas dapat disimpulkan bahwa investasi biogas limbah ampas kelapa ini akan mengalami periode pengembalian modal dalam waktu 9,6 bulan atau 292 hari.

D. Pembahasan Potensi Biogas dan Energi Listrik serta Kelayakan Ekonomi

Hasil simulasi menunjukkan volume produksi biogas yang relatif tinggi dengan kandungan metana mencapai sekitar 79,6%, yang secara teoritis termasuk kategori kualitas biogas yang baik. Berdasarkan kandungan metana tersebut, penulis kemudian mengkonversi energi kimia biogas menjadi potensi energi listrik tahunan dan menyimpulkan bahwa sistem memiliki potensi produksi listrik yang besar. Selain itu, analisis ekonomi yang disajikan menunjukkan nilai benefit-cost ratio (B/C) di atas satu serta payback period yang relatif singkat, sehingga secara umum sistem dinyatakan layak secara ekonomi.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa total potensi limbah ampas kelapa yang ada di Provinsi Riau pada tahun 2021 adalah sebesar 134 Ton. Nilai tersebut berasal dari total produksi kelapa pada tahun yang sama sebesar 1100 ton. Limbah ampas kelapa tersebut dapat diolah menjadi biogas dengan volume biogas per jam nya sebesar 1934,5 m³ dengan total produksi biogas tahunan dari limbah ampas kelapa tersebut mencapai 153212319 m³. Dari potensi biogas yang ada, biogas tersebut dapat diolah menjadi sumber energi listrik dengan potensi energi yang dapat dibangkitkan sebesar 17926,13 kWh per jam nya yang jika diakumulasikan dalam setahun, energi listrik yang dapat dibangkitkan sebesar 141703473 kWh. Potensi energi tersebut memiliki nilai investasi yang menguntungkan. Hal ini dibuktikan dengan potensi pendapatan yang dapat diperoleh setiap tahunnya dari potensi listrik biogas tersebut yang mencapai Rp 212555209500 dengan

total keuntungan mencapai Rp 163532903700. Dengan keuntungan tersebut diperoleh rasio B/C dengan nilai 1,26 yang menandakan investasi tersebut layak dan menguntungkan untuk dilanjutkan. Selain itu, dengan keuntungan tersebut, total biaya investasi awal dari reaktor biogas dari limbah ampas kelapa ini juga dijangka akan balik modal dalam waktu yang singkat yakni 9,6 bulan atau 292 hari.

5. Referensi

- [1] N. Fauzana, A. A. Pertiwi, and N. Ilmiyah, "Etnobotani Kelapa (*Cocos nucifera L.*) di Desa Sungai Kupang Kecamatan Kandangan Kabupaten Hulu Sungai Selatan," *Al Kawnu Sci. Local Wisdom J.*, vol. 1, no. 1, pp. 45– 56, 2021, doi: 10.18592/ak.v1i1.5073.
- [2] E. Kriswiyanti, "Keanekaragaman Karakter Tanaman Kelapa (*Cocos nucifera L.*) Yang Digunakan Sebagai Bahan Upacara Padudusan Agung," *J. Biol.*, vol. 17, no. 1, pp. 15–19, 2014.
- [3] I. Andhika*, R. Pambudy, and Ratna Winandi, "DAYA SAING PRODUK KELAPA INDONESIA DI NEGARA TUJUAN COMPETITIVENESS OF INDONESIAN COCONUT PRODUCTS IN THE DESTINATION COUNTRIES," *J.Ekon. Pertan. dan Agribisnis*, vol. 6, pp. 1632–1643, 2022.
- [4] R. Y. Riwan, "Statistik Perkebunan Provinsi Riau Tahun 2020," pp. 1–104, 2021, [Online]. Available: [https://disbun.riau.go.id/artikel/buku- statistik-perkebunan](https://disbun.riau.go.id/artikel/buku-statistik-perkebunan)
- [5] S. Handayani, A. T.W., and S. P. Astuti, "Pemanfaatan Ampas Kelapa Sebagai Bahan Briket Pada Warga Kelurahan Kalisari," *J. PkM Pengabdi. Kpd. Masy.*, vol. 4, no. 5, p. 530, 2021, doi:10.30998/jurnalpkm.v4i5.8784.
- [6] I. W. K. Suryawan, A. D. Nastiti, N. H. Putri, A. A. Marwan, A. N. Khairan, and A. Sarwono, "Potensi Pemanfaatan Ampas Kelapa Sebagai Biodiesel di Indonesia," *Media Ilm. Tek. Lingkung.*, vol. 7, no. 1, pp. 9–17, 2022, doi: 10.33084/mitl.v7i1.2718.
- [7] J. Laksono et al., "Nilai Nutrisi Ampas Kelapa (*Cocos nucifera L.*) Yang Di Fermentasi Menggunakan *Aspergillus niger* Dengan Waktu Berbeda Sebagai Ransum Ternak Unggas (Nutritional Value of Coconut Pulp (*Cocos nuciferaL.*) Fermented Using *Aspergillus niger* At Different Times," vol. 9, no. 1, pp. 42–48, 2023.
- [8] A. Fairuz, A. Haryanto, and A. Tusi, "Pengaruh Penambahan Ampas Kelapa Dan Kulit Pisang Terhadap Produksi Biogas Dari Kotoran Sapi Effect of Addition Coconut Pulp and Banana Peel on Production Biogas From Cow Manure," *J. Tek. Pertan. Lampung*, vol. 4, no. 2, pp. 91–98, 2015.
- [9] C. Wulandari and Q. Labiba, "Pembuatan Biogas Dari Campuran Kulit Pisang Dan Kotoran Sapi Menggunakan Bioreaktor Anaerobik," *Inst. Teknol. Sepuluh Nop.*, pp. 6–15, 2017.
- [10] Khairidir, "Pengolahan limbah pertanian sebagai bahan bakar alternatif," *J. Agrium*, vol. 13, no. 2, pp. 63–68, 2016.
- [11] Khairidir, Nasruddin, and D. Syahputra, "Pengolahan Ampas Kelapa Dalam Menjadi Biodiesel pada Beberapa Variasi Konsentrasi Katalis Kalium Hidroksida (KOH)," *J. Samudera*, vol. 9, no. 2, pp. 78–92, 2015.
- [12] F. Junianti, "Bidang: Teknik Kimia Mineral Topik: Rekayasa dan Perancangan Proses Teknik Kimia PRODUKSI BIOETANOL DARI AMPAS KELAPA MELALUI PRETREATMENT AUTOCLAVE," pp. 415–419, 2021.
- [13] M. ABIDIN*, A. F. HAFIDH, M. WIDYANINGSIH, M. YUSUF, DAN, and A. MURNIATI, "PEMBUATAN BIOBATERAI BERBASIS AMPAS KELAPA DAN TOMAT BUSUK," *al-Kimiya*, vol. 7, no. 1, pp. 28–34, 2020.
- [14] I. Purnamasari et al., "Pembuatan Tepung Serat Tinggi Dari Ampas Kelapa (*Cocos Nucifera*) Dengan Metode Pengeringan Beku Vakum Production of High Fiber Flour From Coconut Dregs By Vacuum Freeze Drying," *J. Kinet.*, vol. 12, no. 01, pp. 45–50, 2021, [Online]. Available: <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/ind ex45>
- [15] M. F. Putri, "Pemanfaatan Tepung Ampas Kelapa sebagai Sumber Serat Pangan dan Aplikasinya pada Nugget Jamur Tiram," *JKKP (Jurnal Kesejaht. Kel. dan Pendidikan)*, vol. 4, no. 02, pp. 77–85, 2017, doi: 10.21009/jkjp.042.05.
- [16] E. N. Wardani, I. M. Sugitha, and I. D. P. K. Pratiwi, "Pemanfaatan Ampas Kelapa Sebagai Bahan Pangan Sumber Serat Dalam Pembuatan Cookies Ubi Jalar Ungu," *J. Ilmu dan Teknol. Pangan*, vol. 5, no. 2, pp. 162–170, 2016.

- [17] N. F. Sabilla and E. S. Murtini, "Pemanfaatan Tepung Ampas Kelapa Dalam Pembuatan Flakes Cereal (Kajian Proporsi Tepung Ampas Kelapa: Tepung Beras)," *J. Teknol. Pertan.*, vol. 21, no. 3, pp. 155–164, 2020, doi: 10.21776/ub.jtp.2020.021.03.2.
- [18] U. Palu, "Kajian teknologi produksi asap cair dari sabut kelapa," vol. 2, no. 2, pp. 104–109, 2009.
- [19] E. Y. Setiawan and M. Jelita, "Potensi Listrik Dari Bioetanol Nira Kelapa Sawit Limbah Replanting Studi Kasus PT Duta Palma Nusantara PKS Kuko , Kabupaten Kuantan," vol. 19, no. 2, pp. 340–349, 2022.
- [20] A. Wahyudi and M. Jelita, "Analisis Potensi Energi Listrik dan Biaya Limbah Rumen Sapi Rumah Potong Hewan Kota Pekanbaru," *JTEV (Jurnal Tek. Elektro dan Vokasional)*, vol. 8, no. 2, p. 263, 2022, doi: 10.24036/jtev.v8i2.117622.
- [21] M. Megawati, "PENGARUH PENAMBAHAN EM4 (Effective Microorganism-4) PADA PEMBUATAN BIOGAS DARI ECENG GONDOK DAN RUMEN SAPI," *J. Bahan Alam Terbarukan*, vol. 3, no. 2, pp. 42–49, 2014, doi: 10.15294/jbat.v3i2.3696.
- [22] L. Kiagus Ahmad Roni, *KIMIA ORGANIK*, 1st ed. Palembang: Noer Fikri Offset, 2021.
- [23] Nurjannah, L. Ifa, F. Jaya, and M. Lamo, "Produksi Bahan Bakar Gas Biomassa dari Limbah Organik Industri (Molases)," *Primordia*, vol. 12, no. 2, pp. 87–94, 2016.