



*Utilisation Of Cassava Peel Waste Into Bioethanol Fuel
(Case Study : Pika Cassava Chips Business in Pekanbaru City)*

**Pemanfaatan Limbah Kulit Singkong Menjadi Bahan Bakar Bioethanol
(Studi Kasus : Usaha Keripik Singkong Pika Kota Pekanbaru)**

Nabila Meitri Mugandi^{1*}, Marhama Jelita²

^{1,2}Teknik Elektro, UIN Sultan Syarif Kasim Riau, Indonesia

Corresponden E-Mail: ¹11950521619@students.uin-suska.ac.id, ²marhamajelita@uin-suska.ac.id

*Makalah: Diterima 03 May 2023; Diperbaiki 30 May 2023; Disetujui 01 June 2023
Corresponding Author: Nabila Meitri Mugandi*

Abstrak

UKSP adalah salah satu usaha yang mengolah keripik dari singkong sebanyak 200-300 kg menghasilkan limbah padat kulit singkong 30-45 kg. Limbah tersebut hanya dibuang begitu saja tanpa adanya proses lebih lanjut sehingga mengakibatkan kerusakan lingkungan dan menghasilkan bau busuk. Penelitian ini memanfaatkan limbah kulit singkong menjadi bioethanol dengan menggunakan metode fermentasi dan destilasi. Perhitungan energi listrik dan biaya penghematan pada kajian ini dengan melakukan perbandingan E0, E10 dan listrik PLN. Potensi bioethanol dari 30 kg limbah kulit singkong sebesar 5,3280 L/h dengan kemurnian mencapai 99,9917%. Potensi energi listrik yang dihasilkan menggunakan E0 mencapai 47,34 kWh, sedangkan E10 yakni 46,89 kWh, dan listrik PLN 1,8 kWh. Pengeluaran biaya bahan bakar E0 Rp. 44.4400,00 untuk E10 Rp 33.000,00 dan listrik PLN Rp. 24.336,00. Hasil perbandingan antara E0 dan E10 tersebut digunakan apabila tarif listrik mengalami kenaikan dimasa yang akan datang sehingga bioethanol dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif untuk UKSP. Berdasarkan hasil yang diperoleh maka E10 adalah bahan bakar campuran efisien yang layak digunakan. Dalam analisis biaya, total investasi dalam pemanfaatan kulit singkong sebesar Rp. 3.668.895 dan potensi penghematan pertahunnya mencapai Rp. 5.259.024. Jangka waktu pengembalian modal adalah selama 0,70 tahun.

Kata Kunci: Bahan Bakar, Bioethanol, Limbah Singkong, Listrik, Superpro

Abstract

UKSP is a business that produces 200-300 kg of cassava chips, resulting in 30-45 kg of cassava peel solid waste. The waste is simply thrown away without further processing, causing environmental damage and producing a foul odour. This research utilises cassava peel waste into bioethanol using fermentation and distillation methods. The calculation of electrical energy and cost savings in this study compares E0, E10 and PLN electricity. Bioethanol potential from 30 kg of cassava peel waste is 5.3280 L/h with a purity of 99.9917%. The potential electrical energy generated using E0 reaches 47.34 kWh, while E10 is 46.89 kWh, and PLN electricity is 1.8 kWh. The fuel cost of E0 was IDR 44,4400 for E10 was IDR 33,000 and PLN electricity was IDR 24,336. The results of the comparison between E0 and E10 are used if electricity tariffs increase in the future so that bioethanol can be utilised as alternative energy for UKSP. Based on the results obtained, E10 is an efficient fuel blend that is feasible to use. In the cost analysis, the total investment in cassava peel utilisation is IDR 3,668,895 and the potential savings per year reaches IDR 5,259,024. The pay-back period is 0.70 years.

Keyword: Fuel, Bioethanol, Cassava Waste, Electricity, Superpro

1. Pendahuluan

Tanaman singkong cocok dibudidayakan di Indonesia karena memiliki iklim yang mendukung. Menurut data Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2020, produksi singkong di Indonesia tercatat 18,48 juta ton [1]. Dalam hal ini produksi singkong di Indonesia meningkat sekitar 13,07% dibandingkan dengan tahun sebelumnya sebesar 16,35 juta ton. Provinsi Riau menjadi salah satu tempat produksi singkong terbesar di Indonesia sekitar 13% tiap tahunnya [2]. Berdasarkan BPS Provinsi Riau 2020 dengan jumlah sebesar 103.599 ton/tahun, sehingga diperkirakan produksi singkong sebanyak 203.417 ton/tahun pada tahun 2021. Riau juga telah mengimpor singkong sebanyak 40.000 ton untuk kebutuhan industri pulp and paper, selain itu juga singkong merupakan bahan makanan pokok yang murah dan mudah didapatkan, terutama di Tenayan Raya, Pekanbaru [2][3]. Tenayan Raya, Pekanbaru memiliki Usaha Mikro Kecil Menengah (UMKM) yang memproduksi singkong dengan jumlah 20 [4]. Pada penelitian ini peneliti mengambil di salah satu UMKM yakni di Usaha Keripik Singkong Pika (UKSP).

UKSP Kota Tenayan Raya merupakan salah satu tempat produksi olahan singkong. UKSP juga merupakan badan usaha yang dimiliki perorangan memenuhi kriteria sebagai usaha mikro (UMKM). Berlokasi di jalan Lintas timur km 15 gang selindung, Kec Tenayan Raya Kota Pekanbaru memiliki luas 551 m² [5]. Berdasarkan wawancara dengan Ibu Desmawati selaku pemilik UKSP Tenayan Raya, usaha ini memproduksi keripik dan stick singkong. Biasanya dalam sehari dapat memproduksi singkong sebesar 200-300 kg dan perkiraan limbah kulit singkong yang dihasilkan yakni berkisar 30-45 kg [6]. Limbah yang diperoleh berupa limbah padat yakni kulit singkong. Berdasarkan hasil wawancara dan observasi langsung Bersama Ibu Desmawati selaku pemilik UKSP Tenayan Raya, limbah kulit singkong biasanya sering dibuang begitu saja tanpa ada proses lebih lanjut [7]. Limbah kulit singkong yang terbuang terletak begitu saja di sekitaran tempat produksi yang dapat merugikan lingkungan dan menghasilkan bau busuk. Jika limbah dibiarkan maka akan memberikan dampak negatif terhadap kesehatan [8]. Padahal limbah singkong ini dapat dimanfaatkan menjadi bahan baku ethanol, dimana ethanol ini merupakan salah satu bahan bakar minyak nabati yang ramah lingkungan. Oleh karena itu jika memanfaatkan limbah singkong, dapat mengurangi penggunaan listrik dari PLN [9][10].

UKSP kota Pekanbaru dalam memproduksi olahan singkong, memerlukan suplai listrik yang bersumber dari PLN dengan daya 900 VA dengan biaya listrik perbulan nya yakni Rp. 250.000,00 dan memiliki sumber cadangan dari genset. Genset tersebut memakai bahan bakar pertalite. Ada juga kebutuhan listrik lain seperti setrika, kipas angin, TV, dll menggunakan listrik dengan daya 900 VA [5]. Harga bahan bakar pertalite pada tahun ini tercatat Rp. 10.000 sedangkan pada tahun kemarin yaitu Rp. 7.650 [11]. Untuk meringankan biaya bahan bakar genset tersebut dibutuhkan campuran ethanol mengingat harga bahan bakar saat ini yang kian meningkat dan makin langka kedepannya [12].

Dengan mencampurkan bensin dan alkohol maka kebutuhan pemakaian bensin akan berkurang. Ethanol digunakan sebagai campuran bensin ethanol karena memiliki sifat yang cukup baik dan memiliki nilai kalor yang cukup besar [13]. Dasar pencampuran bensin dari ethanol ialah dapat mengurangi tingkat kerusakan pada mesin karena menggunakan E10 [13]. Penambahan ethanol dalam bensin dapat meningkatkan efisiensi dimana penambahan 10% ethanol dalam bensin memiliki efisiensi tertinggi untuk segala kondisi pengujian pada mesin motor. Sedangkan menurut [14] jikalau menggunakan ethanol diatas 10% harus modifikasi mesin tersebut.

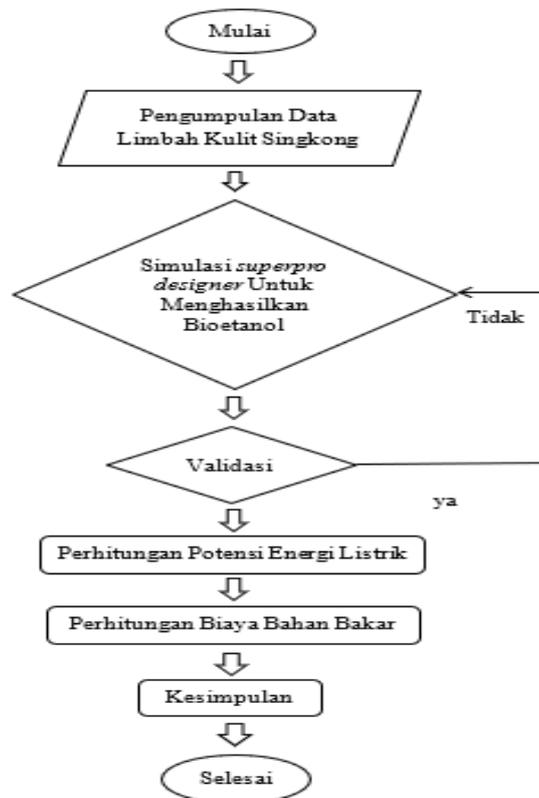
Penelitian terkait tentang pemanfaatan limbah singkong sudah beberapa kali diteliti sebelumnya. Penelitian [15] yakni tentang limbah kulit singkong menggunakan metode hidrolisa dan fermentasi dengan bantuan *Saccharomyces Cerevisiae*. Penelitian [2] bertujuan agar mengetahui potensi listrik yang dihasilkan oleh bioethanol berbahan dasar limbah singkong untuk meminimalisir pemakaian bahan bakar fosil dengan metode *biochemical conversion*. Penelitian [16] penelitian bioethanol dari bahan baku kulit singkong dilihat dari pengaruh konsentrasi enzim silanase dan jumlah ragi. Penelitian ini menggunakan metode sakarifikasi dan fermentasi dengan dua variabel. Penelitian [17] penelitian tersebut dilakukan untuk mengetahui efektivitas proses pretreatment dan hidrolisa agar dapat mengkonversi lignoselulosa yang terkandung didalam kulit singkong menjadi bentuk gula sederhana. Penelitian [18] penelitian ini memiliki tujuan agar memastikan kandungan ethanol dari fermentasi kulit singkong yang dihasilkan. Penelitian [19] yang bertujuan untuk menguji potensi bioethanol nira kelapa sawit agar dapat mencukupi beban listrik pabrik memakai metode fermentasi dan destilasi pada simulasi *Superpro* kemudian dibandingkan efisiensi dan pengeluaran biaya.

Berdasarkan penelitian terkait yang telah dilakukan, penelitian [15], penelitian [16], penelitian [17], dan penelitian [18] hanya mengkaji tentang potensi limbah kulit singkong menjadi bahan bakar bioethanol. Kemudian pada penelitian [2] hanya mengkaji tentang potensi limbah kulit singkong menjadi bahan bakar

bioethanol [19] mengkaji tentang nira kelapa sawit menjadi potensi energi listrik dengan membandingkan persentase bahan bakar untuk genset. Pengaruh konsentrasi enzim silanase yang digunakan dalam penelitian ini berbanding lurus terhadap kadar ethanol yang dihasilkan, sehingga semakin besar enzim yang digunakan semakin besar pula kadar ethanol yang dihasilkan. Pemberian jumlah ragi *saccharomyces cerevisiae* 10% menghasilkan kadar ethanol yang lebih tinggi dibandingkan dengan jumlah ragi 5%, dengan proses fermentasi selama 96 jam dan jumlah nutrisi yang mencukupi selama proses fermentasi. Penelitian ini merupakan gabungan dari penelitian [2] dan penelitian [19], yang dimana kajian potensi bahan bakar bioethanol dengan memanfaatkan limbah kulit singkong menjadi energi listrik merujuk pada penelitian [2]. Selanjutnya, kajian potensi bahan bakar bioethanol menjadi energi listrik merujuk pada penelitian [19] dengan cara mengambil campuran ethanol yang paling terbaik dari referensi sebelumnya [19] untuk bahan bakar genset yang digunakan untuk menghasilkan listrik.

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan yakni untuk menghitung potensi bioethanol yang dihasilkan limbah kulit singkong, potensi energi listrik bioethanol kulit singkong, dan pengeluaran konsumsi bahan bakar dari genset yang digunakan. Untuk mengetahui potensi bioethanol tersebut dapat memakai metode fermentasi dan destilasi serta bantuan simulasi dari aplikasi *superpro designer* untuk mendapatkan nilai *volumetric flow*. Lalu, untuk mengetahui potensi energi listrik yang dihasilkan dengan cara mengambil campuran ethanol yang paling terbaik dari referensi sebelumnya [19] karena pada referensi ini sudah membandingkan beberapa kadar ethanol dan ethanol yang terbaik adalah E10, di E10 inilah yang nantinya digunakan sebagai perhitungan matematis pada penelitian ini untuk mencari nilai TFC, SFC, dan efisiensi. Pada penelitian sebelumnya tidak ada mengkaji sampai aspek biaya seperti investasi dan *pay back*, kemudian penelitian ini untuk kajian teknisnya akan melakukan perhitungan perbandingan menggunakan E0, E10 dan PLN. Penelitian ini juga mengkaji biaya energi listriknya dengan persamaan yang akan dijabarkan pada metode penelitian. Setelah hasil bioethanol didapatkan barulah dapat menemukan nilai potensi energi listrik yang dihasilkan dan terakhir melakukan analisis biaya seperti investasi, dan *pay back*. Studi kasus yang digunakan juga berbeda dengan penelitian sebelumnya, dimana penelitian [2] hanya menggunakan data sekunder, sedangkan pada penelitian ini memakai data primer dengan melakukan wawancara langsung kepada pihak produksi UKSP. Sehingga bioethanol tersebut dapat dimanfaatkan menjadi bahan bakar genset untuk memenuhi kebutuhan listrik dan juga dapat mengurangi biaya pengeluaran konsumsi bahan bakar genset yang digunakan pada UKSP Tenayan Raya, Pekanbaru.

2. Metode



Gambar 1. Flowchart Penelitian

Hasil dari penelitian ini adalah menghitung potensi bioethanol, energi listrik, dan biaya bahan bakar limbah kulit singkong menggunakan metode fermentasi dan destilasi dengan bantuan aplikasi superpro designer untuk menghasilkan bioethanol. Dimana hasil potensi bioethanol dari limbah kulit singkong dikonversi menjadi energi listrik dan menghitung pengeluaran biaya bahan bakar dengan perbandingan E0, E10 dan PLN.

2.1 Pengumpulan Data

Pada UKSP Tenayan Raya, Pekanbaru merupakan tempat olahan keripik singkong dalam proses pengolahan tersebut terdapat limbah yakni kulit singkong. Dalam sehari dapat menghasilkan limbah sebanyak 30 kg. Tabel 1 berikut menunjukkan jumlah olahan dan limbah yang dihasilkan.

Tabel 1. Data Hasil Produksi Singkong Uksp Tenayan Raya, Pekanbaru

No	Parameter	Jumlah
1	Berat Singkong	200 – 300 Kg per hari
2	Limbah Kulit Singkong	30 – 45 Kg
3	Waktu Operasional UKSP	08.00 – 17.00 WIB

Tabel 2. Data Beban Listrik Uksp Tenayan Raya, Pekanbaru

No	Peralatan Listrik	Waktu Aktif	Daya	Jumlah	Total Energi Listrik
1	Lampu Led 1	8 jam	8 Watt	3	192 Wh
2	lampu Led 2	8 jam	10 Watt	5	400 Wh
3	Lampu Led 3	8 jam	20 Watt	6	960 Wh
4	Kipas Angin	8 jam	50 Watt	2	800 Wh
5	Mesin Cuci	1 jam	300 Watt	1	300 Wh
6	Kulkas	24 jam	70 Watt	1	1680 Wh
7	TV	8 jam	55 Watt	1	440 Wh
8	Setrika	2 jam	350 Watt	1	700 Wh
9	Mesin Air	2 jam	125 Watt	1	250 Wh
10	Mesin Potong	8 jam	105 Watt	1	840 Wh
11	Rice cooker	1 jam	350 Watt	1	350 Wh
				Total =	6,5 kWh

2.2 Parameter Proses

Parameter yang digunakan dalam proses pengolahan ini adalah parameter pendukung untuk menjalankan simulasi agar menghasilkan bioethanol. Limbah kulit singkong memiliki kadar pati yang cukup tinggi dan gula atau selulosa yang dapat dimanfaatkan dalam proses pembuatan bahan bakar alternatif.

Tabel 3. Kandungan Limbah Kulit Singkong

No	Komposisi Kulit Singkong	Kadar
1	Amilopektin	48,35%
2	Amilosa	17,88%
3	Lemak	2,62%
4	Protein	17,72%
5	Air	9,84%
6	Imp	3,59%

Tabel 4. Data Perbandingan Nilai *Low Heating Value* Berbagai Jenis Bahan Bakar

No	Bahan Bakar	Kadar (BTU/gal)
1	Gasoline (E0)	115.400
2	Gasoline (E10)	114.300

Tabel 5. Nilai Karakteristik Bahan Bakar Campuran

<i>Fuel Comptsumtion By Volume</i>	LHV (kJ/Kg)	Densitas (g/cm ³)
0% ethanol + 100% gasoline	43.340	0,7150
10% ethanol + 90% gasoline	41.381,95	0,7154

2.3 Simulasi Superpro Designer Menghasilkan Bioethanol

1. Alur pembuatan bioethanol limbah kulit singkong dengan superpro designer

Potensi limbah kulit singkong menjadi bioethanol dapat menggunakan metode fermentasi dan destilasi yang dibantu dengan aplikasi superpro designer. Adapun tabel simulasi aplikasi ini terlihat di tabel 6.

Tabel 6. Proses Simulasi Aplikasi *Superpro Designer*

No	Tahapan	Penjelasan
1	Penentuan Mode Proses	Mode proses yang dilakukan pada penelitian ini adalah dilakukan setelah penentuan komponen murni. Dalam aplikasi <i>superpro</i> ada <i>batch</i> dan <i>continuos</i> . Adapun proses yang digunakan pada simulasi ini yaitu proses <i>batch</i> . <i>Scheduling</i> juga menggunakan metode manual dan dibuat pada saat pengaturan awal aplikasi ini
2	Pengisian Komponen Murni dan Stock Mixture	Memasukan jenis komponen yang direaksikan lalu apa saja nilai output yang diperoleh dari simulasi ini
3	Proses Pengolahan Bahan Dasar Menjadi Bioethanol	Pada tahapan ini memilih jenis – jenis <i>reactor</i> yang dibutuhkan dan melakukan penginputan parameter tiap <i>reactor</i>
4	Solve / Run	Menjalankan simulasi agar memperoleh hasil yang diperlukan

2. Penentuan Mode Proses

Dalam proses pembentukan bioethanol dengan *Software Superpro* memiliki beberapa tahapan mode proses yang digunakan merupakan proses yang dilakukan setelah penentuan nilai komponen murni. Mode proses yang digunakan pada penelitian ini yakni mode *batch* dengan waktu sesuai ketentuan dari aplikasi *superpro* yaitu 336 hari atau 8064 jam. Alasan memilih mode tersebut dikarenakan penjadwalan nya dapat diubah saat produksi berlangsung.

3. Pengisian pure component dan stock mixture

Komponen ini terdiri atas *pure components* dan *stock mixtures*. *Pure components* adalah komponen yang bereaksi selama simulasi, sedangkan *stock mixtures* merupakan komponen yang diolah selama simulasi.

4. Proses Pembuatan bahan dasar menjadi bioethanol

Pada tahapan ini akan melakukan pengolahan bahan baku yang dimana akan menghasilkan ethanol dan air melalui proses kimia. Tahapan ini akan dijelaskan dalam tabel 7.

Tabel 7. Proses Reaktor Pada Aplikasi *Superpro Designer*

No	Tahapan	Penjelasan
1	Tahap Penggilingan	a. <i>Mixing</i> , untuk mencampurkan antara air dengan ampas singkong b. <i>Transport (near)</i> untuk memindahkan dan menghubungkan <i>mixing</i> dengan <i>grinding</i> c. Kandungan yang digunakan dalam proses reaktor ini sesuai dengan tabel 3
2	Tahap Hidrolisis	<i>Reaktor</i> , unit reaksi yang menggambarkan stoikiometri yang terjadi di <i>stirred – jacketed vessel</i> dan bekerja pada mode <i>batch</i>
3	Tahap Fermentasi	<i>Fermentor</i> , unit reaksi yang menggambarkan stoikiometri yang terjadi di <i>stirred – jacketed vessel</i> dan bekerja pada <i>continiously</i> atau <i>semicontiniously</i>)
4	Tahap Destilasi	a. <i>Distillation, fraksinasi multi-stage</i> berdasarkan perbedaan <i>volatility</i> menggunakan <i>model short-cut</i> b. <i>Storage</i> , berfungsi sebagai tempat penampung komponen yang dihasilkan c. <i>Heat excenger</i> , menaikkan suhu menggunakan <i>heat transfer agent</i>

2.4 Validasi Hasil Simulasi

Validasi dalam penelitian ini yaitu membandingkan penelitian yang juga mempunyai topik pemanfaatan limbah singkong dengan simulasi aplikasi *superpro designer* untuk menghitung potensi bioethanol yang dihasilkan.

Tabel 8. Validasi Simulasi Limbah Kulit Singkong Menggunakan Superpro

No	Parameter	Penelitian [2]	Validasi
1	Bahan Dasar	Limbah Singkong	Limbah Singkong
2	Komposisi	Amilopektin 48,35%, Amilosa 17,88%, Lemak 2,62%, Protein 17,72%, Air 9,84%, dan Imp 3,59%	Amilopektin 48,35%, Amilosa 17,88%, Lemak 2,62%, Protein 17,72%, Air 9,84%, dan Imp 3,59%
3	Nilai Input	2054,6 kg/hari	2054,6 kg/hari
4	Nilai Output	1596,0140	1613,1304

Dari tabel 8 didapatkan hasil validasi simulasi yang merujuk pada penelitian [2] yang diketahui menggunakan bahan baku limbah singkong dan kandungan yang sama dan nilai input yang dimasukkan juga sama yakni 2054,6 Kg. Hasil dari simulasi penelitian ini menunjukkan bioethanol dengan nilai output pada referensi [2] menunjukkan sebesar 1596,0140 L/h dan hasil simulasi pada penelitian ini menghasilkan 1613,1304 L/h. Dari hasil selisih perbandingan validasi kadar bioethanol ini dikatakan bahwa nilai error nya 1%, penelitian yang dilakukan valid karena nilai error nya dibawah 10% dan sudah sesuai dengan penelitian yang menjadi referensi di simulasi tersebut. Jika dibandingkan dengan simulasi yang dilakukan, pada penelitian [15] Pemberian jumlah ragi *saccharomyces cerevisiae* 10% menghasilkan kadar ethanol yang lebih tinggi dibandingkan dengan jumlah ragi 5% dengan proses fermentasi selama 96 jam. Sedangkan menggunakan simulasi dengan penambahan ragi *saccharomyces cerevisiae* yang digunakan sebanyak 0,9% dari berat komponen yang masuk. Proses ini akan dijadwalkan selama 1 jam proses simulasi. Jadi simulasi menggunakan aplikasi *superpro designer* akan mempercepat proses fermentasi untuk mengkonversi gula menjadi ethanol daripada melakukan eksperimen langsung yang membutuhkan waktu lebih lama lagi.

2.5 Analisis Teknis

2.5.1 Perhitungan Potensi Energi Listrik

Adapun perhitungan matematis nya, sebagai berikut :

1. Potensi Energi Listrik

Agar mengetahui waktu operasi genset perhari, dapat memakai persamaan 1 dibawah ini :

$$\text{waktu operasi} = \frac{\text{volumetric flow} \times \text{mass comp ethanol}}{\text{konsumsi bahan bakar}} \quad (2.1)$$

Dengan :

Waktu operasi	: Waktu operasi genset yang didapatkan (h)
Volumetric Flow	: Laju aliran ethanol hasil simulasi (L/h)
Mass comp ethanol	: Persentase dari hasil <i>volumetric flow</i> (%)
Konsumsi bahan bakar genset	: Total konsumsi bahan bakar 100% load (L/h)

Perhitungan potensi energi listrik memakai persamaan 2 :

$$\text{Energi Listrik} = \text{Volumetric flow} \times \text{LHV} \quad (2.2)$$

Energi listrik	: Energi <i>output</i> yang dihasilkan sumber biomassa (kWh)
Volumetric Flow	: Laju Aliran Volume (Gal)
Low Heating Value (LHV)	: Kalor saat air dan hidrogen dalam fasa uap (BTU/Gal) (1 BTU/Gal = 0,000293071 kWh)

2. Menghitung Nilai TFC dan SFC

Untuk menghitung total konsumsi bahan bakar dengan kadar ethanol terbaik yakni E10 dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\text{TFC} = \frac{m.p.3600}{1000.T} \quad (2.3)$$

Dengan :

TFC	: Perbandingan total konsumsi bahan bakar pada periode tertentu (kg/h)
m	: <i>fuel burrete reading</i> (cc)
rho	= Densitas (gr/cc)
T	= <i>Time Taken</i> (s)

$$SFC = \frac{TFC}{P} \quad (2.4)$$

Dengan :

SFC : Rasio perbandingan antara *TFC* dan daya yang dihasilkan (kg/kWh)

TFC : Perbandingan total konsumsi bahan bakar pada periode tertentu (kg/h)

P : Daya keluaran genset (kW)

3. Menghitung Nilai Efisiensi

Setelah mendapatkan nilai *TFC* dan *SFC*, barulah menghitung nilai efisiensi dengan rumus berikut :

$$\text{Efisiensi} = \frac{3600.P}{TFC.LHV} \times 100\% \quad (2.5)$$

Dengan :

TFC : Perbandingan total konsumsi bahan bakar pada periode tertentu (kg/h)

LHV : Kalor saat air dan hidrogen dalam fasa uap (kJ/kg)

P : Daya keluaran genset (kW)

4. Menghitung Pengeluaran Biaya untuk Bahan Bakar

Berdasarkan pada *TFC* yang diperoleh, lalu dapat melakukan perhitungan memakai persamaan berikut :

$$\text{Pengeluaran} = \text{Total konsumsi BB} \times \text{waktu operasi} \times \text{harga BB} \quad (2.6)$$

Dengan :

Konsumsi BB : *TFC* (l /hr)

Waktu operasi : Waktu Produksi UKSP (12 jam)

Harga BB : Harga bahan bakar yang digunakan (Rp)

2.6 Analisis Ekonomi

2.6.1 Pengertian *Cost Benefit Analysis*

Analisis biaya manfaat adalah suatu alat analisis dengan prosedur yang sistematis untuk membandingkan serangkaian biaya dan manfaat yang relevan dengan sebuah usaha. Tujuan yang ingin dicapai adalah membandingkan kedua nilai manakah yang lebih besar sehingga dapat mempertimbangkan kelanjutan suatu rencana usaha yang telah berjalan [20].

2.6.2 Biaya (*Cost*)

1. Biaya *Benefit*

Biaya *benefit* didapat dari hasil penjumlahan keuntungan melakukan pencampuran bahan bakar E10 dari sisi kelistrikan dan sisi BB pertalite. Biasanya nilai *benefit* ini dihitung dalam pertahun atau 12 bulan.

2. Biaya Investasi atau Modal

Biaya investasi ini didapat jika bahan bakar pertalite diganti menjadi bahan bakar bioethanol estimasi biaya tersebut ditentukan dari komponen yang digunakan oleh UKSP Tenayan Raya, Pekanbaru.

3. Biaya *Operational & Maintenance (O&M)*

Biaya O&M pada setiap umumnya diperhitungkan sebesar 1-2% dari total investasi awal. Berdasarkan acuan diatas maka persentasi dari biaya O&M ini adalah sebesar 2%. Penentuan 2% ini berdasarkan kondisi Indonesia yang mengalami 2 musim penghujan dan musim kemarau.

5. Menghitung Aspek Biaya

Adapun menghitung biaya investasi untuk pembelian peralatan yang digunakan UKSP.

$$\text{Biaya pemakaian listrik perbulan} = \text{kWh} \times \text{TDL} \quad (2.7)$$

kWh : Total konsumsi daya listrik

TDL : Tarif dasar listrik (Sesuai Golongan)

Selanjutnya, setelah menghitung biaya pemakaian listrik perbulan maka menghitung biaya pemakaian bahan bakar pertalite perbulan nya dengan rumus :

$$\text{Biaya pemakaian pertalite perbulan} = \text{liter/bulan} \times \text{harga bensin} \quad (2.8)$$

2.6 *Payback Period (Periode Pengembalian)*

Analisis *payback period* dihitung dengan cara menghitung waktu yang diperlukan pada saat total arus kas masuk sama dengan total arus kas keluar. Dari hasil analisis *payback period* ini nantinya alternatif akan dipilih adalah periode pengembalian lebih singkat. Perhitungan *payback period* perlu dilakukan agar jangka

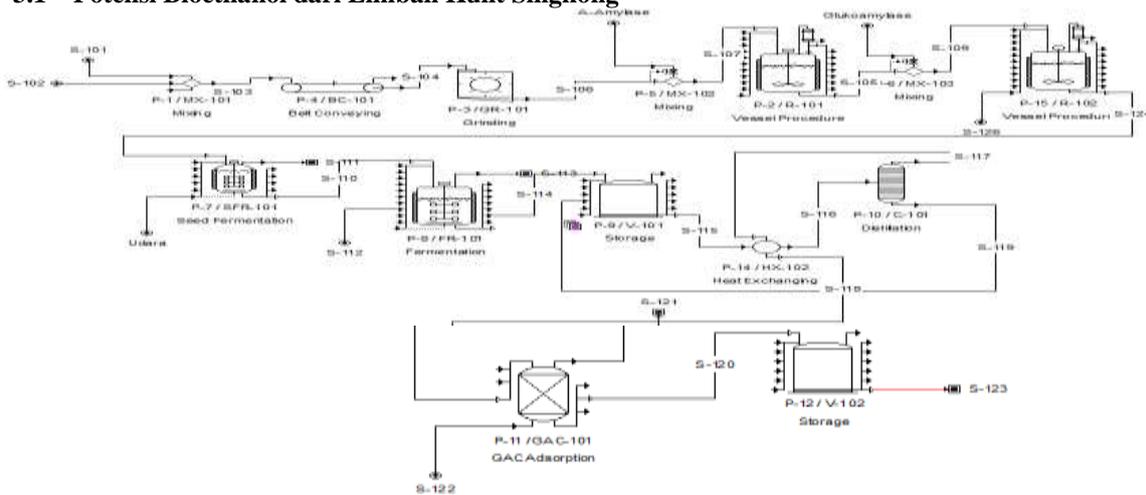
waktu pengembalian dana dari suatu investasi dapat diketahui karena semakin cepat pengembalian dana dari suatu investasi yang dilakukan maka semakin sedikit pula resiko kerugian yang di alami [21][22].

$$K_{(PBP)} = \frac{\text{Investasi}}{\text{Annual Benefit}} \times \text{Periode Waktu} \tag{2.9}$$

- K : periode pengembalian
- Investasi : modal awal
- Annual bebefit : keuntungan Tahunan
- Periode waktu : satuan waktu

3. Analisis dan Pembahasan

3.1 Potensi Bioethanol dari Limbah Kulit Singkong



Gambar 2. Single Line Diagram Proses Bioethanol dari Kulit Singkong

Pada gambar diatas merupakan alur proses menggunakan aplikasi *superpro designer*. Pertama, pada tahap *mixing* campurkan bahan baku (limbah kulit singkong) sebanyak 30 kg dengan air. Setelah itu, masuk ke tahap *belt conveying* yang berfungsi untuk memindahkan dari hasil *mixing* menuju ke tahap *grinding*. Di tahap *grinding* terjadi proses penggilingan, tujuan dari proses ini agar ampas singkong menjadi lebih halus dan mempercepat proses hidrolisis. Lalu masuk ke tahap *mixing* dengan mencampurkan kandungan *amylase* tersebut dan direaksikan dalam *vessel procedure* yang mengubah emilosa menjadi matosa. Lalu di tahap *vessel procedure 2* terjadi sakarifikasi awal dengan penambahan *glukoamylase* sebagai katalis maltosa dan dextrin menjadi glukosa. Selama tahap sakarifikasi awal ini, Vessel Reactor liquifikasi akan mengalir ke reaktor batch sakarifikasi dengan penambahan glukoamilase. Tujuan penambahan glukoamilase adalah untuk mempercepat reaksi kimia pada tahap sakarifikasi awal. Lanjut di tahap *seed fermentation* terjadi proses perubahan senyawa glukosa dengan penambahan ragi dan pada tahap *fermentation* terjadi reaksi perubahan glukosa tersebut menjadi ethyl alkohol atau ethanol. Setelah itu, masuk ke tahap pemisahan serat komponen awal disimpan pada storage yang kemudian akan dialirkan ke *heat exchange*. Cairan inilah yang kemudian akan disuling lagi oleh destilator berfungsi agar dapat memisahkan kandungan serat dan air menjadi ethanol.

Tabel 9. Kadar Limbah Kulit Singkong

No	Parameter	Hasil
1	Volume Limbah Kulit Singkong	30 kg/h
2	<i>Volumetric Flow</i>	5,3280 L/h
3	Kadar Bioethanol	99,9917% Ethanol, 0,0083% Air

Hasil simulasi aplikasi *Superpro Designer* dengan limbah singkong sebanyak 30 Kg perhari dapat menghasilkan bioethanol dengan *Volumetric Flow* sebesar 5,3280 L/h dengan 99,9917% Ethanol, 0,0083% Air. Jika kadar ethanol yang dihasilkan mencapai standar >99,5%, maka bioethanol tersebut dapat dijadikan sebagai bahan bakar. Jikalau dibandingkan dengan penelitian [2] nilai *volumetric flow* nya lebih besar diperoleh yaitu berkisar 1596,014 L/h, hal ini disebabkan karena limbah yang dihasilkan sebesar 2.054,6 Kg/h. Ini artinya, makin besar limbah singkong yang dihasilkan maka makin besar pula nilai *volumetric flow* yang ditampilkan pada aplikasi *Superpro Designer*. Hal ini dipengaruhi oleh penambahan A-amilase pada tahap pencairan dan glukoamilase di tahap sakarifikasi awal, sehingga mempercepat laju reaksi,

menghasilkan kadar glukosa 33,3% dan menghasilkan ethanol >95%. Komponen lain yang terlibat dalam produksi ethanol adalah 283,6 kg NPK yang ditambahkan per jam selama penyulingan [23][24][25]

3.2 Potensi Energi Listrik Dari Bioethanol

Dalam menghitung potensi energi listrik, harus memilih kapasitas generator set. Genset yang digunakan yakni genset bermerk Firman. Berdasarkan kapabilitas energi listrik UKSP kota Pekanbaru dan jumlah potensi bioethanol yang dibentuk, maka perincian genset yang digunakan seperti pada Tabel 10.

Tabel 10. Spesifikasi Genset Bioethanol

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Manufaktur	Firman
2	Daya Output (kW)	1
3	Konsumsi Bahan Bakar 100% Load (L/h)	0,75
4	Volume Bahan Bakar	87 CC

Setelah mengetahui spesifikasi dari genset yang akan dimanfaatkan sebagai pembangkit, tahap berikutnya adalah melakukan perhitungan potensi listrik dari limbah kulit singkong dengan menggunakan persamaan 2.1 sampai persamaan 2.5

Tabel 11. Hasil Potensi Energi Listrik Bioethanol Limbah Kulit Singkong

No.	Parameter	E10	E0	PLN
1.	Energi Listrik	46,89 kWh	47,34 kWh	1,8 kWh
2.	TFC	0,31 L/h	0,30 L/h	-
3.	SFC	0,32 L/kWh	0,29 L/kWh	-
4.	Efisiensi	34,79%	34,61%	-

Dari data diatas diketahui bahwa limbah kulit singkong yang digunakan sebanyak 30 kg perhari dapat menghidupkan genset selama 7 jam dengan menghasilkan potensi energi listrik untuk asumsi bahan bakar ethanol 10% atau E10 menjadi 46,89 kWh, dengan menggunakan rumus yang sama di bagian metode penelitian untuk E0 menghasilkan potensi energi listrik sebesar 47,34 kWh. Untuk dapat digunakan bahan bakar sebaiknya melakukan pencampuran dengan *gasoline*, jikalau dilihat dari potensi energi listrik yang dihasilkan maka E10 lebih efisien ketimbang E0 karena pada referensi [19] nilai LHV E10 lebih besar daripada E100 yang mana semakin tinggi nilai kadar ethanol semakin rendah nilai LHV yang mengakibatkan mesin lebih lambat untuk mencapai titik panas yang maksimal dan banyak menghabiskan bahan bakar sehingga mengurangi nilai efisiensinya. Kemudian kelebihan dari E10 ini yaitu menyesuaikan standar mesin genset karena tidak perlu adanya modifikasi genset dan tidak dianjurkan diatas 15% ethanol, sehingga dapat dijadikan bahan bakar utama pengganti bensin untuk menyalakan genset agar dapat mencukupi beban UKSP Tenayan Raya, Pekanbaru. Alasan mengapa energi listrik untuk E10 dan E0 lebih besar nilainya daripada PLN hal ini dikarenakan pada perhitungan matematisnya menggunakan nilai LHV dan *volumetric flow* sedangkan untuk listrik PLN hanya menggunakan alat – alat untuk memproduksi keripik singkong.

Nilai TFC untuk E10 sebesar 0,31 L/h sedangkan nilai TFC E0 yaitu 0,30 L/h diketahui bahwa konsumsi bahan bakar campuran lebih tinggi daripada konsumsi bensin murni. Konsumsi bahan bakar yang tinggi dikarenakan titik beku yang rendah dari bahan bakar campuran, yang mengkonsumsi lebih banyak bahan bakar daripada bensin yang lebih cepat panas [19]. Nilai konsumsi bahan bakar spesifik tipe E0 lebih kecil dibandingkan bensin 90% atau E10, karena jika data dibagian metode penelitian digunakan dengan persamaan 3, nilai konsumsi bahan bakar spesifik E0 hanya 0,29 L/kWh.

Nilai efisiensi dari bahan bakar E0 sebesar 34,61% jika dilihat pada tabel diatas nilai efisiensi E0 lebih rendah dibanding dengan efisiensi bahan bakar E10. Hal ini dapat diantisipasi dengan pencampuran bensin 90% dan menjadikan campuran bahan bakar jenis E10 dengan campuran tersebut mampu memiliki nilai efisiensi lebih tinggi dan masih dapat dinaikkan dengan menambahkan konsentrasi ethanol. Maka dari itu bioethanol dapat menjadi sumber energi yang dapat diolah untuk bahan bakar genset agar menghasilkan listrik.

3.3 Biaya Bahan Bakar

Tabel 12. Hasil Pengeluaran Biaya Untuk Bahan Bakar

No	Parameter	Hasil
1	E0	Rp. 44.400,00
2	E10	Rp. 33.000,00
3	Listrik PLN	Rp. 24.336,00

Diketahui pada bahan bakar E0 atau *gasoline* murni mempunyai biaya pengeluaran paling tinggi dibandingkan dengan *gasoline* pada bahan bakar campuran sebesar Rp. 44.400,00 sedangkan untuk listrik PLN mencapai Rp. 24.336,00. Nilai – nilai ini didapat melalui persamaan rumus (6) yang ada dibagian metode penelitian. Tingginya pengeluaran biaya konsumsi ini disebabkan karena bahan bakar *gasoline* murni tidak memiliki bahan campuran yang dapat mengurangi komposisinya, sehingga pemakaian bahan bakar campuran bioethanol dapat meminimalisir pengeluaran biaya untuk *gasoline* murni. Hasil dari listrik PLN lebih murah daripada E0 dan E10 dikarenakan menggunakan harga PLN perharinya saja untuk perhitungan matematis, harga listrik PLN perharinya Rp. 1.352,00 [26] dan harga tersebut sewaktu – waktu dapat naik dikarenakan termasuk golongan non – subsidi. Berdasarkan referensi [27] pada 5 tahun sebelumnya tidak ada terjadi kenaikan tarif listrik namun menurut pertimbangan kementerian ESDM kenaikan tarif non – subsidi ini rencana nya akan diterapkan dan diberlakukan tepatnya tanggal 1 April 2023 mendatang [28]. Alasan mengapa kenaikan listrik tersebut dilakukan karena kementerian ESDM masih mengkaji dan juga memilah konsumen untuk menentukan kebijakan tarif non - subsidi, termasuk meningkatkan tarif listrik di masa yang akan datang [29]. Maka dari itu, perlu adanya penggunaan bioethanol ini agar limbah hasil produksi keripik singkong dapat dimanfaatkan dan juga dapat mengurangi pengeluaran biaya apabila suatu saat nanti akan terjadi kenaikan listrik yang melonjak. Dengan beberapa hasil perhitungan yang telah didapatkan terbukti bahwa bioethanol limbah kulit singkong ini dapat dijadikan sumber energi alternatif pengganti BBM dan listrik yang semakin mahal untuk usaha keripik singkong pika (UKSP).

3.4 Aspek Biaya

Tabel 13. Perbandingan Dari Sisi Kelistrikan Dan Sisi Bahan Bakar Peralite

No.	Parameter	E10 (per bulan)	E0 (per bulan)
1.	Listrik	Rp. 1.901.858,4	Rp. 1.920.110,4
2.	Bahan Bakar	Rp. 900.000	Rp. 1.320.000

Berdasarkan perhitungan didapatkan bahwa jika menggunakan E0 maka biaya listrik yang dikeluarkan per bulan nya sebesar Rp. 1.920.110,4 dan setelah melakukan pencampuran ethanol 10% biaya yang dikeluarkan untuk tagihan listrik per bulan nya menjadi berkurang yakni Rp. 1.901.858,4. Jadi, biaya yang dapat dihemat dan potensi penghematan menggunakan ethanol adalah sebesar Rp. 18.252. Dari perhitungan yang diperoleh bahwa sebelum melakukan pergantian ke bahan bakar campuran E10 biaya BB genset UKSP Tenayan Raya, Pekanbaru perbulan adalah Rp. 1.320.000 dan setelah melakukan pergantian ke E10 maka biaya yang dikeluarkan untuk bahan bakar pertalite menjadi Rp. 900.000. Jadi, potensi penghematan menggunakan bahan bakar campuran E10 sebesar Rp. 420.000.

Agar pemakaian listrik dan bahan bakar bisa lebih efisien daripada yang sebelumnya maka dilakukan pencampuran bahan bakar ethanol dengan kadar 10% agar dapat mengurangi biaya tagihan listrik. Dengan demikian *benefit* yang didapat jika melakukan pencampuran E10 dari sisi kelistrikan adalah sebesar sebesar Rp. 18.252 dan sisi BB pertalite adalah sebesar Rp. 420.000, sehingga total penghematan potensi atau *benefit* yang didapatkan adalah sebesar Rp. 438.252.

Tabel 14. Estimasi Biaya Komponen Yang Digunakan

No	Nama Peralatan	Spesifikasi	Harga Satuan	Harga
1	Mesin Potong	105 kW	Rp. 595.000	Rp. 595.000
2	Genset Firman	1 kW	Rp. 3.000.000	Rp. 3.000.000
3	Bahan Bakar Bioethanol	5 Liter	Rp. 14.779	Rp. 73.895
			Total Investasi	Rp. 3.668.895

Total biaya diatas merupakan biaya investasi yang dikeluarkan dalam pemanfaatan potensi limbah kulit singkong menjadi energi listrik. Estimasi tersebut ditentukan dari komponen yang digunakan oleh UKSP Tenayan Raya, Pekanbaru, maka setelah ditotalkan didapatlah investasinya sebesar Rp. 3.668.895.

Tabel 15. Analisis Biaya

No.	Parameter	Hasil
1.	Investasi	Rp. 3.668.895
2.	Benefit	Rp. 5.259.024
3.	O&M	Rp. 73.377,9
4.	<i>Payback Period</i>	0,70 tahun

Benefit didapat dari hasil penjumlahan keuntungan melakukan pencampuran bahan bakar E10 dari sisi kelistrikan dan sisi BB pertalite. Setelah *benefit* diketahui maka selanjutnya mencari biaya O&M. Biaya O&M pada setiap umumnya diperhitungkan sebesar 1-2% dari total investasi awal. Berdasarkan acuan diatas

maka persentasi dari biaya O&M ini adalah sebesar 2%. Penentuan 2% ini berdasarkan kondisi Indonesia yang mengalami 2 musim penghujan dan musim kemarau [22]. Jikalau selama satu tahun maka dapat menghemat mencapai angka Rp. 5.259.024 dengan investasi sebesar Rp. 3.668.895 dan jangka waktu pengembalian investasi selama 0,70 tahun.

4. Kesimpulan

Dari hasil yang didapatkan sehingga disimpulkan bahwa dengan total limbah kulit singkong 30 kg/hari dapat diolah menjadi bioethanol menggunakan metode fermentasi dan destilasi dengan bantuan simulasi *superpro designer*. Diperoleh potensi bioethanol sebesar 5,3280 L/h, bahan bakar campuran E10 ini dinilai lebih baik dari tipe bahan bakar lain karena energi listrik yang dihasilkan mencapai 46,89 kWh. Apabila kebutuhan beban listrik UKSP Tenayan Raya, Pekanbaru sebesar 6,5 kWh per hari, maka energi listrik yang diperoleh pada ethanol limbah kulit singkong ini terbilang melebihi dan dapat dimanfaatkan untuk membantu kebutuhan beban di UMKM tersebut. Dengan adanya bahan bakar ethanol tersebut, dapat meminimalisir beban biaya pengeluaran pada produksi UKSP ini apabila tarif PLN mengalami kenaikan harga maka bioethanol dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif pengganti BBM dan listrik yang semakin mahal. Penggunaan bioethanol ini diharapkan dapat mengurangi emisi yang dihasilkan dari pemakaian bahan bakar fosil yang dapat menyebabkan polusi udara. Penghematan yang terjadi dari melakukan pencampuran bahan bakar E10 diperoleh pertahunnya mencapai Rp. 5.259.024 dengan investasi biaya dalam pemanfaatan limbah kulit singkong menjadi listrik sebesar Rp. 3.668.895. Dan jangka waktu pengembalian modal adalah selama 0,70 tahun.

5. Saran

Hasil penelitian ini masih berdasarkan skala kecil, dimana penulis berharap penelitian ini dapat dijadikan acuan sebagai penelitian lanjutan dalam skala yang besar. Penulis juga mengharapkan agar penelitian ini dapat menjadi bahan kajian lebih lanjut dalam novelty untuk penelitian kedepannya dengan melakukan eksperimen secara langsung.

References

- [1] M. Kadhafi, "Pemanfaatan Limbah Produksi Tape Singkong Sebagai Sumber Energi Alternatif Biogas dan Biobriket Untuk Industri Rumah Tangga," *War. Pengabd.*, vol. 12, no. 2, p. 271, 2018, doi: 10.19184/wrtp.v12i2.7320.
- [2] T. P. Hariyadi and S. Afriani, "Technical Analysis of Bioethanol Production and Electrical Power Potential By Utilizing Cassava Waste Analisis Teknis Produksi Bioetanol dan Potensi Daya Listrik dengan Memanfaatkan Limbah Singkong," vol. 2, pp. 1–6, 2022.
- [3] A. Pratama, "Pengaruh Inovasi dan Knowledge management Terhadap Keunggulan Kompetitif pada Usaha Keripik Singkong Kecamatan Tenayan Raya Kota Pekanbaru," vol. 5, 2021, [Online]. Available: <https://www.ptonline.com/articles/how-to-get-better-mfi-results>.
- [4] Risiko, "Analisis Agroindustri Keripik Ubi Pika di Kelurahan Kulim Kecamatan Tenayan Raya Kota Pekanbaru," 2020.
- [5] I. Desmawati, "Usaha Keripik Singkong Pika," [Wawancara]. .
- [6] A. R. Permatasari, L. U. Khasanah, and E. Widowati, "Karakterisasi Karbon Aktif Kulit Singkong (Manihot Utilissima) dengan Variasi Jenis Aktivator Characterization of Activated Carbon From Cassava Peels (Manihot Utilissima) With Different Activators," *J. Teknol. Has. Pertan.*, vol. VII, no. 2, pp. 70–75, 2014.
- [7] U. Brawijaya, "Mahasiswa TEP Sulap Limbah Kulit Singkong Menjadi Bioetanol," 15 maret 2022. <https://tp.ub.ac.id/mahasiswa-tep-sulap-limbah-kulit-singkong-jadi-bioetanol/>.
- [8] D. S. Fardhyanti, R. D. Kusumaningtyas, M. Megawati, and D. Hartanto, "Pkm Produksi Tepung Tapioka Maltodekstrin dan Bioetanol Bagi Kelompok Tani Singkong," *Amaliah J. Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 3, no. 1, pp. 256–263, 2019, doi: 10.32696/ajpkm.v3i1.237.
- [9] H. Soraya, "Pemanfaatan Limbah Kulit Singkong (Manihot Utilissima) dalam Pembuatan Ethanol Guna Mengatasi Masalah Paraffin Wax pada Sumur Produksi Minyak Bumi," 2022.
- [10] Endang Lovisia, "Bioetanol dari Singkong Sebagai Sumber Energi Alternatif Endang Lovisia Universitas PGRI Silampari," *BIOETANOL DARI SINGKONG SEBAGAI SUMBER ENERGI Altern.*, vol. 6, 2022.
- [11] A. Fitriyatus, A. Fauzi, and B. Juanda, "Peramalan Penyediaan dan Konsumsi Bahan Bakar Minyak Indonesia dengan Model Sistem Dinamik Prediction of Fuel Supply and Consumption in Indonesia with System Dynamics Model Pendahuluan," vol. 17, no. 2, pp. 118–137, 2018.
- [12] T. Widayanto, "Pengaruh Konsentrasi Kapang dan Lama Waktu Fermentasi terhadap Kadar Bioetanol dari Limbah Kulit Singkong (Manihot esculenta)," vol. 11, no. 2, 2022.
- [13] I. P. D. A. Putra, *Perbandingan Penggunaan Bahan Bakar Gasohol dan Premium Terhadap*

- Konsumsi Bahan Bakar dan Kandungan Co Gas Buang pada Motor Yamaha Jupiter Th 2002.* 2009.
- [14] N. R. Ilmu and T. Mesin, "Bahan Bakar Gasohol (Premium-Bioetanol) dari Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Pretreatment Lignocellulotic Material dan Fermentasi," 2016.
- [15] D. Guntama, Y. Herdiana, U. A. Sujiana, R. L. Endes, and E. Sunandar, "Bioethanol dari Limbah Kulit Singkong (Manihot Esculenta Crantz) Melalui Metode Hidrolisa dan Fermentasi dengan Bantuan Saccharomyces Cerevisiae," *J. Teknol.*, vol. 7, no. 1, pp. 86–96, 2019, doi: 10.31479/jtek.v7i1.35.
- [16] D. Anggriani, U. Kalsum, and N. Nurjannah, "Pengaruh Konsentrasi Enzim Silanase dan Saccharomyces Cerevisiae dalam Pembuatan Bioethanol dari Limbah Kulit Singkong dengan Proses Sakarifikasi dan Fermentasi Simultan," *J. Chem. Process Eng.*, vol. 5, no. 2, pp. 44–49, 2020, doi: 10.33536/jcpe.v5i2.745.
- [17] D. Ariyanti, A. Purbasari, H. Kusumayanti, and N. A. Handayani, "Penentuan Proses Pretreatment Untuk Pemanfaatan Limbah Kulit Singkong Sebagai Bahan Baku Bioetanol Melalui Hidrolisa Enzimatis Menggunakan Aspergillus Spp.," *Metana*, vol. 15, no. 1, p. 1, 2019, doi: 10.14710/metana.v15i1.22965.
- [18] E. Erna, I. Said, and P. H. Abram, "Bioetanol dari Limbah Kulit Singkong (Manihot Esculenta Crantz) Melalui Proses Fermentasi," *J. Akad. Kim.*, vol. 5, no. 3, p. 121, 2017, doi: 10.22487/j24775185.2016.v5.i3.8045.
- [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] R. D. Arrasi, "Analisis Peluang Efisiensi Energi Listrik Melalui Konservasi Energi pada Gedung BPJS Ketenagakerjaan Pekanbaru Kota," UIN SUSKA RIAU, 2021.
- [21] 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.
- [22] M. Giatman, *Ekonomi Teknik*, Vol. 18. Jakarta: Grafindo Persada, 2006.
- [23] H. Evita, "Model Produktivitas Proses Produksi Bioetanol pada Bioreaktor Aerobik dan Anaerobik Sinambung," vol. 26, no. 2, pp. 143–152, 2016.
- [24] B. A. Syeh, A. Khoiri, H. D. Kharisma, L. Anwar, and D. A. Sari, "Teknologi Fermentasi Bioetanol dari Berbagai Bahan Organik," *Barometer*, vol. 5, no. 2, pp. 272–276, 2020, doi: 10.35261/barometer.v5i2.3810.
- [25] P. Wulandari *et al.*, "Pemanfaatan Limbah Kulit Singkong (Manihot Utilissima)," vol. 2022, no. SemanTECH, pp. 11–14, 2022.
- [26] "Harga Tarif Listrik," *tarif listrik PLN*, 2023. <https://ekonomi.bisnis.com/read/20221231/44/1613759/simak-tarif-listrik-pln-januari-maret-2023-ini-daftar-lengkapnya>.
- [27] C. Indonesia, "Harga Penjualan Tarif Listrik Subsidi dan Non Subsidi," 29 Juli 2020. <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwIjs5TNhdb9AhVD1nMBHQM1AI0QFnoECAsQAQ&url=https%3A%2F%2Fbptk.esdm.go.id%2Fpost%2F2021%2F07%2F29%2F2920%2Fharga.indeks.pasar.hip.bahan.bakar.nabati.bbn.jenis.bioethano>.
- [28] "Alasan Tarif Listrik Naik," 31 Januari, 2023. <https://www.cnnindonesia.com/ekonomi/20230131165339-85-907168/esdm-soal-tarif-listrik-naik-1-april-kami-sedang-memilah-konsumen>.
- [29] "Esdm Soal Tarif Listrik Naik 1 April Kami Sedang Memilah Konsumen." [Online]. Available: <https://www.cnnindonesia.com/ekonomi/20230131165339-85-907168/esdm-soal-tarif-listrik-naik-1-april-kami-sedang-memilah-konsumen>.